

2023

Amélioration de la technologie de stabilisation du vin de banane par addition d'huiles essentielles extraites des feuilles de la citronnelle (*Cymbopogon citratus*)

NIJIMBERE, Félicien

UB

<https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/488>

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

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE D'AGRONOMIE ET DE BIO-INGENIERIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE DES ALIMENTS
MASTERE EN SCIENCES ET TECHNOLOGIE DES ALIMENTS



AMELIORATION DE LA TECHNOLOGIE DE
STABILISATION DU VIN DE BANANE PAR ADDITION
D'HUILES ESSENTIELLES EXTRAITES DES FEUILLES DE
LA CITRONNELLE (*Cymbopogon citratus*)

PAR:

NIJIMBERE Félicien

SOUS LA DIRECTION DE :

Dr. Ir. KARIKURUBU Jean Félix (PhD)

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

Option : Gestion de la Qualité des Produits
Alimentaires

Bujumbura, Juin 2023

IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY

Dr. Ir. NIYOYANKANA Bonaventure (président)

Dr. Ir. NIYUKURI Jonathan (secrétaire)

Dr. Ir. KARIKURUBU Jean Félix (Directeur)

DEDICACE

Je dédie ce travail :

A Dieu Tout Puissant et Miséricordieux ;

A mes chers parents, mes frères et sœurs pour toute leur affection à mon égard ;

A Mon épouse NIYOBUSHOBOZI Bélyse pour son soutien et réconfort;

A Madame MBONIMPA Anne-Marie pour son encouragement et soutien.

Qu'ils trouvent en ce travail, la récompense des inestimables sacrifices qu'ils ont consentis pour ma réussite sur tous les plans. Que Dieu Tout Puissant, qui m'a donné la force et le courage d'aller au bout de ce travail, vous bénisse et vous accorde une longue vie.

REMERCIEMENTS

Ce mémoire est le résultat de l'action conjuguée de plusieurs personnes à qui nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et un hommage mérité.

Nos sincères remerciements sont ainsi adressés :

A mon Dieu le Tout Puissant qui m'a prêté vie et santé sans lesquelles je n'aurais pas pu voir le jour. Seigneur, Tout Puissant, durant toutes les années d'études, Tu m'as accompagné et m'as gardé dans Ta grâce. Je Te remercie pour tout ce que Tu m'as donné et me donneras encore dans cette vie ;

A Monsieur Dr. Ir. KARIKURUBU Jean Félix, Directeur et promoteur de ce mémoire, pour avoir dirigé ce travail malgré ses multiples occupations. Sa disponibilité, sa patience, ses encouragements et ses multiples conseils ne nous ont pas fait défaut au cours de la réalisation de ce travail. Tout ce que vous m'avez fait, je tiens à vous remercier et soyez assuré de ma sincère gratitude et ma profonde reconnaissance ;

A tous les enseignants de la Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie et surtout ceux du département de Sciences et Technologie des Aliments pour votre support scientifique et votre encouragement de tous les jours ;

A tout le personnel de la Société Coopérative de la transformation et de la Commercialisation des Produits Agricoles, sans qui la réalisation de ce travail n'aurait pu avoir lieu ;

A tous mes camarades de la 2^{ème} promotion de Master en Sciences et Technologie des Aliments, avec qui tout au long du cycle, nous avons eu à partager des moments de fraternité ;

A tous mes amis qui, de près ou de loin, ont participé à l'exécution de ce modeste travail par leur soutien et leur présence à nos côtés durant les moments d'angoisses et de joies...

RESUME

L'objectif de la présente étude consiste à évaluer, par caractérisation physico-chimique et organoleptique, l'effet conservateur de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* lors de la stabilisation du vin de banane en remplaçant les additifs chimiques de synthèse.

Pour y arriver, un diagramme de fabrication du vin de banane a été élaboré et des propriétés physico-chimiques ont été analysées pendant la fermentation et la maturation. Pendant la fermentation, des résultats ont montré une diminution des valeurs de la densité, du pH et de la teneur en sucres tandis que la teneur en alcool a augmenté. Pendant la maturation, pour stabiliser ce vin pendant trois semaines, l'extraction de l'huile essentielle par la méthode d'hydrodistillation a été réalisée puis des essais de stabilisation du vin de banane avec ou sans addition d'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* et de l'anhydride sulfureux ont été effectués. Quatre échantillons ont été pris : un échantillon témoin sans ajout des conservateurs, deux échantillons adjoints d'huile essentielle l'un ayant reçu 0,5ml/L et l'autre 1ml/l, un échantillon ayant reçu 50mg de SO₂ par litre de vin. Les résultats ont montré que l'échantillon témoin et l'échantillon ayant reçu 0,5ml/l d'huile essentielle ont évolué de façon significative tandis que l'échantillon ayant reçu 1ml d'huile essentielle par litre de vin et l'échantillon ayant reçu 50mg de SO₂ par litre de vin ont été restés stables pendant les trois semaines. Tenant compte de la caractérisation organoleptique, un test hédonique avec un panel de 20 personnes a été réalisé sur l'échantillon ayant reçu 1ml d'huile essentielle par litre de vin et celui ayant reçu 50mg de SO₂ par litre de vin pour apprécier le goût, l'odeur, la couleur et la texture. Les résultats des analyses statistiques ont montré d'une manière générale qu'il n'y avait pas de différence significative pour tous les aspects à l'exception de l'odeur qui a été plus prononcée pour l'échantillon ayant reçu l'huile essentielle. Cette odeur a donné une valeur ajoutée et a confirmé la propriété aromatique de la citronnelle.

Tous ces résultats justifient que la concentration de 1ml d'huile essentielle par litre de vin est nécessaire pour stabiliser le vin pendant plusieurs jours et le garder à un degré d'alcool normal. En général, l'huile essentielle de la citronnelle est efficace dans la stabilisation du vin de banane afin d'éviter que la fermentation puisse continuer et le porter en dehors des normes.

Mots clés : vin de banane, citronnelle, huile essentielle, SO₂ et stabilisation

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate, by physicochemical and organoleptic characterization, the preservative effect of the essential oil of *Cymbopogon citratus* during the stabilization of banana wine by replacing synthetic chemical additives.

To achieve this, a banana wine production diagram was developed and physicochemical parameters were analyzed during fermentation and maturation. During fermentation, results showed a decrease in the values of density, pH and sugar content while the alcohol content increased. During the maturation, to stabilize this wine for three weeks, the extraction of the essential oil by the method of hydrodistillation was carried out then tests of stabilization of the banana wine with or without addition of essential oil of *Cymbopogon citratus* and sulfur dioxide were carried out. Four samples were taken: a control sample without the addition of a preservative, two additional samples of essential oil, one having received 0.5ml/l and the other 1ml/l, a sample having received 50mg of SO₂ per liter of wine. The results showed that the control sample and the sample having received 0.5ml/L of essential oil evolved significantly, while the sample having received 1ml of essential oil per liter of wine and the sample having received 50mg of SO₂ per liter of wine remained stable for the three weeks. Taking into account the organoleptic characterization, a hedonic test with a panel of 20 people was carried out on the sample having received 1ml of essential oil per liter of wine and the one having received 50mg of SO₂ per liter of wine to assess the taste, smell, color and texture. The results of the statistical analyzes generally showed that there was no significant difference for all aspects except for the smell which was more appreciated for the sample having received the essential oil. This smell have given an added value and confirms the aromatic property of lemongrass.

All these results justify that the concentration of 1ml of essential oil per litre of wine is necessary to stabilize banana wine for several days and keep it at a normal alcohol level. In general, lemongrass essential oil is effective in stabilizing banana wine to prevent fermentation from continuing and bringing the wine outside the normative values.

Keywords: banana wine, *Cymbopogon citratus*, essential oil, SO₂ and stabilization

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-------------|
| IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY..... | i |
| DEDICACE | ii |
| REMERCIEMENTS | iii |
| TABLE DES MATIERES | vi |
| LISTE DES TABLEAUX..... | x |
| LISTE DES FIGURES | xi |
| SIGLES ET ABREVIATIONS | xii |
| AVANT-PROPOS..... | xiii |
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
| 1. Contexte et problématique | 1 |
| 2. Objectif global..... | 2 |
| 3. Objectifs spécifiques | 2 |
| CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE..... | 3 |
| I.1. Généralités sur la banane | 3 |
| I.1.1. Historique | 3 |
| I.1.2. Variétés de banane produites au Burundi | 4 |
| I.1.3. Composition biochimique de la banane..... | 4 |
| I.1.4. Procédés de production du vin de banane et aspect biochimique..... | 5 |
| I.1.4.1. Définition..... | 5 |
| I.1.4.2. Fabrication artisanale du vin de banane..... | 6 |
| I.1.4. 3. Fabrication semi-industrielle de vin de banane | 8 |
| I.1.4.4. Fermentation œnologique | 9 |
| I.1.4.4.1. Présentation..... | 9 |
| I.1.4.4.2. Déroulement de la fermentation | 9 |
| I.2. SO ₂ en œnologie | 10 |

| | |
|---|-----------|
| I.2.1. Présentation..... | 10 |
| I.2.2. Utilisation et la réglementation de SO ₂ | 11 |
| I.2.3. Propriétés de SO ₂ | 12 |
| I.2.4. Effet négatif du SO ₂ sur la santé du consommateur | 14 |
| I.3. Généralités sur les huiles essentielles | 15 |
| I.3.1. Définition | 15 |
| I.3.2. Répartition et localisation des huiles essentielles dans la plante | 15 |
| I.3.3. Domaine d'application des huiles essentielles | 15 |
| I.3.4. Propriétés physico-chimiques des huiles essentielles..... | 16 |
| I.3.5. Composition chimique des huiles essentielles..... | 16 |
| I.3.6. Méthodes d'obtention des huiles essentielles | 17 |
| I.3.7. Conservation des huiles essentielles | 20 |
| I.3.8. Huile essentielle de Citronnelle (<i>Cymbopogon citratus</i>)..... | 21 |
| I.3.8.1. Historique et origine de citronnelle | 21 |
| I.3.8.2. Botanique et culture de la citronnelle | 21 |
| I.3.8.3. Systématique..... | 22 |
| I.3.8.4. Huile essentielle de la citronnelle | 22 |
| I.3.8.5. Composition chimique..... | 23 |
| I.3.8.6. Propriétés de l'huile essentielle de <i>Cymbopogon citratus</i> | 23 |
| CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES..... | 25 |
| II.1. Présentation du milieu d'études | 25 |
| II.1.1. Travaux de laboratoire..... | 25 |
| II.1.2. Lieu de collecte de la matière première (jus de banane) | 25 |
| II.1.3. Lieux de collecte des plantes naturelles | 25 |
| II.2. Matériel | 25 |
| II.2.1. Matériel végétal..... | 25 |

| | |
|---|-----------|
| II.2.2. Matériel chimique..... | 25 |
| II.2.3. Matériel de laboratoire | 25 |
| II.2.3. Matériel de production | 26 |
| II.3. Méthodes | 26 |
| II.3.1. Extraction de l'huile essentielle | 26 |
| II.3.2. Processus de fabrication du vin de banane | 27 |
| II.3.2.1. Réception de matière première | 27 |
| II.3.2.2. Chaptalisation | 27 |
| II.3.2.3. Pasteurisation du jus..... | 28 |
| II.3.2.4. Débourage | 28 |
| II.3.2.5. Refroidissement..... | 28 |
| II.3.2.6. Fermentation..... | 29 |
| II.3.2.7. Filtration et clarification du vin..... | 29 |
| II.3.2.8. Dosage de l'huile essentielle et du SO ₂ | 29 |
| II.3.2.9. Mise en bouteille | 29 |
| II.3.2.10. Pasteurisation et refroidissement du vin..... | 30 |
| II.3.3. Caractérisation physico-chimique et organoleptique du vin de banane | 32 |
| II.3.3.1. Analyses physico-chimiques | 32 |
| II.3.3.2. Caractérisation organoleptique..... | 34 |
| II.4. Analyse des données | 35 |
| CHAPITRE III : INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS..... | 36 |
| III.1. Résultats d'analyses des propriétés physicochimiques pendant la fermentation | 36 |
| III.1.1. Evolution de la température pendant la fermentation | 36 |
| III.1.2. Evolution du pH pendant la fermentation | 37 |
| III.1.3. Evolution de la densité pendant la fermentation | 38 |
| III.1.4. Evolution de la teneur en sucres pendant la fermentation | 39 |

| | |
|--|-----------|
| III.1.5. Evolution du taux d'alcool pendant de la fermentation | 40 |
| III.2. Propriétés physico-chimiques du vin de banane pendant la maturation | 41 |
| III.2.1. Propriétés physico-chimiques des échantillons témoins et échantillons traités avec 0,5ml d'huiles essentielles pendant la maturation | 42 |
| III.2.2. Propriétés physico-chimiques des échantillons traités avec 1ml d'huiles essentielles et échantillons traités avec 50mg de SO ₂ pendant la maturation..... | 43 |
| III.3. Propriétés organoleptiques après l'addition des conservateurs..... | 44 |
| CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS | 45 |
| CONCLUSION..... | 45 |
| RECOMMANDATIONS..... | 46 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 47 |
| ANNEXES..... | 54 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|-----|
| Tableau 1 : Composition chimique de 100g de banane dessert | 5 |
| Tableau 2 : Teneurs maximales autorisées en SO ₂ total (mg.l ⁻¹) en fonction du mode de conduite de l'exploitation..... | 12 |
| Tableau 3 : Tableau montrant les principales actions biochimiques du SO ₂ | 14 |
| Tableau 4 : Intérêts et inconvénients des différents procédés de distillation | 20 |
| Tableau 5 : Propriétés physico-chimiques des échantillons témoins et échantillons traités avec 0,5ml d'huiles essentielles pendant la maturation..... | 423 |
| Tableau 6: Propriétés physico-chimiques échantillons traités avec 1ml d'huiles essentielles et des échantillons traités avec 50mg d'anhydride sulfureux..... | 44 |
| Tableau7: Propriétés organoleptiques après ajout des conservateurs..... | 45 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 01 : Schéma d'un bananier..... | 4 |
| Figure 02 : Diagramme de fabrication artisanale de bière/vin de banane | 7 |
| Figure 03 : Diagramme de fabrication semi-industrielle de bière/vin de banane | 8 |
| Figure 04 : Evolution des principaux paramètres fermentaires lors d'une fermentation avec Saccharomyces cerevisiae en moût synthétique..... | 9 |
| Figure 05 : Schéma modifié de Martin Lavielle représentant l'utilisation du SO ₂ au cours du processus de vinification pour les vins rouges | 11 |
| Figure 06 : Schéma de synthèse des formes de SO ₂ en œnologie..... | 14 |
| Figure 07 : Schéma d'un alambic..... | 17 |
| Figure 08 : Schéma d'une installation d'entraînement à la vapeur | 18 |
| Figure 09 : Schéma d'une installation de vapo-hydrodistillation | 19 |
| Figure 10 : Aspect botanique et morphologique de la citronnelle (<i>Cymbopogon citratus</i>) | 22 |
| Figure 11: Structure chimique des composés de l'huile essentielle de citronnelle | 23 |
| Figure 12 : Diagramme d'extraction de l'huile essentielle | 27 |
| Figure 13 : Représentation graphique des différentes phases de pasteurisation en bouteille du vin de banane..... | 30 |
| Figure 14 : Diagramme de fabrication du vin de banane | 31 |
| Figure 15 : Bouteilles de vin de banane adjoint d'huile essentielle | 32 |
| Figure 16 : Evolution de la température pendant la fermentation..... | 36 |
| Figure 17 : Evolution du pH pendant la fermentation..... | 37 |
| Figure 18 : Evolution de la densité pendant la fermentation..... | 38 |
| Figure 19 : Evolution de la teneur en sucres pendant la fermentation | 39 |
| Figure 20 : Evolution de la teneur en alcool pendant la fermentation | 41 |

SIGLES ET ABREVIATIONS

AFNOR : Association Française de Normalisation

FDA : Food and Drug Administration

FHIA17 : Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (Fondation hondurienne pour la recherche agricole)

H.E : Huile essentielle

pH : Potentiel d'Hydrogène

SOCOPA : Société coopérative de transformation et Commercialisation des Produits
Agricoles

T.A : Taux d'Alcool

UE : Union Européenne

AVANT-PROPOS

La réalisation de ce mémoire s'inscrit dans le cadre de l'obtention d'un diplôme de Mastère en Sciences et Technologie des Aliments, option Gestion de la Qualité des Produits Alimentaires.

L'idée de cette étude est venue du fait que les boissons fabriquées localement ont une courte durée de conservation suite au manque de la technologie de stabilisation. Ensuite, les boissons industrielles actuellement disponibles sur le marché sont stabilisées par des conservateurs chimiques notamment les benzoates et les sulfites couramment utilisés dans la conservation des aliments en général et des boissons en particulier (Jatto et al., 2010) mais ceux-ci pourraient constituer à court ou à long termes des effets néfastes sur la santé du consommateur.

Pour allonger la durée de conservation et protéger le consommateur, l'utilisation des huiles essentielles comme bio-conservateurs extraites des plantes naturelles qui ont les mêmes propriétés antimicrobiennes et antioxydantes que les additifs chimiques de synthèse pourrait constituer une alternative crédible. Les additifs chimiques, en plus de leurs effets néfastes, sont plus chers alors que les plantes naturelles sont moins chères et disponibles au plan local.

Pour ce travail, nous avons préféré l'utilisation des huiles essentielles extraites des feuilles de la citronnelle collectées dans la province de Ruyigi. Ces huiles ont été appliquées sur le vin de banane qui est le plus consommé localement et occupe une place importante dans la société burundaise.

La présente étude vise à utiliser les huiles essentielles extraites des plantes naturelles pour stabiliser le vin de banane pendant plusieurs jours mais aussi pour protéger le consommateur contre les effets néfastes liés à l'utilisation des additifs chimiques de synthèse. C'est pourquoi le sujet est intitulé « **Amélioration de la technologie de stabilisation du vin de banane par addition d'huiles essentielles extraites des feuilles de citronnelle** ».

Au cours de cette étude, des difficultés n'ont pas manqué surtout liés aux moyens financiers qui étaient insuffisants, le manque du matériel de transformation spécialisé d'où l'utilisation d'un pot de terre cuite de tradition burundaise pour l'extraction des huiles essentielles.

INTRODUCTION GENERALE

1. Contexte et problématique

L'intérêt croissant des consommateurs pour les produits bénéfiques pour la santé a inspiré les chercheurs à développer plusieurs boissons fonctionnelles (Hamilton et Miller., 1995, Teniola, et al, 2012). Les techniques de fabrication des boissons locales sont peu connues et posent de nombreuses difficultés, engendrant ainsi des problèmes de santé (Justine, 2019).

Au Burundi, les boissons fermentées occupent une place importante dans la société burundaise. Le vin de banane communément appelée URWARWA reste la boisson la plus consommée localement mais sa durée de conservation est plus courte suite à son processus de fabrication qui est artisanale ou semi-industrielle. La conservation du vin de banane est difficile car ceci est le siège de multiples réactions chimiques et biochimiques liées à l'activité des micro-organismes (Oswald, 2012).

Il s'avère alors important d'améliorer et de mettre sur pied les techniques de conservation adéquates de ce produit afin de préserver en même temps ses qualités nutritionnelles et marchandes, réduire les risques d'intoxications alimentaires et le rendre disponible tout le temps. Les conservateurs chimiques tels que les benzoates, les sulfites, l' α -tocophérol, le chlorure de calcium et l'acide citrique sont couramment utilisés pour la conservation des aliments en général et des boissons en particulier (Jatto et al., 2010). Pourtant, à court ou à long terme, ces substances chimiques de synthèse peuvent se révéler très toxiques avec des risques de mutagénicité, d'aberrations chromosomiques et de cancers (Kaushik et al., 2000 ; Kiis et al., 2000; Tfouni et Toledo 2002 ; Jatto, 2010).

L'un des enjeux actuels de l'œnologie moderne pour stabiliser le vin concerne l'utilisation du dioxyde de soufre (SO_2) (Roca, 2020). Le SO_2 est l'additif chimique le plus utilisé en vinification depuis le vendage jusqu'au stade ultime de la mise en bouteille (Thomas et al., 2020). Il est un outil de choix pour préserver la qualité du vin du fait de ses propriétés antimicrobiennes, antioxydantes et d'inhibition enzymatique (Ribéreau et al., 2006 Thomas et al., 2020).

Cependant, à une dose forte, le SO_2 peut provoquer une réaction allergique pour certaines personnes sensibles. Le SO_2 a des effets toxiques bien connus, aussi bien aigus que chroniques chez certains sujets sensibles. Ils aggravent les symptômes respiratoires, dermatologiques, cardiovasculaires et gastro-intestinaux, manifestés essentiellement sous forme de réactions de

type asthmatique chez les sujets sensibles aux sulfites, tandis que les réactions sévères de type allergiques (anaphylaxies) sont peu fréquentes (Papazian, 1996 ; Vally et Thompson, 2003).

Face à la résurgence des effets néfastes de ces substances chimiques sur la santé humaine, la demande de la part des consommateurs en produits sans additifs chimiques a augmenté (Roca, P., 2020). L'utilisation des huiles essentielles comme agents bio-conservateurs pourrait constituer une alternative crédible parce que garant de la préservation de la santé des consommateurs (Bankolé, 1997). C'est pour cette raison que, pour stabiliser le vin de banane, on a préféré l'utilisation des huiles essentielles extraites des feuilles de la citronnelle (*Cymbopogon citratus*) renfermant un pouvoir antioxydant et antimicrobien et qui sont relativement moins chères et disponibles au plan local.

Par ailleurs, les huiles essentielles de citronnelle ont un avantage comparatif en ce sens qu'elles sont non seulement, des produits biologiques mais elles peuvent également être utilisées comme agents aromatiques pour la fabrication du vin, en plus de leurs propriétés antimicrobiennes exploitables pour la stabilisation du produit.

2. Objectif global

L'objectif global de ce travail est d'améliorer la technologie de stabilisation du vin de bananes par utilisation des extraits des plantes naturelles cultivées au Burundi.

3. Objectifs spécifiques

- Extraire l'huile essentielle de citronnelle ;
- Évaluer la capacité de stabilisation du vin pendant la maturation par analogie avec l'accumulation de l'éthanol ou la disparition des sucres ;
- Évaluer la qualité du vin de banane au plan organoleptique en fonction de la durée de conservation.

4. Hypothèses

Dans ce travail, des hypothèses ont été formulées :

- L'huile essentielle de la citronnelle pourrait être utilisée à la place de l'anhydride sulfureux dans la stabilisation du vin de banane;
- La caractérisation physico-chimique pourrait justifier l'efficacité de l'huile essentielle de la citronnelle dans la stabilisation du vin de banane.

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Généralités sur la banane

I.1.1. Historique

Selon différents auteurs, la culture de la banane a été introduite au Burundi au XV^{ème} siècle par des pasteurs venus de hauts plateaux d'Afrique Orientale (Lebailly, 2019). Depuis lors, la culture de la banane n'a cessé de se répandre rapidement dans tout le pays pour atteindre les zones plus marginales que sont les régions sèches de l'Imbo, du Moso et du Bugesera. A titre d'exemple, l'extension de la banane dans le Bugesera est relativement récente et s'observe en réponse à la crise du système précédent davantage orienté sur les céréales comme décrite par Cochet (1996).

La banane est le pilier de l'économie rurale des ménages burundais grâce aux revenus relativement réguliers qu'ils tirent de la commercialisation des régimes et de la bière (urwarwa). Elle contribue à garantir une certaine stabilité pour l'économie familiale et pour le développement local par les produits générés qui sont autoconsommés ou échangés au niveau de la colline.

Le vin de banane rythme la vie sociale du burundais moyen. On la partage volontiers en échange d'amabilités et de bon voisinage (gusangira urukanywa). Elle est présente dans toutes les fêtes traditionnelles (dots, mariages, levers de deuils, etc.) et non traditionnelles (fêtes religieuses et scolaires). Elle est également offerte aux notables lors de règlements de litiges «agatutu k'abagabo», en demande de cadeaux (vache) ou en remerciement pour services rendus (Lebailly, 2019).

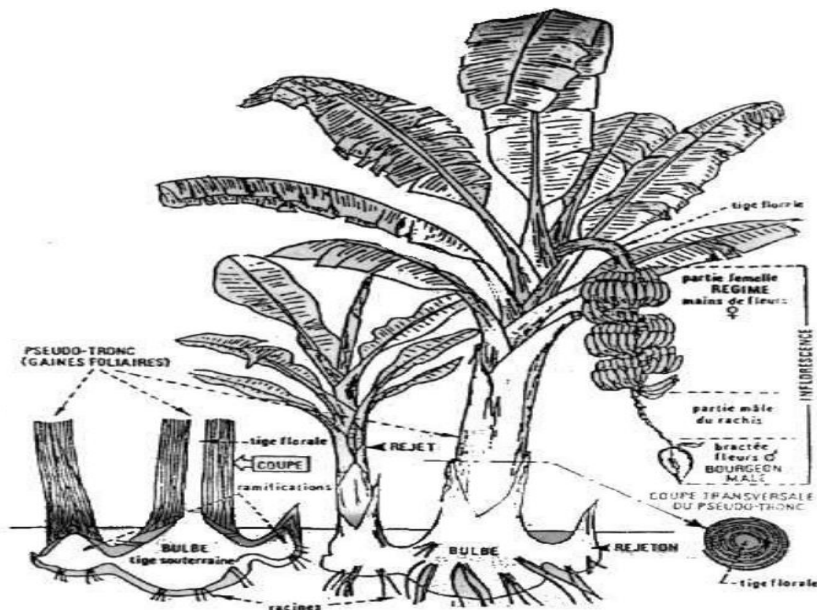


Figure 01 : Schéma d'un bananier

Source : Solohery, 2007

I.1.2. Variétés de banane produites au Burundi

Selon Lebailly (2019), les variétés de bananes produites dans chaque système productif sont groupées en trois catégories :

- **Les bananes à bière** qui sont des bananes utilisées pour l'extraction du jus. Ce jus peut être fermenté pour produire le vin de banane.
- **Les bananes desserts** qui sont des bananes à mûrir pour être mangées (dans les zones enclavées, la banane dessert peut être détournée vers la fabrication du vin et est réputée pour la qualité du jus).
- **Les bananes à cuire** qui sont des bananes fraîches qui se mangent cuites.

A cause de diverses maladies qui attaquent les bananiers dont la fusariose, on a introduit de nouvelles variétés hybrides telles que FHIA 17, 23 et 25 dont la transformation peut conduire à une gamme de produits tels que chips, farines, aliments pour bébé, vins, desserts, etc.

I.1.3. Composition biochimique de la banane

Les composés phénoliques, les caroténoïdes, les flavonoïdes et les amines biogènes sont les composés phyto-chimiques les plus fréquents dans les bananes vertes et mûres (Singh et al., 2016, Justine, 2019). En raison de ces composés bioactifs, les bananes ont une capacité

antioxydante plus élevée que certaines herbes et légumes. Cette capacité augmente pendant la maturité du fruit (Shinichi et al. 2002, Arranz et al., 2009).

Les bananes sont de bonnes sources de vitamine A (carotène), B (thiamine, niacine, riboflavine et B₆) et C (acide ascorbique) (Solohery, 2007). Elle est également enrichie en minéraux, tels que le Phosphore, le Sodium, le Potassium, le Calcium, le Magnésium, le Fer, le Cuivre, le Zinc et le Manganèse (Justine, 2019).

Tableau 1 : Composition chimique de 100g de banane dessert

| Composition | Quantité en gramme |
|--------------------|--------------------|
| Eau | 74,26 |
| Energie (en kcal) | 92 |
| Protéine | 1,03 |
| Matières grasses | 0,48 |
| Hydrate de Carbone | 23,43 |
| Calcium | 0,006 |
| Fer | 0,0031 |
| Potassium | 0,00396 |
| Sodium | 0,001 |
| Vitamine C | 0,0091 |
| Thiamine | 0,00045 |
| Riboflavine | 0,001 |
| Niacine | 0,0054 |
| Vitamine A | 0,00148 |

Source : Solohery, 2007

I.1.4. Procédés de production du vin de banane et aspect biochimique

I.1.4.1. Définition

Le vin est une boisson alcoolisée obtenue par fermentation du fruit (Solohery, 2007). La fabrication du vin de banane se réfère aux pratiques œnologiques à savoir la fabrication, le traitement, l'analyse et le contrôle. La boisson obtenue est alcoolisée et présente une odeur semblable à celle du vin mais en peu aromatisé bien sûr de banane.

Selon Justine (2019), le vin est un liquide jaunâtre, peu alcoolisé, à la saveur sucré et aigrelette. Les techniques d'élaboration du vin de banane varient d'une localité à une autre, mais trois étapes principales apparaissent de manière régulière dans tous les processus :

- le mûrissement du fruit qui peut se faire naturellement;
- l'extraction et préparation du moût;
- fermentation et affinage

En récapitulatifs, le vin de banane est donc une boisson alcoolisée obtenue par fermentation de jus de banane, fruit du bananier. Au Burundi, la fabrication du vin de banane se fait de manière artisanale ou semi-industrielle.

I.1.4.2. Fabrication artisanale du vin de banane

La production artisanale de la bière reste la principale activité de transformation de la banane. Les bières traditionnelles les plus populaires sont l'Urwarwa et l'Isongo. La production de l'Isongo est un peu plus élaborée que celle de l'Urwarwa. L'Isongo est produit par des producteurs spécialisés et parfois quelques congrégations religieuses alors que l'Urwarwa est souvent produit par les agriculteurs eux-mêmes et certaines femmes transformatrices dans une moindre mesure (Lebailly et al. 2019).

Les principales étapes de la production artisanale de la bière de banane sont:

- **Le mûrissement** : Il se fait en deux phases. La première phase consiste à pré-mûrir les régimes récoltés dans une enceinte chaude environ 4 jours. Le mûrissement, proprement-dit, continue dans une fosse ou sur une sorte de pilotis installé sur un foyer pendant 5 à 6 jours.
- **L'épluchage** : Il se fait manuellement. Les bananes épluchées sont mises dans une grande auge en bois ou dans des grandes casseroles pour l'extraction du jus.
- **L'extraction du jus** : Elle se fait aussi manuellement en malaxant les pulpes de bananes avec des herbes fraîches comme l'eragrostis qui facilitent l'écoulement du jus.
- **La première filtration** : Après une phase préalable de décantation, le jus de banane est filtré à travers des herbes d'eragrostis placées dans un entonnoir. Le filtrat est occupé dans des grandes casseroles ou dans des marmites
- **L'ensemencement** : Le jus est filtré est ensemencé avec de la poudre du sorgho et/ou de la levure qui sert de ferment.

- **La fermentation** : Elle se fait pendant deux ou trois jours en milieu anaérobie dans un récipient fermé.
- **Le soutirage** : Il consiste à séparer la bière limpide de la lie qui se dépose au fond du récipient de fermentation.
- **La deuxième filtration** : Le vin obtenu est filtré une deuxième fois sur une couche d'herbes pour éliminer les matières en suspension
- **Conditionnement** : Le produit final est souvent conditionné en bidon de 20 litres qui sont vendus directement sur le marché local ou acheminés vers les grandes villes.

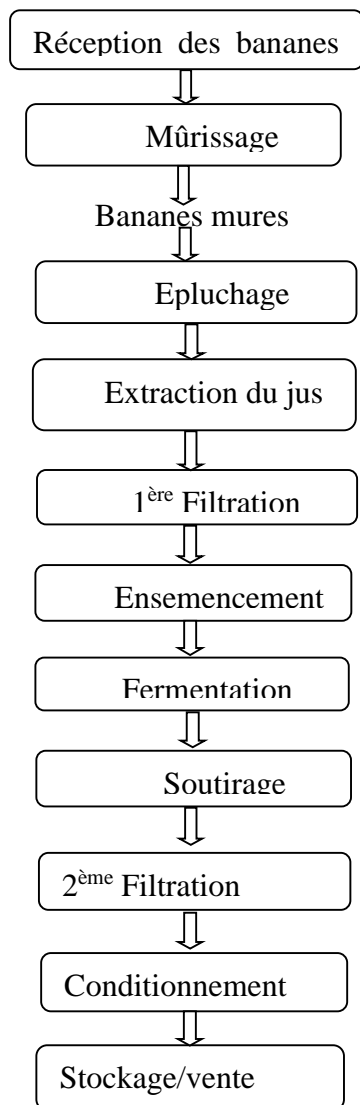


Figure 02 : Diagramme de fabrication artisanale de vin de banane

Source : Kakana et al., 2018

I.1.4. 3. Fabrication semi-industrielle de vin de banane

La transformation semi-industrielle est aussi basée sur le même diagramme de fabrication que la production artisanale mais utilise des équipements plus sophistiqués permettant de produire des vins et des liqueurs de qualité supérieure et dans des bonnes conditions d'hygiène (Lebailly et al. 2019). Au-delà des aspects d'hygiène et de qualité, la transformation semi-industrielle de la banane à bière permet aussi d'avoir des meilleurs rendements d'extraction du jus de banane avec des procédés mécaniques et/ou enzymatiques.

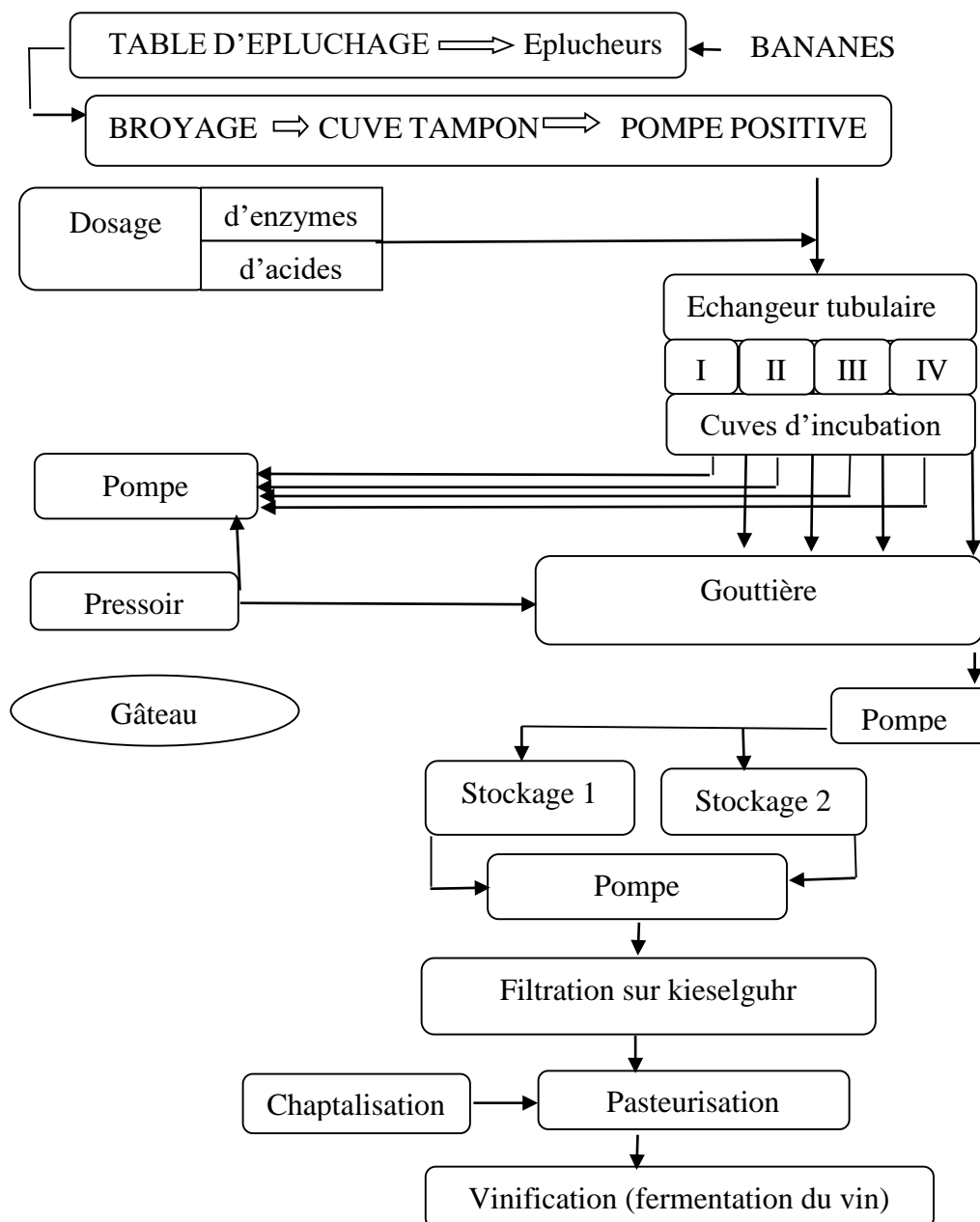


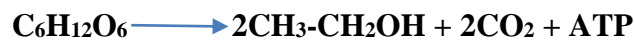
Figure 03 : Diagramme de fabrication semi-industrielle de vin de banane

Source : Kakana et al., 2018

I.1.4.4. Fermentation œnologique

I.1.4.4.1. Présentation

La fermentation est une phase importante dans la vinification. L'objectif principal étant de donner un caractère alcoolisé à la future boisson. Elle a pour mission de transformer les sucres fermentescibles contenus dans le moût à l'aide des levures de type *Saccharomyces*ensemencées pour produire de l'éthanol et le gaz carbonique (Pons, 2006) suivant l'équation établie par GAY-LUSSAC :



I.1.4.4.2. Déroulement de la fermentation

Au cours de la fermentation, la levure fait face à différents stress entraînant une évolution de son métabolisme (Pauline, 2019): pH acide et forte teneur en sucres au début de la fermentation, puis limitation en nutriments et augmentation de la concentration en éthanol. Le suivi de l'activité fermentaire des levures, sous la forme de la vitesse de dégagement de CO_2 , permet de distinguer trois phases au cours d'une fermentation classique (Figure 04).

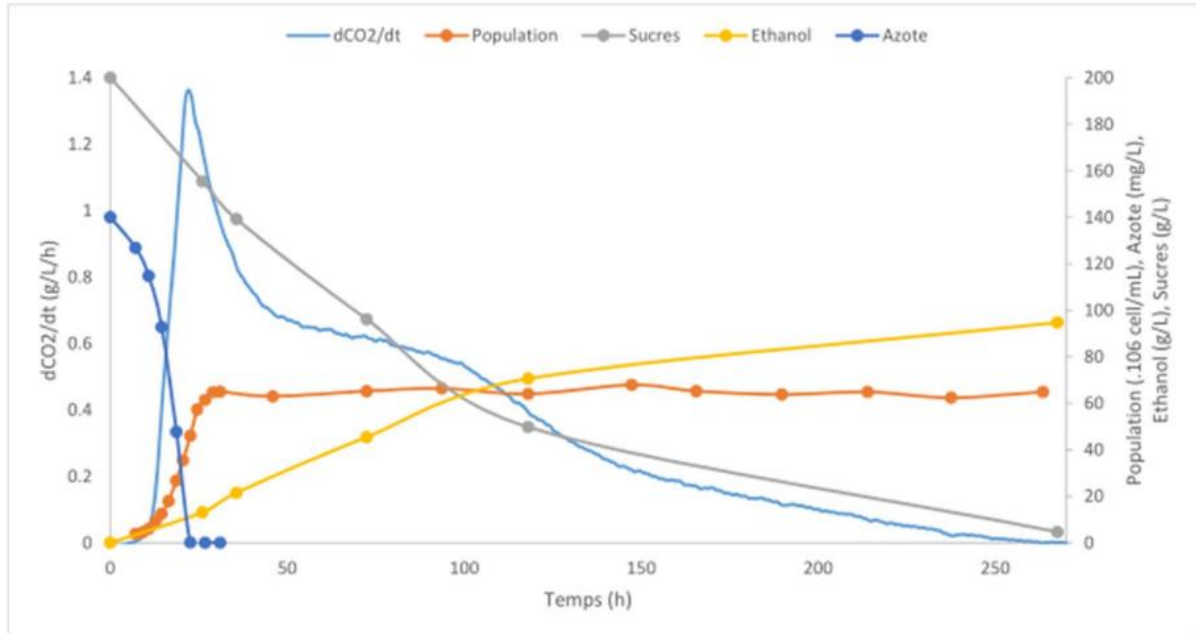


Figure 04 : Evolution des principaux paramètres fermentaires lors d'une fermentation avec *Saccharomyces cerevisiae* en moût synthétique

Source : Pauline S., 2019

- **Phase de latence**

La phase de latence correspond à une phase d'adaptation des levures à leur environnement (Pérez-Torrado et al., 2002). Cette phase peut durer de quelques heures à plusieurs jours en fonction des conditions de température, du taux d'inoculation des levures en cas de levurage ou de la présence dans le moût d'intrants technologiques comme le SO₂, utilisé pour inhiber le développement de la flore indigène du moût (Nadai et al., 2016). Pendant cette phase l'activité fermentaire est très faible et le milieu se sature en CO₂ (environ 1.5 g/L). Les levures consomment très peu de nutriments, excepté la thiamine qui est consommée en quelques heures (Bataillon et al., 1996).

- **Phase de croissance**

Au cours de la phase de croissance les cellules se multiplient jusqu'à atteindre la population maximale. La concentration maximale en biomasse est très variable selon les moûts, mais se situe entre 50 et 250.106 cellules/ml (Bely et al., 1990a). En général la multiplication cellulaire s'arrête à cause de l'épuisement de l'azote assimilable. Des carences en lipides ou vitamines peuvent aussi apparaître. A la fin de la phase de croissance, environ 1/3 du sucre est consommé et les vitesses de fermentation est à son maximum.

- **Phase stationnaire**

En phase stationnaire, les levures ne se multiplient plus mais conservent une activité fermentaire leur permettant de consommer les 2/3 du sucre restant. La viabilité cellulaire reste en général élevée et la population cellulaire conserve son niveau maximal. En revanche, l'activité fermentaire diminue jusqu'à épuisement des sucres, principalement à cause de l'augmentation de la concentration en éthanol dans le milieu. En effet, l'éthanol inhibe l'activité des transporteurs d'hexose (Salmon, 1989) et augmente la perméabilité de la membrane plasmique des levures (Jones and Greenfield, 1987).

I.2. SO₂ en œnologie

I.2.1. Présentation

Le dioxyde de soufre (SO₂) appelé communément « sulfites » ou anhydride sulfureux (E220), est un produit de synthèse. Son utilisation est indéniable dans la majeure partie des processus de vinification, et ceci depuis les années 1800 (Pasteur, 1866; Ladrey, 1871). Il fut d'ailleurs utilisé en premier lieu en vinification et brasserie avant de se généraliser dans les produits agroalimentaires (Doyle et al., 2020). Dans ce secteur, d'autres formes de « sulfites » sont

autorisés (E220 à E228) : le sulfite de sodium (E221), le sulfite de calcium (E226) ou encore sulfite acide de calcium (E227) par exemple (Règlement UE n° 1129/2011 de la commission du 11 novembre 2011).

En œnologie, le SO₂ est autorisé uniquement sous forme d'anhydride sulfureux (E220), bisulfite de potassium (E228) et métabisulfite de potassium (E224) comme conservateurs et antioxydants (Règlement Délégué (UE) 2019/934 de la commission du 12 mars 2019).

I.2.2. Utilisation et la réglementation de SO₂

Le SO₂ est utilisé tout au long du processus de vinification pour ses différentes propriétés œnologiques. Concernant les vinifications en rouge, une fois les baies foulées et éraflées, le dioxyde de soufre est souvent ajouté à une dose de 40 à 60 mg.L⁻¹ en fonction de la qualité de la vendange pour ses propriétés antioxydasiques, antioxydantes et antimicrobiennes (Sara, 2020).

A la fin de la fermentation, le SO₂ est utilisé afin de diminuer les niveaux de populations de microorganismes présents dans les milieux et ainsi prévenir toutes contaminations par des microorganismes d'altérations. En fin, le sulfitage a lieu à la mise en bouteille, dans le but de maintenir la qualité du vin pendant le vieillissement en bouteille et pendant le transport où les variations de température et la présence de lumière pourraient entraîner des déviations ou une perte du potentiel de garde de vin (Sara, 2020).

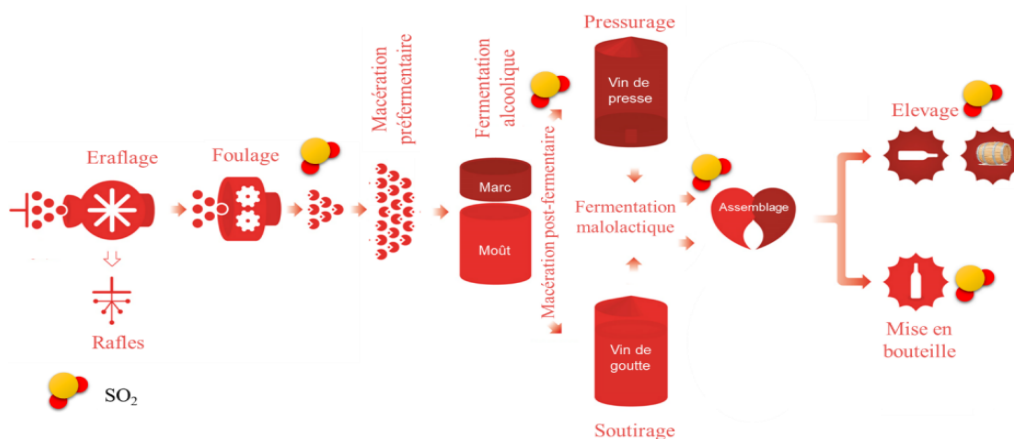




Figure 05 : Schéma modifié de Martin Lavielle représentant l'utilisation du SO₂ au cours du processus de vinification pour les vins rouges

Dès 1986, la FDA et l'Union Européenne ont exigé que la présence de sulfites soit déclarée sur les étiquettes des aliments non seulement lorsque les sulfites ont été destinés à être utilisés

comme ingrédients dans l'aliment (comme agent de conservation par exemple), mais aussi lorsqu'ils n'ont aucun effet sur l'aliment final mais sont présents en raison d'une autre utilisation (utilisés comme auxiliaires technologiques ou faisant partie d'un autre ingrédient de l'aliment), et lorsque la concentration dans les aliments est supérieure ou égale au seuil détectable, soit 10 ppm (Timbo et al., 2004).

De nos jours en œnologie, son utilisation est réglementée par la commission européenne du 12 mars 2019 avec le règlement Délégué (UE) 2019/934, d'autant plus en Agriculture Biologique (Règlement d'exécution (UE) 2018/1584) ou en biodynamie (cahiers des charges DEMETER ou Biodyvin). Également, la mention « contient des sulfites » sur l'étiquette est obligatoire lorsque que la concentration en dioxyde de soufre total dans le vin est supérieure à 10 mg.L⁻¹ depuis novembre 2005 (directive 2003/89/CE)

Tableau 2 : Teneurs maximales autorisées en SO₂ total (mg.L⁻¹) en fonction du mode de conduite de l'exploitation Sara (2020).

| Type de vin | Rouge < 2 g.L ⁻¹ SR | Rouge > 2 et < 5 g.L ⁻¹ SR | Rouge > 5 g.L ⁻¹ SR | Blanc et Rosé > 5 g.L ⁻¹ SR | Blanc et Rosé < 2 g.L ⁻¹ | Blanc et Rosé > 2 g.L ⁻¹ et < 5 g.L ⁻¹ | Vin Liqueureux > 35 g.L ⁻¹ SR | Vin Liqueureux > 50 g.L ⁻¹ SR | Mousseux | Mousseux de qualité |
|---|--------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--|-------------------------------------|--|--|--|----------|---------------------|
| Conventionnelle | 150 | 200 | 200 | 200 | 250 | 250 | 300 | 300 | 235 | 185 |
| Agriculture biologique  | 100 | 120 | 170 | 150 | 170 | 220 | 370 | 370 | 205 | 155 |
| Demeter France  | 70 | 70 | 70 | 90 | 90 | 130 | 200 | 200 | 60 | 60 |

I.2.3. Propriétés de SO₂

Le dioxyde de soufre est un gaz incolore de masse molaire 64,06 g.mol⁻¹. En solution aqueuse, le SO₂ s'équilibre selon deux réactions:



Ces deux équilibres acido-basiques sont régis par deux constantes de dissociations (K₁ pour la réaction 1 et K₂ pour la réaction 2) avec respectivement pK₁=1,81 et pK₂= 6,91. Au pH du vin (3 à 4), la molécule SO₃²⁻ n'est pas retrouvée. En revanche, le substrat SO₂ de la réaction (1) est fonction du pH, plus le pH est bas plus la réaction sera neutralisée. Ce SO₂, appelé SO₂ actif ou moléculaire, sous forme de H₂SO₃ en milieu aqueux, est la fraction du SO₂ total la plus à même d'agir dans le vin, c'est la proportion qui agit le plus efficacement.

Effectivement, le SO₂ moléculaire est 100-500 fois plus efficace que l'ion bisulfite (HSO₃⁻), car il n'a pas de charge et est capable de passer librement à travers la membrane cellulaire (Divol et al., 2012). De même, le SO₂ actif est la seule forme présentant une capacité antioxydante, inhibant ainsi la tyrosinase ou encore la laccase.

L'ion bisulfite agit également, mais représente la fraction susceptible de se combiner par les bases. Le « SO₂ actif » et l'ion bisulfite représentent la part de « SO₂ libre » : ces formes possèdent des propriétés antimicrobiennes et antioxydantes. HSO₃⁻ combiné à d'autres substances et à l'éthanal représente la part du « SO₂ combiné ». La somme des deux représente le « SO₂ total » (Ribéreau-Gayon et al., 2017a). Un schéma de synthèse de ces informations est présenté dans Figure 06.

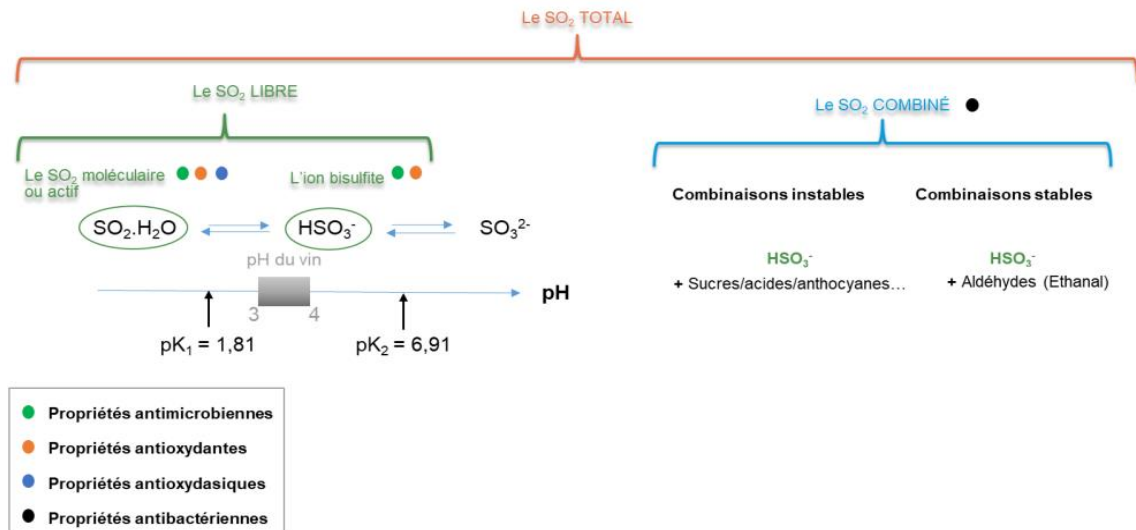


Figure 06 : Schéma de synthèse des formes de SO_2 en œnologie

Tableau 3 : Tableau montrant les principales actions biochimiques du SO_2

| Actions de SO_2 | Principes |
|--------------------------|--|
| Actions antioxydantes | Le SO_2 piège l'oxygène gazeux ou dissous pour s'oxyder en sulfates et diminue ainsi l'oxydation des composés hydroxylés et carbonylés du moût, ce qui préserve les arômes fruités. |
| Actions antioxydasiques | Le SO_2 inhibe l'activité d'enzymes oxydatives comme la tyrosinase et la laccase. |
| Actions antiseptiques | Le SO_2 possède une action toxique sur les levures et les bactéries. |

Source: (Renouf, 2006)

I.2.4. Effet négatif du SO_2 sur la santé du consommateur

Des préoccupations en matière de sécurité sont récemment émises au sujet des sulfites dans les aliments. Le SO_2 peut présenter une certaine toxicité. C'est un produit très dangereux lorsqu'on est exposé à des fortes doses (Denis, 2010). Le dioxyde de soufre et les sulfites ont des effets toxiques bien connus, aussi bien aigus que chroniques chez certains sujets sensibles. Ils aggravent les symptômes respiratoires, dermatologiques, cardiovasculaires et gastro-intestinaux, manifestés essentiellement sous forme de réactions de type asthmatique chez les sujets sensibles aux sulfites, tandis que les réactions sévères de type allergique (anaphylaxies) sont peu fréquentes (Papazian, 1996 ; Vally et Thompson, 2003).

I.3. Généralités sur les huiles essentielles

I.3.1. Définition

Une huile essentielle est une substance liquide, odorante volatile, de consistance huileuse, offrant une forte concentration en principes actifs (Bruneton, 1999).

Les huiles essentielles sont des composés complexes, naturels et volatiles, caractérisés par une odeur forte et qui sont synthétisés par des plantes aromatiques en tant que métabolites secondaires (Bakkali et al., 2008 ; Elhocine , 2019).

Selon la norme AFNOR NFT 75-006 (198), une huile essentielle est un « produit obtenu à partir d'une matière première végétale, soit :

- Première méthode : par entraînement à la vapeur,
- Deuxième méthode : par des procédés mécaniques à partir de l'épicerie des citrus,
- Troisième méthode : par distillation sèche.

Elle est ensuite séparée de la phase aqueuse par des procédés physiques pour les deux premiers modes d'obtention ; elle peut subir des traitements physiques, n'entraînant pas de changement significatif de sa composition (redistillation, aération).

I.3.2. Répartition et localisation des huiles essentielles dans la plante

Les huiles essentielles n'existent quasiment que chez les végétaux supérieurs. Les genres capables d'élaborer les constituants qui les composent sont répartis dans une cinquantaine de familles botaniques parmi lesquelles les Lamiacées, les Astéracées, les Rutacées, les Cannelacées, Les Lauracées, les Myrtacées et les Zingibéracées. Les huiles essentielles peuvent être stockées dans tous les organes : fleurs (rose), feuilles (citronnelle, eucalyptus, laurier), écorces (cannelier), bois (bois de rose, santal), racines (vétiver), rhizomes (curcuma, gingembre), fruits (anis, badiane) et graines (muscade) (Bruneton, 1999).

I.3.3. Domaine d'application des huiles essentielles

Outre l'utilisation traditionnelle, les pays industrialisés cherchent à incorporer les huiles essentielles des plantes naturelles dans les médicaments et dans les produits alimentaires et cosmétiques. Dans le domaine alimentaire, les extraits des plantes naturelles entrent dans la préparation des aliments sous formes d'épices, d'arômes et de condiments. Ils sont souvent utilisés pour leurs propriétés bactéricides ou antioxydants dans la conservation des produits alimentaires (Evelyne, 2009).

I.3.4. Propriétés physico-chimiques des huiles essentielles

Toutes les huiles essentielles sont volatiles, odorantes et inflammables. Leur densité est la plus souvent inférieure à 1. Seules trois huiles essentielles officinales ont une densité supérieure à celle de l'eau, ce sont les huiles essentielles de cannelle, de girofle et de saffran. On trouve généralement les huiles essentielles incolores ou jaunes pâles à l'état liquide à température ordinaire. Les huiles essentielles sont solubles dans les alcools, dans les huiles fixes et dans la plupart des solvants organiques (Bruneton,1999) Leur point d'ébullition est toujours supérieur à 100°C et dépend de leurs poids moléculaires par exemple les points d'ébullition du caryophyllène , du géraniol , du citral et du α -pinène sont 260°, 230°, 228° et 156°C respectivement, mais d'après Valnet (1984), ce point varie de 160°C à 240°C. Elles ont un indice de réfraction élevé et la plupart dévient la lumière polarisée (optiquement active) (Bruneton ,1999).

Elles ont parfois un toucher gras ou huileux mais ce ne sont pas des corps gras. Par évaporation elles peuvent retourner à l'état de vapeur sans laisser de traces, ce qui n'est pas le cas des huiles fixes (olive, tournesol...) qui ne sont pas volatiles et laissent sur le papier une trace grasse persistante (Bernad, 2000).

I.3.5. Composition chimique des huiles essentielles

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de composants appartenant principalement à deux groupes :

- **Composés terpéniques**

Georgetti et al., 2003 affirment que les composés de type terpénique sont largement rencontrés dans les huiles essentielles. Ils sont formés d'un multiple pair ou impair d'unités de 2-méthylbuta-1,3-diène ou appelé encore Isoprène.

Les terpènes sont constitués exclusivement de carbone et d'hydrogène. Ce sont les principaux Constituants des huiles essentielles. On distingue selon Elhocine, 2019 :

- Les monoterpènes à dix carbones ;
- Les sesquiterpènes à quinze carbones ;
- Les diterpènes à vingt carbones

- **Composés phénoliques**

Les composés phénoliques dérivés du phénylpropane ($C_6 - C_3$) sont beaucoup moins fréquents que les terpènes. Cette classe comporte des composés odorants bien connus comme la vanilline, L'eugénol, l'anéthol, l'estragole et bien d'autres (Eugenia et al., 2009).

I.3.6. Méthodes d'obtention des huiles essentielles

Il existe plusieurs méthodes d'obtention des huiles essentielles à partir des plantes aromatiques. Le choix du procédé d'extraction des huiles essentielles dépend de la nature de la matière végétale à traiter, des caractéristiques physico-chimiques de l'essence à extraire et de l'usage à en faire (Oswald, 2012).

- **Hydrodistillation simple**

La méthode par hydrodistillation est traditionnellement la plus couramment utilisée (environ 80% des cas) car elle est la plus économique (Kaloustian et Hadji-Minaglo). Elle consiste à immerger directement le matériel végétal à traiter (intact ou éventuellement broyé) dans un alambic rempli d'eau qui est ensuite porté à ébullition. Les vapeurs hétérogènes sont condensées sur une surface froide et l'huile essentielle se sépare par différence de densité (Fekih, 2005).

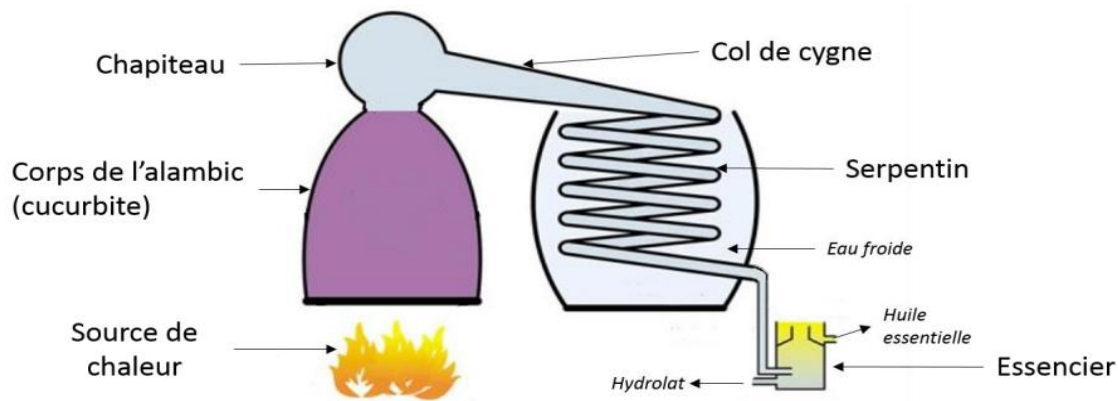


Figure 07 : Schéma d'un alambic

Source : Robin, 2017

- **Entraînement à la vapeur**

L'entraînement à la vapeur d'eau est une variante plus récente de distillation dans laquelle il n'y a pas de contact direct entre la matière végétale et l'eau. Ici, de la vapeur d'eau est produite dans une chaudière séparée, puis injectée à la base de l'alambic dans lequel se trouve la plante.

La vapeur remonte dans l'alambic et traverse la plante. De la même façon que dans l'hydrodistillation, on assiste à un éclatement des cellules et à la formation d'un mélange azéotrope, récupéré en haut de la cuve et condensé (Lucchesi, 2005) (Figure7).

L'un des principaux intérêts de cette méthode par rapport à l'hydrodistillation est la préservation de la qualité de l'essence. En effet, dans le cas présent, la plante ne macère pas dans l'eau, ce qui limite les phénomènes d'hydrolyse mais également de solubilisation de certains composés hydrosolubles (comme les phénols) qui sont donc mieux extraits. Le risque de dégradation par la chaleur est également mieux maîtrisé puisque le chauffage ne se fait pas directement sur la cuve contenant la matière première végétale (Sousa, 2012). La génération de la vapeur dans une chaudière externe permet d'en contrôler la quantité, la pression ou encore la température à laquelle se fait l'extraction ; elle permet également de réduire le temps d'extraction et l'apport énergétique nécessaire. Enfin, l'entraînement à la vapeur permet généralement des extractions à plus grande échelle.

Cependant, cette méthode trouve sa limite dans le coût des installations nécessaires à sa mise en œuvre, bien plus important que pour l'hydrodistillation. Cela pose un problème de rentabilité pour les huiles essentielles présentes en grande quantité et à faible prix sur le marché. Un problème d'accessibilité du matériel se présente également dans les zones pauvres ou particulièrement reculées (Handa et al., 2008).

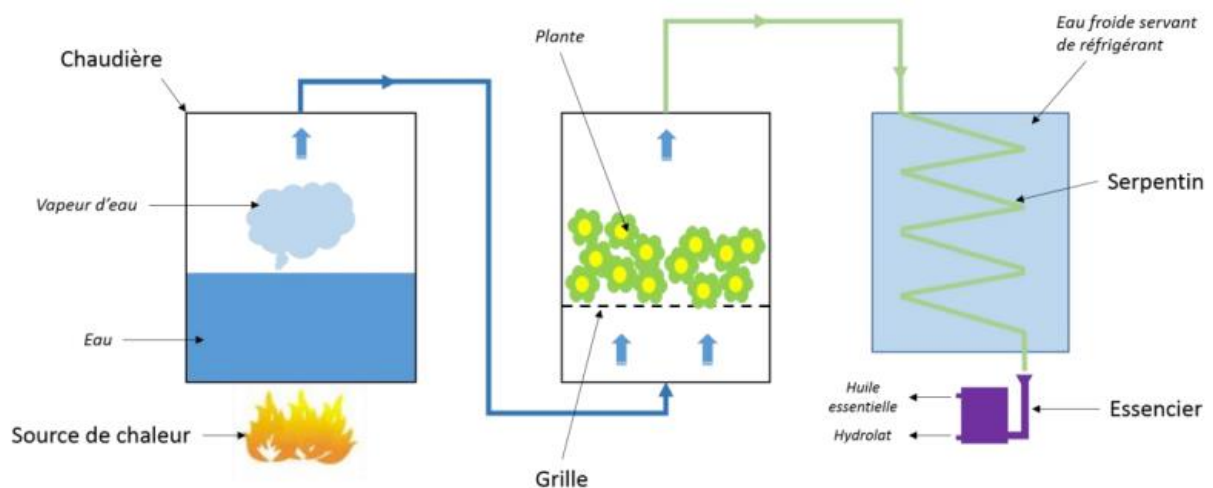


Figure 08 : Schéma d'une installation d'entraînement à la vapeur

Source : Robin, 2017

- Vapo-hydrodistillation

Il s'agit d'une variante à mi-chemin entre l'hydrodistillation et l'entraînement à la vapeur dans laquelle la matière végétale et l'eau se trouve dans la même enceinte mais ne sont pas en contact. L'eau est portée à ébullition par le chauffage de la cuve, se transforme en vapeur et passe au travers de la plante, posée sur une grille au-dessus de l'eau (Figure 08).

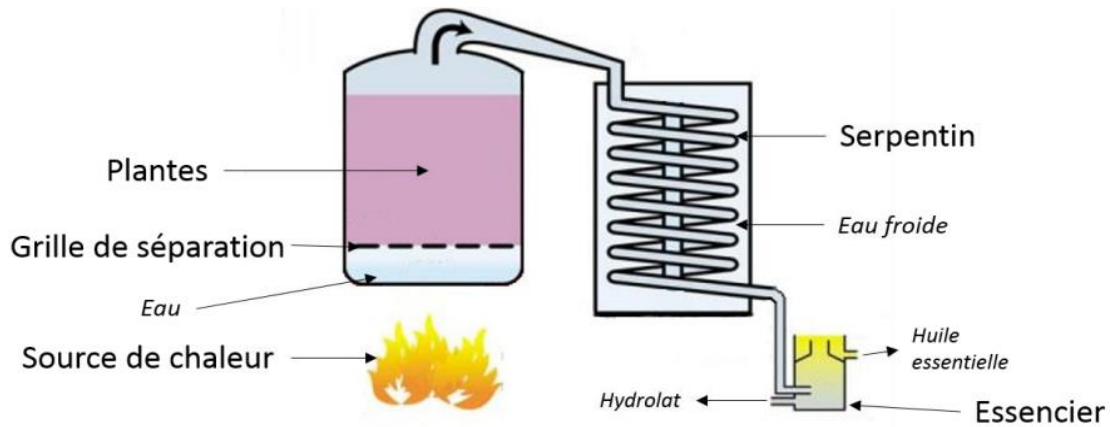


Figure 09 : Schéma d'une installation de vapo-hydrodistillation

Source : Robin, 2017

Le tableau suivant présente un comparatif des avantages et inconvénients des trois méthodes présentées précédemment

Tableau 04 : Intérêts et inconvénients des différents procédés de distillation

| | Hydrodistillation | Vapo- hydrodistillation | Entraînement à la vapeur |
|-----------------------------------|--|---|--|
| Type d'alambic | Simple, de faible coût, transportable et facilement installable dans les régions de production | | De grande dimension pour augmenter la cadence de distillation |
| Type de matériel végétal | Fleurs principalement, Inadapté si présence de composés saponifiables, hydrosoluble ou à température d'ébullition élevé | Plantes entières et feuillages | Tous sauf matériel finement broyé. Adapté pour les composés à point d'ébullition élevé |
| Conditions de diffusion | Bonnes, surtout si le matériel végétal est totalement immergé et mobile dans l'eau | Bonnes, si la vapeur circule de manière homogène dans la matière végétale | Bonnes, si la vapeur est légèrement mouillée et si elle diffuse de manière homogène dans le matériel végétal |
| Température dans l'alambic | Proche de 100°C, risque d'endommagement du matériel végétal par contact direct avec la cuve | Autour de 100°C | Modulable, peut dépasser 100°C |
| Vitesse de distillation | Relativement faible | Assez bonne | Elevée |
| Hydrolyse | Vitesse d'hydrolyse d'esters élevée | Moindre problème (contact plante/eau limité) | Faible en général |
| Rendement | Souvent relativement faible | Bon en l'absence de mouillabilité importante de la plante | Bon si l'extraction est correctement conduite |
| Qualité de l'huile | Dépend des conditions | Toujours bonne | Bonne si l'extraction est correctement conduite |

Source: Duval (2012)

I.3.7. Conservation des huiles essentielles

La plupart des composants des huiles essentielles sont insaturés, donc elles peuvent subir des réactions secondaires telles que des réactions d'auto-oxydation, des réactions de réarrangement moléculaire, des réactions de polymérisation et des réactions d'hydrolyse en présence de la chaleur, de la lumière et des métaux etc.

Pour éviter ces réactions secondaires, les huiles essentielles sont conservées dans des flacons en verre sombre hermétiquement fermés et à une température comprise entre 0 et 5°C (Oswald, 2012).

I.3.8. Huile essentielle de Citronnelle (*Cymbopogon citratus*)

I.3.8.1. Historique et origine de citronnelle

Le nom botanique de la citronnelle, *Cymbopogon* est dérivé des mots grecs kymbe : « nacelle » et pogon : « barbe ». Il se réfère à des épis en formes de nacelle porteurs de nombreuses fleurs qui font songer à une barbe. Originnaire d'Inde, du Sri Lanka et de tout l'espace sud asiatique, la citronnelle a une longue tradition et est utilisée depuis des siècles, et ce pas seulement dans la cuisine ou la médecine. Les parfums et les huiles fabriqués dans l'espace asiatique ont été importés au XVII^{ème} siècle par les navigateurs anglais, français et hollandais en Europe, où ils étaient très appréciés par la noblesse européenne (Khadidja et Fatima, 2017).

Le genre *Cymbopogon* comprend une cinquantaine d'espèces originaire d'Asie mais dont certaines sont depuis très longtemps introduites et naturalisées dans tout le monde (Teuscher et al., 2005). La citronnelle ou verveine des Indes, nommée par les anglophones « Lemongras », est une graminée très commune en Asie du Sud-Est, d'où elle est originaire.

I.3.8.2. Botanique et culture de la citronnelle

La citronnelle est une plante pluriannuelle qui appartient à la famille des poacés ou graminées. On la trouve dans presque toutes les contrées tropicales. La citronnelle dont il n'existe pas moins de 56 espèces, est riche en huiles essentielles avec une teneur élevée en citral et en géraniol (Kouamé et al., 2016). C'est une plante herbacée vivace, formée de tiges serrées pouvant atteindre 1,5m de hauteur, lisses et glabres. Elles forment des touffes composées de feuilles linéaires, terminées en pointe, de 90cm de longueur sur 3 à 5cm de large ; ces feuilles sont raides, coupantes, lisses sur leurs deux faces et de couleur verte claire grisâtre ; elles ont une nervure centrale saillante et plus claire, un pétiole engainant et présentent une ligule parcheminée d'à peine 1mm de long (Teuscher et al., 2005). Elles dégagent une forte odeur de citron quand on les froisse (Pousset, 2004 ; Mc Vicar, 2006). La plante se termine dans sa partie souterraine par une base renflée comme un oignon mais qui ne correspond à un bulbe (Teuscher et al., 2005). Ce sont des rhizomes supportant un chevelu de racelles fines et longues, peu tortueuses à odeur assez faible et fugace (Boullard, 2001).



a. Partie aérienne



b. Tige

Figure 10 : Aspect botanique et morphologique de la citronnelle (*Cymbopogon citratus*)

I.3.8.3. Systématique

Plusieurs noms communs sont attribués *Cymbopogon citratus*. Nous citons citronnelle, herbe citron, verveine des Indes, Jonc odorant, lemongrass (Kouame et al., 2016 ; Khadidja et Fatima, 2017).

La classification botanique de la plante est la suivante :

- Règne : plante
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Liliopsida
- Ordre : Cyperales
- Famille : Poaceae
- Genre : *Cymbopogon*
- Espèce : *Cymbopogon citratus*

I.3.8.4. Huile essentielle de la citronnelle

La citronnelle, encore appelée citronnelle d'Inde, est une plante herbacée tropicale de la famille des Poaceae, cultivée pour ces tiges et feuilles aux qualités aromatiques (goût de citron). Son huile essentielle est obtenue par distillation des feuilles hachées que l'on récolte plusieurs fois par an. Ses parties utilisées sont généralement les feuilles. L'huile essentielle de citronnelle est obtenue par distillation à la vapeur d'eau à partir des feuilles et tiges fraîches ou sèches. La

matière fraîche de citronnelle contient 0,26 à 0,52% d'huile essentielle et parfois 0,7% et la matière sèche en contient 0,4% (Bardeau, 2009 ; Lawal et al., 2017).

I.3.8.5. Composition chimique

Les principaux constituants de l'huile essentielle de la citronnelle sont le citral dont la teneur varie entre 65 et 86%, renfermant dans les mêmes proportions du néral et du géraniol. Les autres composés majoritaires sont le myrcène (jusqu'à 20%), le camphène (10%) et le géraniol (2à10%). Ces composés sont accompagnés d'acétate de géranyle, de linalol, de nérol, de citronellal et de 2-méthylhept-5-èn-2-one (Salle, 1991 ; Akhila, 2010 ; Ekpenyong et al, 2014 ; Khadidja et Fatima, 2017).

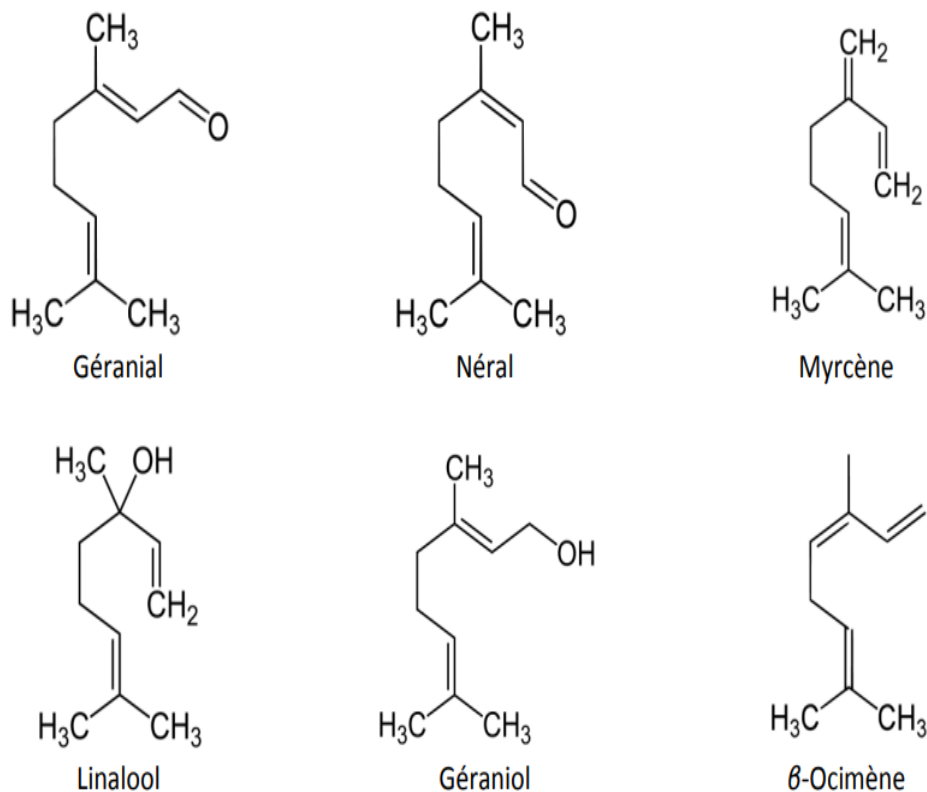


Figure 11: Structure chimique des composés de l'huile essentielle de citronnelle

Source : Khadidja et Fatima, (2017).

I.3.8.6. Propriétés de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus*

La citronnelle a de nombreux bienfaits sur la santé et ses propriétés curatives contiennent de nombreux composés, huiles, minéraux et vitamines qui sont connus pour avoir des propriétés antioxydantes et qui peuvent guérir certaines maladies. Le composant chimique principal de

citronnelle est le citral qui a des fortes propriétés antimicrobiennes et antifongiques (Ekpenyong et al, 2014 ; Khadidja et Fatima, 2017).

Ohno et al, 2003 ont rapporté que l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* possède une activité antimicrobienne contre *Helicobacter pylori*, bactérie responsable de maladies gastroduodénales. Koba et al., (2003) ont de leur côté montré que l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* possédait une activité antimicrobienne. Helal et al., (2006) ont évalué les propriétés antibactériennes et antifongiques de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* contre les moisissures, les levures et les bactéries isolées de jus frais d'orange, de goyave et de banane en Egypte.

Selon Kanko (2010), l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* de la Côte d'Ivoire renfermant en majorité du citral, inhibe la croissance de *Musca domestica*, de sept *Pleurotus* spp dont *Aspergillus flavus* et des champignons filamenteux

Dans le domaine agro-alimentaire, l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* joue un rôle de conservateur (Oswald, 2012).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1. Présentation du milieu d'études

II.1.1. Travaux de laboratoire

Les travaux de laboratoire ont été effectués dans la Société Coopérative de transformation et commercialisation des Produits Agro-alimentaire (SOCOPA) dans une unité de transformation de jus et vin de banane basée à Ruyigi.

II.1.2. Lieu de collecte de la matière première (jus de banane)

La matière première utilisée a été obtenue au sein de l'unité de transformation de jus et vin de banane de la SOCOPA à Ruyigi.

II.1.3. Lieux de collecte des plantes naturelles

Les feuilles de citronnelle (*Cymbopogon citratus*) ont été collectées auprès des agriculteurs de la colline Murehe en commune et province de Ruyigi.

II.2. Matériel

II.2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé a été constitué de :

- jus de banane ;
- feuilles de *Cymbopogon citratus*.

II.2.2. Matériel chimique

Le matériel chimique utilisé a été constitué de :

- Anhydride sulfureux

II.2.3. Matériel de laboratoire

- balance électronique pour la pesée ;
- cuillère pour tenir la levure lors de la pesée ;
- refractomètre pour mesurer la teneur en sucres ;
- densimètre pour mesurer la densité ;
- vinomètre pour mesurer la teneur en alcool ;
- éprouvette graduée pour la densité du produit ;
- pH-mètre pour mesurer le pH ;

- thermomètre pour mesurer la température ;
- appareil frigorifique pour ajuster la température de l'échantillon ;
- verre pour tester la clarification et la couleur du produit ;
- seringue gradué pour mesurer la quantité d'huile essentielle à doser.

II.2.3. Matériel de production

- grande cuve pour contenir les seaux et les petits bidons pour la fermentation ;
- marmite pour la pasteurisation du produit ;
- seau et son couvercle pour la fermentation ;
- cannette, bassine, bols, bocaux de prélèvement ;
- petit bidon pour la fermentation ;
- bouteille de 33cl pour le conditionnement du produit ;
- capsules pour la fermeture des bouteilles ;
- casseroles en inox pour la pasteurisation du vin et pour la stérilisation des bouteilles et des couvercles ;
- tissus filtrants pour la filtration et la clarification du produit ;
- gobelet et un entonnoir pour la mise en bouteille de la boisson ;
- capsuleuse pour la fermeture des bouteilles remplies ;
- pot en terre cuite pour l'extraction de l'huile essentielle.

II.3. Méthodes

II.3.1. Extraction de l'huile essentielle

La méthode utilisée pour extraire l'huile essentielle est celle d'hydrodistillation à partir d'un pot de terre cuite de tradition burundaise qui possède une ouverture étroite sur laquelle une conduite de vapeur (tuyau flexible) avec un sachet à l'aide d'une corde (fil métallique) a été reliée. Cette conduite flexible traverse, par immersion, une marmite d'eau froide (réfrigérant) pour faciliter la condensation de la vapeur avant de tomber dans un flacon transparent.

Dans ce procédé, la matière première à traiter est entièrement immergée dans l'eau contenue dans un pot, qui est ensuite portée à ébullition. La vapeur d'eau, en s'échappant, emporte avec elle l'essence recherchée. Cette vapeur entraîne les produits volatiles constituant l'huile essentielle, qui monte dans le système réfrigérant et se condense. Après condensation, lorsqu'on laisse reposer le liquide distillé dans un flacon transparent, deux parties du liquide (l'huile

essentielle et l'eau) ont été séparées. Après la séparation, la récupération de l'huile essentielle a été faite dans un flacon sombre stérile pour limiter les réactions photochimiques.

Une quantité de 25kg de feuilles de *Cymbopogon Citratus* a été utilisée pour obtenir 286 grammes d'huiles essentielles soit un rendement de 1,14% qui a été utilisée pour stabiliser le vin.

Le rendement d'extraction en huiles essentielles a été calculé par la formule suivante :

$$\text{Rendement} = \frac{\text{Masse de l'huile essentielle extraite (g)}}{\text{Masse de matière végétale soumise à l'extraction (g)}} * 100$$

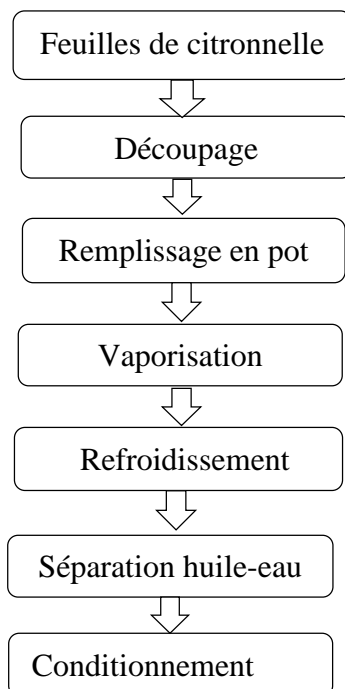


Figure 12 : Diagramme d'extraction de l'huile essentielle

II.3.2. Processus de fabrication du vin de banane

II.3.2.1. Réception de matière première

Le jus de banane a été utilisé comme matière première après avoir suivi les étapes antérieures d'extraction du jus traité au sein de la société coopérative de transformation et commercialisation des produits agricoles (SOCOPA) basée à Ruyigi.

II.3.2.2. Chaptalisation

Pour augmenter la teneur en alcool à une concentration voulue, l'ajout du sucre dans le jus est nécessaire. Le densimètre a été utilisé pour calculer la quantité de sucres à ajouter pour donner le degré d'alcool dont on a besoin. La soustraction de la teneur en sucres avant la fermentation

de la teneur en sucres équivalente à la force désirée a été effectuée et l'ajout d'autant de sucres que la différence obtenue a été fait.

Dans ce travail, une concentration de 15% du taux d'alcool a été souhaitée.

La formule suivante a été utilisée:

DI = 1,095 correspond à SI = 249g

DF = 1,116 correspond à SF = 304g

S = SF-SI soit 1 gramme *(304 - 249) = 55grammes/litre

Le réfractomètre et le densimètre ont été utilisés pour mesurer la teneur en sucres et la densité du moût.

II.3.2.3. Pasteurisation du jus

La pasteurisation a pour but de tuer les microorganismes pour ne pas avoir un impact négatif sur la fermentation. Au cours de la pasteurisation du jus sur une cuisine dans une marmite, la détermination de la température a été faite à l'aide d'un thermomètre gradué.

II.3.2.4. Débourage

Le débourage consiste à laisser le jus au repos pendant 12 à 24 heures. C'est une préfiltration du moût destinée à faire déposer les particules les plus lourdes du jus, en vue d'obtenir un moût plus clair à mettre en fermentation et de favoriser la finesse des arômes terminaux du vin qui dépend de la propreté du jus mis en fermentation.

Dans ce procédé, un seau troué au niveau inférieur de sa hauteur a été utilisé pour faciliter la récupération du jus clair qui se trouve au-dessus au moment où les dépôts de particules se trouvent au fond du seau.

II.3.2.5. Refroidissement

Avant de fermenter le jus, on doit ajuster la température d'ensemencement. Après le débourage, le jus a été ramené à une température de 30°C favorable au fonctionnement de la levure *saccharomyces cerevisiae*. Un appareil frigorifique a été utilisé pour faire le refroidissement et un thermomètre a été utilisé pour mesurer la température.

II.3.2.6. Fermentation

La fermentation du jus de banane a été faite dans un seau muni d'une couvercle mis à l'intérieur de l'une des cuves de fermentation de la SOCOPA Ruyigi à une température ambiante d'environ $31\pm 4^{\circ}\text{C}$ qui est assez proche de la température de levurage du moût de banane (30°C). L'ensemencement a été fait avec la levure de type *saccharomyces cerevisiae* après l'avoir réhydratée pendant 3heures dans 1litre de jus chauffé à une température de 35°C . Le dosage de la levure *Saccharomyces Cerevisiae* de 2 à 3grammes par 10litres a été effectué en fonction de la densité et de la teneur en sucres.

II.3.2.7. Filtration et clarification du vin

Après la fermentation, la filtration du jus a été faite à l'aide d'un tissu filtrant qui a été déposé sur un tamis au-dessus d'un seau avec une attente de 3heures pour que les particules en suspension se déposent au fond puis le vin clair a été retenu dans un sceau.

II.3.2.8. Dosage de l'huile essentielle et du SO_2

Après la filtration, le dosage des agents conservateurs est très nécessaire pour stabiliser le vin en empêchant la poursuite de la fermentation et l'oxydation pendant la maturation qui pourrait dégrader le produit et causer des effets néfastes pour le consommateur.

Dans ce travail, trois échantillons de vin filtré ont été dosés différemment:

- Echantillon témoin constituant le vin sans ajout des conservateurs ;
- Echantillon ayant reçu 0,5ml d'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* par litre de vin de banane ;
- Echantillon ayant reçu 1ml d'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* par litre de vin de banane ;
- Echantillon ayant reçu 50mg d'additif chimique de SO_2 par litre de vin de banane.

II.3.2.9. Mise en bouteille

Pour des raisons sécuritaires et esthétiques, des bouteilles de 33cl ont été utilisées. Mais avant la mise en bouteille, le lavage et la désinfection de ces bouteilles ont été faits. Le lavage a été déroulé en quatre étapes :

- Une injection intérieure et extérieure d'eau chaude sous pression pour le pré-rinçage;
- L'injection intérieure et extérieure sous pression de solution de soude chaude pour enlever les salissures;

- L'injection intérieure et extérieure d'eau chaude à 85°C sous pression pour tuer les microorganismes;
- Injection finale d'eau propre froide pour le rinçage finale.

La détermination de la propreté de la bouteille a été faite par le pH-mètre dont la valeur de la sortie de l'eau de rinçage gravite à la neutralité du pH (pH=7).

Le remplissage des bouteilles a été effectué manuellement à l'aide d'un robinet installé à 4cm de hauteur d'un seau pour ne pas remplir le vin avec des résidus déposés au fond. Cette étape a été accompagnée par le capsulage hermétique à l'aide d'une capsuleuse manuelle.

II.3.2.10. Pasteurisation et refroidissement du vin

Pour assurer un mélange homogène du vin et des additifs et éviter la dégradation du produit liée au développement des microorganismes, l'appertisation (pasteurisation du vin en bouteille) dans une marmite remplie d'eau jusqu'à une température de 70°C pendant 30min a été effectuée. Le vin a été ensuite refroidi dans un appareil frigorifique jusqu'à une température de 20°C. La pasteurisation en bouteilles du vin a été réalisée dans un récipient hermétiquement fermé. Le barème de pasteurisation (T_1, t) utilisé est illustré par la figure ci-dessous :

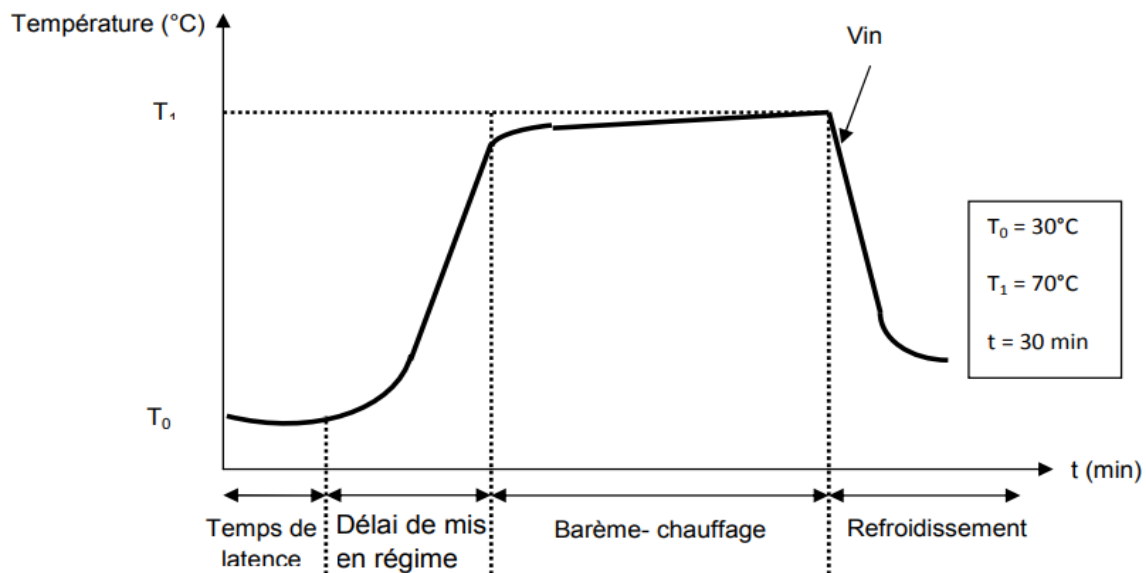


Figure 13 : Représentation graphique des différentes phases de pasteurisation en bouteille du vin de banane

Source : Elvis (2011)

T_0 : température initiale du vin de banane

T1 : température constante de chauffage de banane

t : Durée de chauffage du vin de banane à température constante.

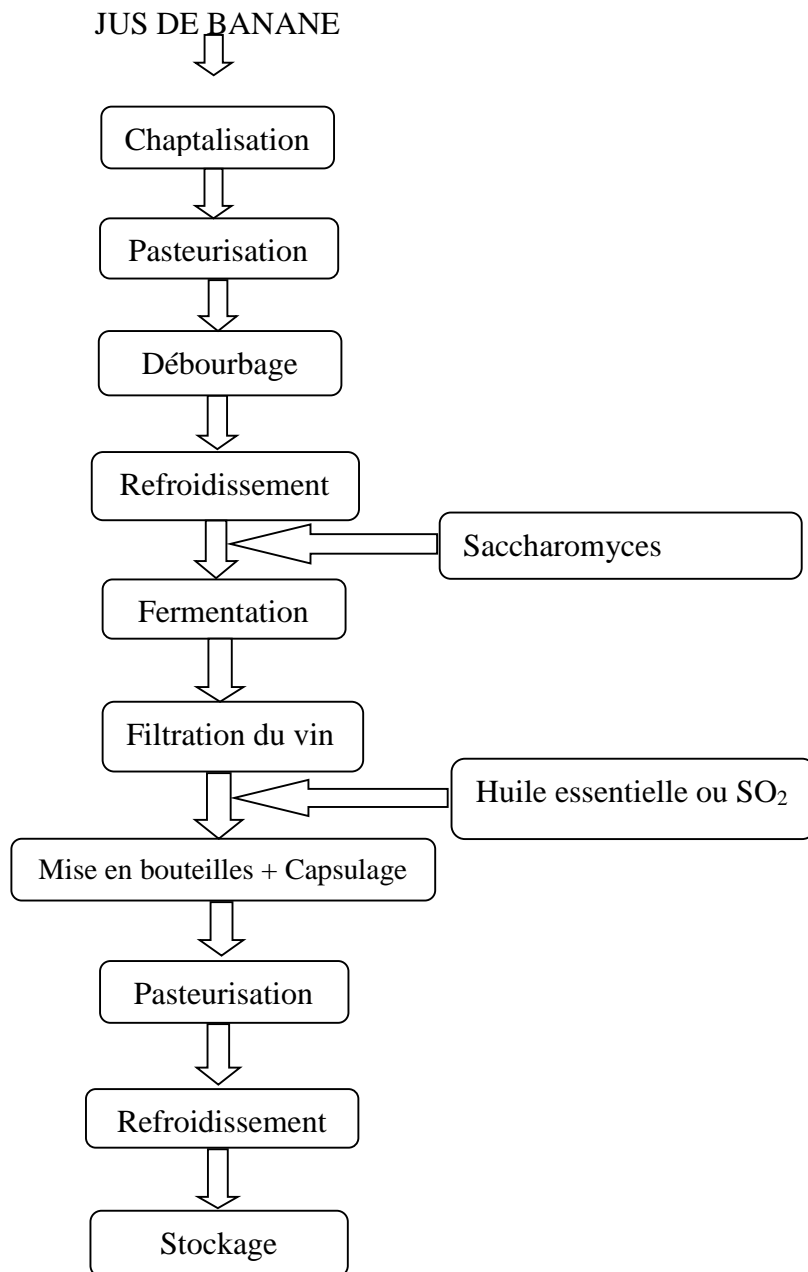


Figure 14 : Diagramme de fabrication du vin de banane



Figure 15 : Bouteilles de vin de banane adjoint d'huile essentielle

II.3.3. Caractérisation physico-chimique et organoleptique du vin de banane

II.3.3.1. Analyses physico-chimiques

Les différentes analyses physico-chimiques effectuées tout au long de notre étude, ont porté essentiellement sur la température, la densité, le pH, la teneur en sucres et le taux d'alcool. Ces différentes mesures ont été effectuées au cours de la fermentation et pendant la maturation pour évaluer la stabilité du vin par addition des conservateurs.

- **Détermination du potentiel Hydrogène (pH)**

Le potentiel Hydrogène (pH) est la concentration en ion hydronium ou la teneur en acide libre d'une solution. Il exprime l'acidité ou la basicité et est déterminé avec le pH-mètre préalablement étalonné avec la solution tampon de pH=7. La valeur du pH a été effectuée directement par simple lecture.

- **Détermination de la densité**

La densité d'un liquide augmente proportionnellement à sa concentration en sucres et désigne le rapport de la masse d'un volume de ce liquide à la masse d'un égal volume d'eau pure.

Elle se mesure avec un densimètre. C'est un long tube de verre scellé, élargi à la base et lesté avec du plomb lui permettant de le maintenir à la position verticale lorsqu'il flotte dans un liquide. La partie du haut du tube de verre porte une échelle graduée sur laquelle se lit directement la densité.

Son utilisation a consisté à verser l'échantillon à analyser dans une éprouvette graduée de 250ml dans laquelle a été plongé le densimètre. La lecture a été faite en prenant la graduation qui coïncide avec le niveau de la surface du moût. La détermination de la densité a été effectuée à une température de 20°C.

En plus de la mesure de la densité, le densimètre a été utilisé pour :

- Mesurer la quantité du sucre dans le jus de banane au départ de la fermentation ;
- Suivre l'évolution de la fermentation ;
- Calculer la teneur en alcool du vin de banane;
- Déterminer la fin de la fermentation.

- **Détermination de la teneur en sucres par réfractométrie**

La quantification de la fraction de sucres d'un jus a été basée sur la mesure de l'indice de réfraction de la solution aqueuse sucrée à l'aide d'un réfractomètre à 20°C. Le réfractomètre a été gradué directement en g/l de sucre ou bien en degrés Brix. Quelques gouttes du jus ou du vin de banane à analyser ont été déposées sur l'appareil gradué de 00 à 45°Brix. La lecture a été faite à l'oculaire. Elle a été exprimée en degré Brix et a donné le pourcentage en masse d'extrait sec du jus avant fermentation.

- **Détermination de la teneur en alcool**

La densité de l'eau étant de 1000 et celle de l'alcool pur de 792, un mélange d'eau et d'alcool aura une densité comprise entre 792 et 1000. A partir de la densité initiale et de la densité finale du vin, l'on a pu déterminer le pourcentage d'alcool atteint en faisant:

$$\text{Degré d'alcool} = (\text{densité initiale} - \text{densité finale}) / 7,6$$

Il est à noter que d'autres facteurs comme la température ambiante ont pu légèrement faire varier le pourcentage d'alcool. Les degrés potentiels d'alcool déterminés ont été calculés en prenant pour base une densité finale de 990, correspondant à la densité minimale des vins blancs secs.

Un vinomètre gradué a été utilisé pour mesurer la teneur en alcool et nous avons procédé de la manière suivante :

- vérifier que la mesure affiche zéro ;
- tenir l'instrument la pointe vers le bas ;
- verser du vin dans l'embout et faire en sortir environ 10 gouttes de la pointe en s'assurant qu'il ne se forme pas de petites bulles ;
- renverser l'instrument la pointe vers le haut en laissant tomber le vin dans le tube. La lecture s'effectue au point où s'arrête le vin.

Avant et après l'utilisation, le vinomètre a été nettoyé avec de l'eau ou de l'alcool et a été ensuite rincé avec l'eau distillée à 15°C.

- **Conduite de la fermentation**

La température, le pH, la densité, teneur en sucres et le taux d'alcool ont été les facteurs principaux sur lesquels une bonne conduite de la fermentation s'est basée. Cette conduite a permis de contrôler l'activité des levures et l'état général du moût de banane pendant la fermentation.

- **Conduite de la stabilisation du vin**

Elle a été déterminée par la densité, le pH, la réfractométrie et l'alcoométrie. Tous ces facteurs ont permis de contrôler l'activité des microorganismes, la continuité de la fermentation ainsi que l'état général du vin de banane pendant la maturation.

II.3.3.2. Caractérisation organoleptique

Après trois semaines de maturation, les échantillons ont été dégustés. Ces séances se sont déroulées au sein de la SOCOPA dans une salle de l'unité de transformation du jus et vin de banane basée à Ruyigi et avaient pour objectif d'évaluer par comparaison l'éventuelle influence des huiles essentielles et du SO₂ additionnés. Un test hédonique a été utilisé pour apprécier le goût, l'odeur, la couleur et la texture des échantillons traités à l'huile essentielle de citronnelle et au SO₂. Le test avait consisté à demander à un panel de 20 dégustateurs leur préférence par rapport aux différents attributs. Un échantillon pour chaque catégorie de vin a servi comme élément de comparaison.

Selon la grille de notation en annexe, une échelle de notes allant de 1 à 5 a été choisie pour apprécier les différents vins de banane : 5 = Très agréable, 4 = Agréable, 3 = Indifférent, 2 = Désagréable, 1= Très désagréable.

II.4. Analyse des données

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

CHAPITRE III : INTERPRETATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

III.1. Résultats d'analyses des propriétés physicochimiques pendant la fermentation

Dans le but de suivre l'évolution de la fermentation du vin de banane, des propriétés physico-chimiques ont été analysés pendant la fermentation. Les valeurs mentionnées sur les figures ci-dessous sont les moyennes des résultats obtenus par jour pour chaque propriété physico-chimique comme l'indique le tableau en annexes. Les propriétés physico-chimiques analysées sont la température, le pH, la densité, la teneur en sucres et le taux d'alcool. Les résultats ont montré que les valeurs du pH, du taux de sucres et de la densité ont diminué progressivement en fonction du temps de fermentation tandis que le taux d'alcool a augmenté progressivement. Les résultats sont indiqués sur les figures ci-dessous.

III.1.1. Evolution de la température pendant la fermentation

L'évolution de la température pendant la fermentation a été indiquée sur la figure 16. La température moyenne initiale de fermentation a été 28,7°C et a augmenté jusqu'à une température moyenne de 35,8°C mais après 4 jours, cette température a commencé à chuter progressivement jusqu'à 20,5°C. Cette température est en conformité avec l'intervalle de température déterminée par Kouamé (1992) qui démontre une consommation rapide du substrat de fermentation (le sucre), à des températures comprises entre 30 et 37°C, correspondant respectivement à la température de croissance maximale des levures et à celle de la production maximale d'éthanol. Allant dans le même sens, Torija et al (2003) observent une augmentation du rendement en alcool avec l'élévation de température, tandis que les basses températures favorisent la formation de métabolites secondaires tels que les esters, le glycérol etc. Dans ce travail, la chute de la température n'aurait pas été seulement due à la décroissance de la levure mais aussi à des conditions du milieu de fermentation.

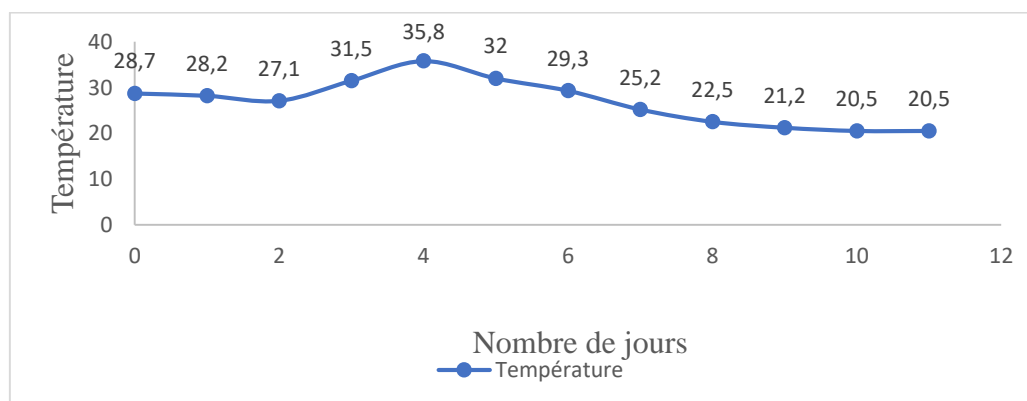


Figure 16 : Evolution de la température pendant la fermentation

III.1.2. Evolution du pH pendant la fermentation

L'évolution du pH pendant la fermentation a été indiquée sur la figure 17. Dans ce travail, les résultats ont montré que le pH a diminué progressivement ; au départ la valeur moyenne du pH est 5.6 tandis qu'à la fin de la fermentation elle est de 3.6. Ce pH est en comparaison à ceux reportés dans les protocoles de vinification situés entre 3.5 et 3.6 (Bondiac, 1998). La valeur obtenue du pH reste supérieure à celle donnée par Kocher et Pooja (2011) qui disent qu'il est reconnu que les vins ayant des pH de moins de 3.4 présentent une résistance notable aux attaques bactériennes.

Selon Torija (2003), les microorganismes fermentaires décomposent le substrat riche en hydrates de carbone et produisent de l'éthanol et des métabolites acides ce qui entraîne la baisse du pH et la plus part des microorganismes notamment les pathogènes sont incapables de se développer dans un tel milieu.

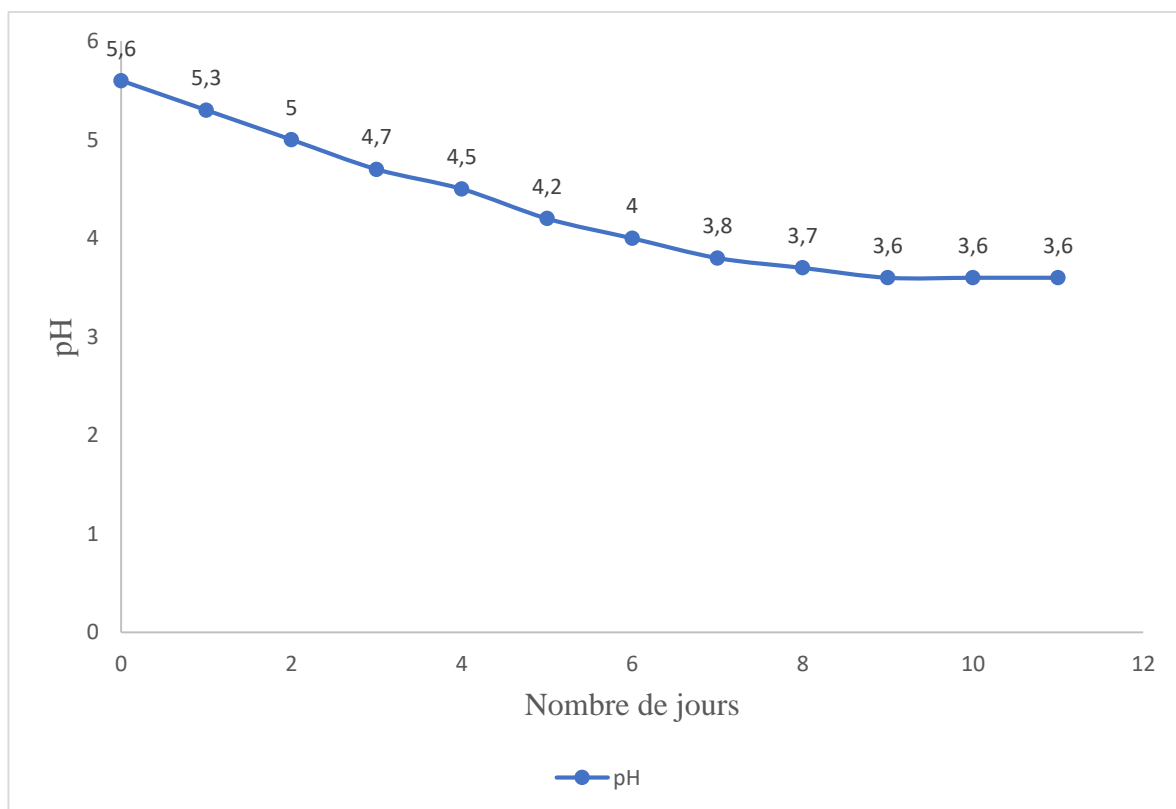


Figure 17 : Evolution du pH pendant la fermentation

III.1.3. Evolution de la densité pendant la fermentation

La figure 18 a montré que la densité du vin de banane dont le moût était de 1.116 au début de la fermentation a diminué de 0.089 unités et présente après 11 jours une valeur moyenne de 1.017 qui reste constant pour les autres mesures prises par la suite. Cette diminution se justifie par le métabolisme de la levure *Saccharomyces cerevisiae*ensemencée pendant la fermentation. En effet, la levure dégrade le sucre contenu dans le moût en produisant de l'alcool et du CO₂. Ainsi, le moût de banane plus dense que l'eau se fait remplacer par l'alcool qui a une densité proche à celle de l'eau.

La densité mesurée à partir du 11^{ème} jour reste constant, témoignant un arrêt prématuré de la fermentation alcoolique. En effet, bien que la densité du moût de banane ait diminuée de façon considérable, la densité finale obtenue reste élevée par rapport à la densité attendue à la fin de la fermentation (0.990 à 0.995). Cette forte valeur obtenue après la fermentation témoigne selon Elvis, 2001, de la présence du sucre non encore utilisé par la levure pour la production d'alcool ce qui réduit de façon considérable les degrés potentiels en volume d'alcool déterminés au début de la fermentation. Des analyses microbiologiques pourraient être analysées pour connaître la cause de l'arrêt de la fermentation qui, d'après le goût aigre et les acides produits, semble être due à l'activité des microorganismes autres que la levure ensemencée.

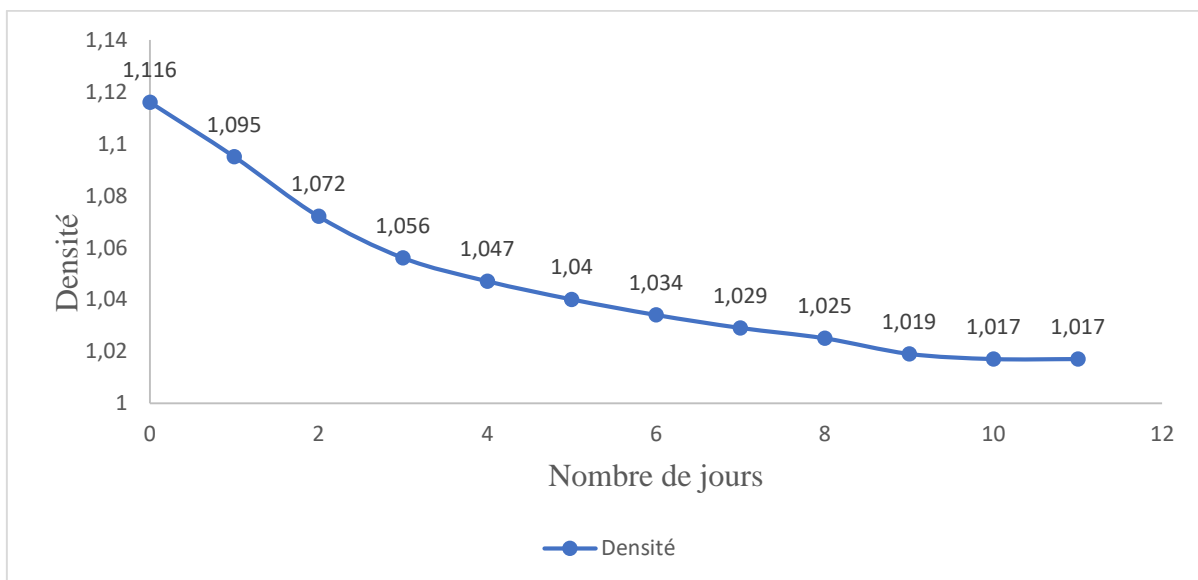


Figure 18 : Evolution de la densité pendant la fermentation

III.1.4. Evolution de la teneur en sucres pendant la fermentation

La figure 19 a montré l'évolution de la teneur en sucres pendant la fermentation. On note une décroissance du taux de sucres qui se fait de manière simultanée à l'augmentation du taux d'alcool.

Au départ, la teneur en sucres moyenne a été 24,4°Brix tandis qu'à la fin de fermentation, elle a resté constante à 11,4°Brix. Ce sucre restant est considéré comme sucre résiduaire et ceci est dû à la levure qui devient incapable de le consommer suite peut-être à des multiples facteurs y compris la présence d'autres microorganismes notamment les bactéries qui attaquent la levure et produisent des métabolites acides au lieu de l'éthanol (Elvis, 2011).

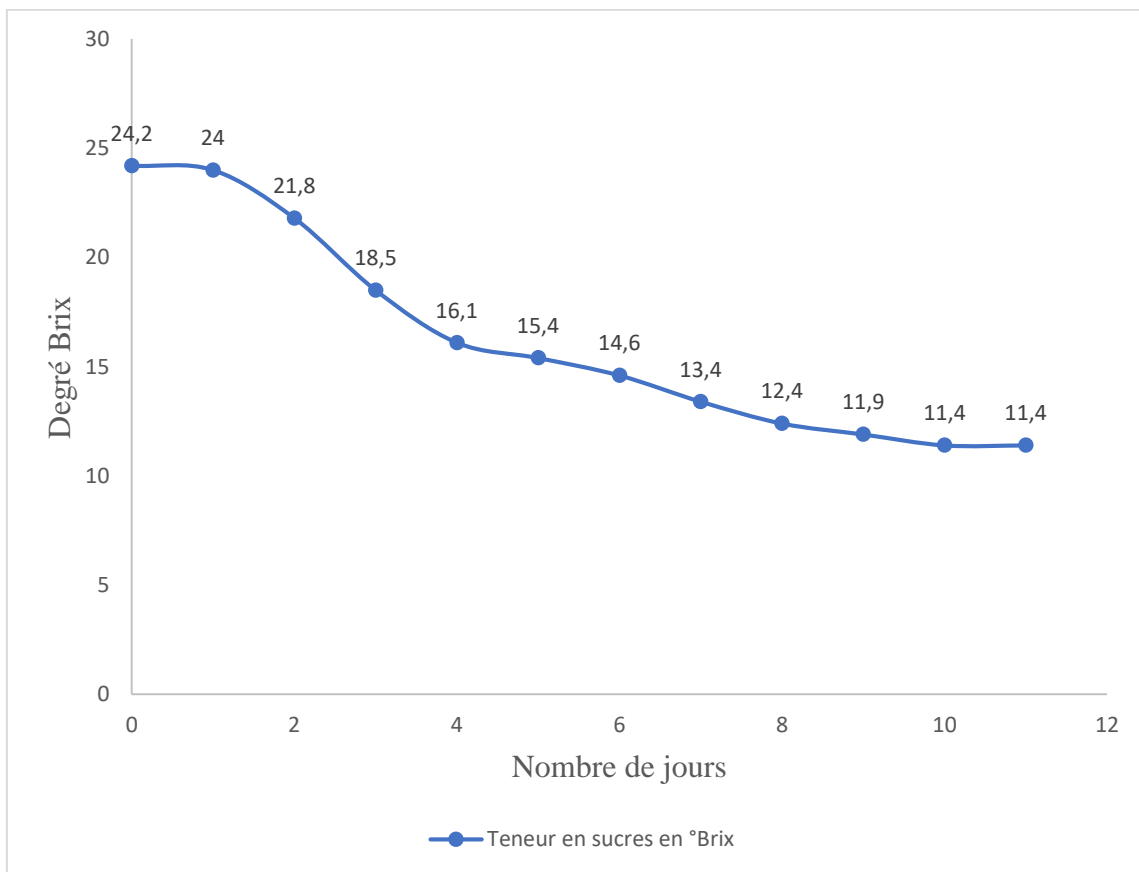


Figure 19 : Evolution de la teneur en sucres pendant la fermentation

III.1.5. Evolution du taux d'alcool pendant de la fermentation

La figure 20 illustre la teneur en alcool maximale pendant la production du vin de banane. Elle a montré une augmentation de la teneur en alcool jusqu'à une valeur maximale moyenne de 14.1% vol.alc. Cette valeur a resté constante, au-delà du 11^{ème} jour de fermentation.

L'allure du graphe a été semblable à celle d'une courbe de synthèse de matière. Elle a été inversement proportionnelle à celle d'une courbe de densité (figure 16) et a évoqué globalement une augmentation rapide du taux d'alcool synthétisé dans les deux premiers jours de fermentation. Ce taux a augmenté jusqu' à atteindre un palier assez proche de son optimum 14.1% vol.alc au 11^{ème} jour de fermentation. Cette teneur en alcool a été presque en accord avec les résultats de nombreux auteurs notamment Asuk et al (2011), Chanprasartsuk et al (2011) ou encore Kocher et Pooja (2011), qui ont obtenu des vins secs de fruits, présentant des teneurs en volume d'alcool comprises entre 12 et 14%.

La moyenne du taux d'alcool enregistré dans ce vin (14,1%vol.alc) a resté assez faible par rapport au taux théorique attendu (15% vol.alc). Cette faible teneur en volume d'alcool n'a pas été due à l'état de la levure utilisée étant donné que cette levure est certifiée et a montré sa forte potentialité au début de la fermentation réalisée. Les longues durées de dégagement du CO₂ aux premiers jours de fermentation l'attestent. Aussi, le milieu de fermentation ne serait pas non plus trop alcoolisé pour inhiber l'activité des levuresensemencées, car cette levure commerciale peut résister à des taux d'alcool allant jusqu'à 15%vol.alc (Elvis, 2011). Le jus utilisé serait alors soit riche en sucres non fermentescibles qui maintiendraient la densité finale relativement élevée ; soit l'activité de levureensemencée aurait été inhibée par la présence et développement de microorganismes autres que les levures au cours de la production du vin de banane.

Les travaux réalisés par l'Institut Coopératif du Vin (ICV) en 2006 sur les bactéries lactiques montrent en fin de fermentation alcoolique la présence de populations élevées de ces bactéries dont les quantités réduites en début de fermentation notamment par les traitements post-fermentaires et la compétition avec les levures, augmentent considérablement en fin de fermentation, entraînant une inhibition de l'activité des levures fermentaires.

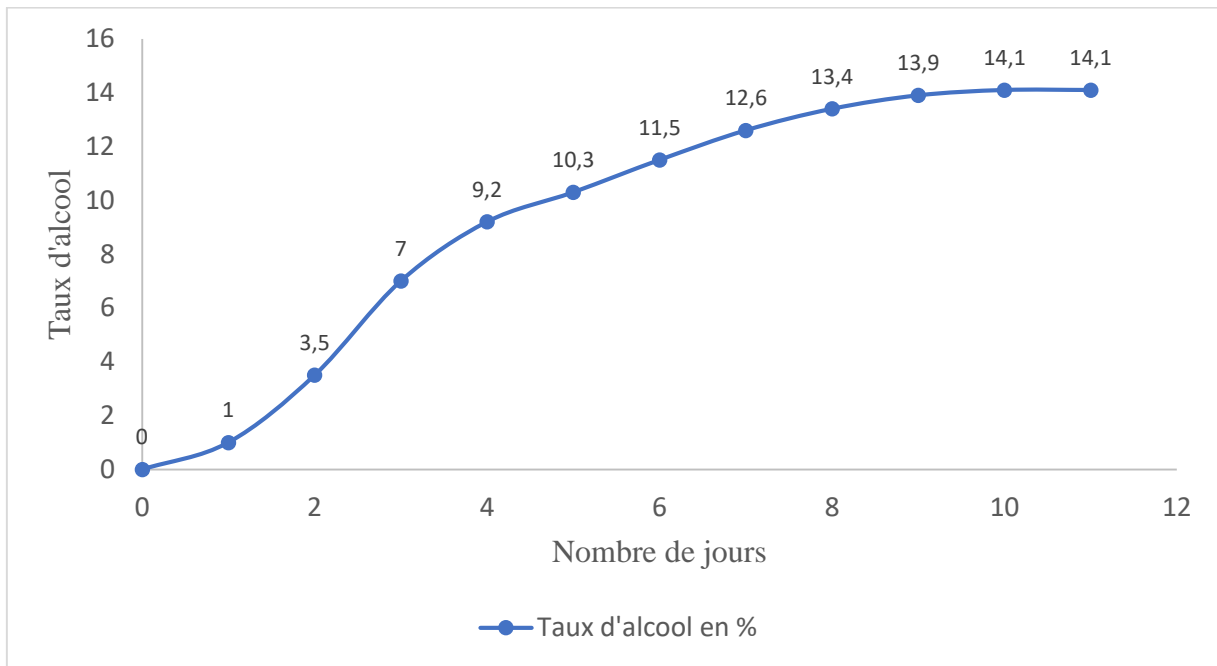


Figure 20 : Evolution de la teneur en alcool pendant la fermentation

III.2. Propriétés physico-chimiques du vin de banane pendant la maturation

Dans le but de comparer les conservateurs chimiques (SO_2) des conservateurs naturels (huile essentielle de citronnelle) dans la stabilisation du vin de banane pendant la maturation, des propriétés physico-chimiques ont été statistiquement analysées.

Les résultats de l'étude de stabilité des vins de banane obtenus par addition de l'huile essentielle et de SO_2 stockés à température ambiante sont présentés dans les tableaux 5 et 6. L'analyse de ces résultats ont montré que la densité, la teneur en sucres et le pH des échantillons témoins (sans addition d'huile essentielle) et des échantillons traités avec 0,5ml d'huile essentielle par litre de vin de banane ont diminués de façon significative tandis que le taux d'alcool a augmenté significativement.

Cependant, toutes les propriétés physico-chimiques des échantillons de vin traité avec 1ml d'huile essentielle par litre de vin de banane et 50mg de SO_2 par litre de vin de banane ont été restées constantes pendant la maturation.

III.2.1. Propriétés physico-chimiques des échantillons témoins et échantillons traités avec 0,5ml d'huiles essentielles pendant la maturation

En comparant les deux échantillons, la densité, la teneur en alcool et le pH des échantillons témoins ont diminué considérablement tandis le taux d'alcool a augmenté par rapport à ceux d'huiles essentielles (tableau 5). Les résultats des propriétés physico-chimiques obtenus pour l'échantillon traité avec 0,5 ml d'huiles essentielles ont montré qu'ils ont été toujours restés supérieurs à l'exception du taux d'alcool qui a été toujours resté inférieur pendant toute la durée de maturation. Cela a montré que par rapport à l'échantillon témoin, 0,5ml d'huile essentielle a un effet sur la stabilisation du vin même si cette quantité n'est pas suffisante et nécessite un autre essai avec une quantité supérieure pour une bonne stabilisation comme l'on montre dans le tableau 6. Cette insuffisance a été similaire à celle trouvée pour les travaux d'Edwige (2012) dont l'utilisation d'une quantité de 0,5ml d'huile essentielle n'a pas abouti à la stabilisation de la bière de sorgho.

Tableau 5 : Propriétés physico-chimiques des échantillons témoins et échantillons traités avec 0,5ml pendant la maturation.

| Durée de stockge | Échantillon témoin | | | | Échantillon avec 0,5ml/l d'huile essentielle | | | |
|------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|--|------------------------|------------------------|-----------------------|
| | Densité | °Brix | T.A | pH | Densité | °Brix | T.A | pH |
| 0 jour | 1.017±0.00 ^a | 11.4±0.00 ^a | 14.1±0.00 ^d | 3.6±0.10 ^a | 1.017±0.00 ^a | 11.4±0.00 ^a | 14.1±0.00 ^c | 3.8±0.06 ^a |
| 7 jours | 1.010±0.01 ^{ab} | 10.7±0.00 ^b | 14.3±0.1 ^c | 3.3±0.1 ^b | 1.014±0.00 ^a | 11.3±0.1 ^a | 14.2±0.1 ^{bc} | 3.5±0.1 ^b |
| 14 jours | 1.005±0.00 ^{bc} | 10.2±0.1 ^c | 14.7±0.1 ^b | 2.9±0.00 ^c | 1.010±0.01 ^a | 11.1±0.1 ^b | 14.3±0.1 ^b | 3.2±0.1 ^c |
| 21jours | 0.997±0.01 ^c | 9.3±0.1 ^d | 15.2±0.1 ^a | 2.4±0.1 ^d | 1.007±0.00 ^a | 10.7±0.1 ^c | 14.5±0.1 ^a | 2.9±0.1 ^d |

Les résultats sont la moyenne de trois répétitions± Ecart Types (ET). Les moyennes avec les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différentes. Les moyennes dans la même colonne avec des lettres différentes en exposant diffèrent significativement (P< 0,05).

III.2.2. Propriétés physico-chimiques des échantillons traités avec 1ml d'huiles essentielles et échantillons traités avec 50mg de SO₂ pendant la maturation

Des analyses statistiques effectuées pour tous les échantillons ont montré qu'il n'y avait pas de différence significative pendant toute la durée de maturation à l'exception des analyses effectuées au début de la première semaine où les propriétés physico-chimiques ont un peu évolué. L'évolution de ces propriétés a été due du fait qu'aux premiers jours de maturation, les conservateurs n'ont pas encore arrêté totalement le fonctionnement microorganismes fermentaires. Les résultats des propriétés physico-chimiques pour tous les échantillons ont été les mêmes à l'exception du pH dont les valeurs trouvées pour les échantillons traités avec l'huile essentielle ont été supérieurs par rapport à ceux traités avec SO₂ et cela est due au pH élevé d'huiles essentielles de la citronnelle qui varient entre 4 et 6 selon le milieu de culture de la citronnelle (DJOUSSE, 2022).

Ces résultats sont similaires à ceux trouvés dans les travaux d'Edwige (2012) dont 1ml d'huile essentielle de la citronnelle a été suffisante pour stabiliser la bière de sorgho pendant 28jours de maturation. Les résultats trouvés pour le tableau 6 confirment que 1ml d'huile essentielle et 50mg de SO₂ par litre de vin de banane sont efficaces pour la stabilisation du vin, ce qui justifie que l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* pourrait être utilisée à la place de SO₂.

Tableau 6 : Propriétés physico-chimiques des échantillons traités avec 1ml d'huiles essentielles et échantillons traités avec 50mg de SO₂ pendant la maturation.

| Durée de stockge | Échantillons avec 1ml/l d'huile essentielle | | | | Échantillon avec 50mg/l d'anhydride sulfureux | | | |
|------------------|---|------------------------|------------------------|-----------------------|---|------------------------|------------------------|-----------------------|
| | Densité | °Brix | T.A | pH | Densité | °Brix | T.A | pH |
| 0 jour | 1.017±0.00 ^a | 11.4±0.00 ^a | 14.1±0.00 ^a | 3.9±0.06 ^a | 1.017±0.00 ^a | 11.4±0.00 ^a | 14.1±0.00 ^a | 3.6±0.01 ^a |
| 7 jours | 1.016±0.00 ^a | 11.3±0.1 ^a | 14.2±0.00 ^a | 3.8±0.1 ^a | 1.016±0.07 ^a | 11.3±0.00 ^a | 14.2±0.1 ^a | 3.5±0.00 ^a |
| 14 jours | 1.016±0.00 ^a | 11.3±0.1 ^a | 14.2±0.1 ^a | 3.7±0.1 ^a | 1.016±0.00 ^a | 11.3±0.1 ^a | 14.2±0.1 ^a | 3.5±0.00 ^a |
| 21jours | 1.016±0.00 ^a | 11.3±0.1 ^a | 14.2±0.1 ^a | 3.7±0.1 ^a | 1.016±0.00 ^a | 11.3±0.1 ^a | 14.2±0.1 ^a | 3.5±0.1 ^a |

Les résultats sont la moyenne de trois répétitions± Ecart Types (ET). Les moyennes avec les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différentes (P < 0,05).

III.3. Propriétés organoleptiques après l'addition des conservateurs

D'une manière générale, les résultats statistiques pour tous les aspects (goût, odeur, couleur et texture) ont montré qu'il n'y avait pas de différences significatives au niveau des différentes appréciations (appréciation par appréciation) à l'exception de l'odeur. Les résultats trouvés pour cet aspect a été similaire à celui trouvé pour les travaux d'Oswald (2012) dont les résultats ont montré que le vin de palme traité à l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* est plus apprécié que le vin de palme traité à l'acide citrique et à l'huile essentielle de *Pimenta racemosa*. Cela a été aussi confirmé par les travaux d'Evelyne (2009) dont les résultats ont montré que, pour l'aspect odeur, 100% de dégustateurs ont apprécié le yaourt entier amélioré traité à l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus*. Au niveau de l'aspect odeur, l'écart de 20% de dégustateurs qui ont très agréablement apprécié le vin traité avec l'huile essentielle pour cette étude a justifié la propriété aromatique de la citronnelle. Tous ces résultats ont confirmé que l'huile essentielle de la citronnelle peut être considérée comme substituant d'anhydride sulfureux dans la stabilisation du vin de banane.

Tableau 7 : Propriétés organoleptiques après l'addition des conservateurs

| Echantillons | Propriétés organoleptiques | | | | |
|--|-------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Appréciation des dégustateurs | Goût | Odeur | Couleur | Texture |
| Vin ayant reçu 1ml d'huile essentielle | Très agréable | 90% ^a | 85% ^a | 95% ^a | 90% ^a |
| | Agréable | 5% ^{bc} | 10% ^c | 5% ^{cd} | 5% ^{bc} |
| | Indifférent | 5% ^{bc} | 5% ^{cd} | 0% ^d | 5% ^{bc} |
| | Désagréable | 0% ^c | 0% ^d | 0% ^d | 5% ^{bc} |
| | Très désagréable | 0% ^c | 0% ^d | 0% ^d | 0% ^c |
| Vin ayant reçu 50mg de SO ₂ | Très agréable | 85% ^a | 75% ^b | 90% ^a | 85% ^a |
| | Agréable | 5% ^{bc} | 10% ^c | 5% ^{cd} | 5% ^{bc} |
| | Indifférent | 10% ^b | 10% ^c | 10% ^b | 10% ^b |
| | Désagréable | 0% ^c | 5% ^{cd} | 0% ^d | 0% ^c |
| | Très désagréable | 0% ^c | 0% ^d | 0% ^d | 0% ^c |

Les résultats avec les mêmes lettres en exposant ne sont pas significativement différentes (P<0,05). Les résultats dans la même colonne avec des lettres différentes en exposant diffèrent significativement (P< 0,05).

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSION

En égard de l'importance, sans cesse croissante, de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus*, il nous a semblé nécessaire de consacrer une étude complète pour asseoir le bienfondé de son utilisation dans la conservation des produits alimentaires.

Au terme de cette étude, les mêmes valeurs obtenues des propriétés physicochimiques entre les vins traités avec 50mg d'anhydride sulfureux et 1ml d'huile essentielle de citronnelle pendant la maturation, ont montré leur effet conservateur plus marqué sur la stabilisation du vin de banane. L'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* et le SO₂ possèdent une action efficace dans la stabilisation de vin contre les effets d'altération dus à la poursuite de la fermentation pendant la maturation. Cela justifie que l'huile essentielle *Cymbopogon citratus* pourrait remplacer l'anhydride sulfureux suite à ses propriétés similaires dans la conservation du vin de banane.

D'après les résultats d'analyses des propriétés organoleptiques effectuées statistiquement pour tous les aspects entre les deux échantillons selon le test hédonique, il n'y avait pas de différences significatives à l'exception de l'odeur qui est plus appréciée pour le vin de banane traité avec l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus*. Ces résultats ont confirmé la propriété aromatique de la citronnelle comme valeur ajoutée.

L'utilisation de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus* pour la conservation des aliments doit être conseillée en vue de limiter les risques d'intoxications dus aux additifs chimiques de synthèse habituellement utilisés aux mêmes fins.

En définitifs, au vu des résultats obtenus, l'huile essentielle de la citronnelle est efficace dans la stabilisation du vin de banane afin d'éviter que la fermentation puisse continuer et porter le vin en dehors des valeurs normatives.

RECOMMANDATIONS

A l'issue de cette étude, nous recommandons que:

- ❖ des études microbiologiques soient menées afin de déterminer la date limite de conservation du vin de banane stabilisé par des huiles essentielles.
- ❖ une utilisation des additifs chimiques de synthèse soit remplacée par les essences naturelles pour la sécurité du consommateur.
- ❖ des techniques de stabilisation du vin de banane par l'addition des essences naturelles dans la conservation soient sensibilisées sur tout le territoire national.
- ❖ des essences naturelles aromatiques et antimicrobiennes soient identifiées en plus de la plante étudiée pour leur exploitation à grande échelle.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Akhila, A., (2010).** Essential oil-bearing grasses: the genus *Cymbopogon*. CRC press, Taylor and Francis, New York, USA.
2. **Arranz, S., Saura-Calixto, F., Shaha, S., Kroon, P.A. (2009).** High contents of nonextractable polyphenols in fruits suggest that polyphenol contents of plant foods have been underestimated. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57: 7298-7303.
3. **Asuk, A. A., Umoh, I. B., Eteng M. U., Jayeola, C. O., Akpanyung, E. O., (2011).** Production, characterization and safety of wine obtained from a blend of tomato, almond, orange, lemon and African star apple extract; *Scholars Research Library-Annals of Biological Research*, 2011, 2 (5) :492-503.
4. **Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008).** Biological effects of essential oils—a review. *Food and chemical toxicology*, 46(2), 446-475.
5. **Bankolé, S.A; (1997).** Effect of essential oil from Nigerian medicinal plants (*Azadirachta indica* and *Morinda lucida*) on growth and aflatoxin B, production in maize grain by toxigenic *Aspergillus flavus*. *Letters in Applied Microbiology* 24, 190-192.
6. **Bardeau, F., (2009).** Les huiles essentielles : Découvrir les bienfaits et les vertus d'une médecine ancestrale. Fernand Lanore, Paris, France.
7. **Bataillon, M., Rico, A., Sablayrolles, J.-M., Salmon, J.-M., Barre, P., (1996).** Early thiamin assimilation by yeasts under enological conditions: Impact on alcoholic fermentation kinetics. *J. Ferment. Bioeng.* 82, 145–150. [https://doi.org/10.1016/0922-338X\(96\)85037-9](https://doi.org/10.1016/0922-338X(96)85037-9).
8. **Bely, M., Sablayrolles, J., Barre, P., (1990).** Description of alcoholic fermentation kinetics : its variability and interest. *Am. J. Enol. Vitic.* 41, 319–324.
9. **Boullard, B., (2001).** *Plantes médicinales du monde. Croyances et réalités.* De Boeck Secundair.
10. **Boris Merlain, K. DJOUSSE, Nasse, F. NGOUNE, Henri, G. DJOUKENG, Leonel, W. Nono, Harry, S. SOGANG, Julius, K. TANGKA (2022) :** Extraction et caractérisation des huiles essentielles de trois plantes aromatiques cultivées à l'Ouest-Cameroun : *Rosmarinus officinalis*, *Savia officinalis* et *Cymbopogon citratus*. *Cameroun journal of Biological and Biochemical Sciences*, Vol 30, Série 2, 1216133.
11. **Bruneton J., (1999).** *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales*, 2^{eme} édition. Ed. tech. & doc. Lavoisier, Paris, pp.469-488.

12. **Chanprasartsuk, O., Kornwika, P., Donlaphorn, T., (2012).** Pineapple wine fermentation with yeasts isolated from fruit as single and mixed starter cultures; *As. J. Food Ag-Ind.* 5(02), 104-111.
13. **Cochet, H., (1996).** Gestion paysanne de la biomasse et développement durable au Burundi, *Cahiers des Sciences Humaines*, vol 32, n° 1, ORSTOM, pp. 133- 151.
14. **Dahouenon-Ahoussi, E., Sessou, P., Wotto, V., Yehouenou, B., Kinsoudé, E., Kpatinvoh, B., Soumanou, M., Sohounhloue, D., (2010).** Mise au point d'une technologie de production d'une boisson 'Africa Drink ' à base de Menthe poivrée et de Menthe verte. *Bulletin de la Société Ouest Africaine de Chimie*, 45 ; 98-103.
15. **De Sousa, D.P., (2012).** *Medicinal Essential Oils: Chemical, Pharmacological and Therapeutic Aspects.* Nova Science Publishers 1ère éd. 236p.
16. **Denis, C., (2010).** Le SO₂, un additif aux multiples propriétés, indispensable en œnologie. *Matinée Technique du BIVB.* 20p.
17. **Divol, B., Miot-Sertier, C., and Lonvaud-Funel, A. (2006).** Genetic characterization of strains of *Saccharomyces cerevisiae* responsible for "refermentation" in Botrytis-affected wines. *J Appl Microbiol* 100: 516-526. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02818.x>.
18. **Doyle, M.P., Diez-Gonzalez, F., and Hill, C., (2020).** *Food microbiology: fundamentals and frontiers.* John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1128/9781555819972>.
19. **Edwige, D.A., René G.D., Euloge, S.A., Dominique, C.K.S., (2012).** Stabilisation de la bière produite à partir de matières amylacées locales (*Sorghum bicolor* et *Musa acuminata*) par adjonction de l'huile essentielle de *Cymbopogon citratus*. *Journal of Applied Biosciences* 51: 3596–3607.
20. **Ekpenyong, C.E., Akpan, E.E., Daniel, N.E., (2014).** Phytochemical constituents, therapeutic applications and toxicological profile of *Cymbopogon citratus* (DC). Leaf extract. *Journal of pharmacognosy and phytochemistry*, 3(1).
21. **Elhocine, M., (2019).** Effet des huiles essentielles d'origan, de menthe poivrée et de citronnelle sur la croissance radiale de *Fusicladium oleagineum* et *Alternaria alternata* pathogènes de l'olivier de la région de Kabylie. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. 42P.
22. **Elvis, S.A., (2011).** Valorisation de l'ananas au Bénin : production de vin et étude des paramètres de qualité. Université d'Abomey-Calavi. 91P.

23. **Evelyne, H.B., (2009).** Evaluation de l'effet conservateur des huiles essentielles extraites des feuilles de *Cymbopogon citratus* et de *Mentha* sur la stabilité du yaourt. 38P. Université d'Abomey-Calavi.
24. **Ezoua, P., (1995).** Jus de fruit de rônier (*borassus aethiopum* Mart). Caractéristiques physico-chimiques et essai de stabilisation pour la conservation. Thèse de doctorat Université de Cocody Abidjan, 105.
25. **Frias, J., Miranda, M.L, Doblado, R. et al, (2005).** Effect of germination and fermentation on the anti-oxidant vitamin content and antioxidant capacity of *Lupinus albus* L.var. *Multolupa*. *Food Chem* ; 92(2) : 211-220.
26. **Hamilton, F., and Miller, J.M.T., (1995).** Antimicrobial properties of tea (*Camellia sinensis*). 39: 2375 – 2377.
27. **Handa, S.S., Khanuja, S.P.S., Longo, G., Rakesh, D.D., (2008).** Extraction technologies for aromatic and medicinal plants. United Nations Industrial Development Organization and the International Centre for Science and High Technology. 260p.
28. **Helal, G.A., Sarhan, M.M., Abu-Shahla, A.N.K., Abou El-Khair, E.K; (2006).** Antimicrobial Activity of Some Essential Oils against Micoorganisms Deteriorating Fruit Juices. *Mycobiology*, 34(4): 219-229.
29. **Jatto, W.O., Adegoke, G.O., (2010).** Storage studies on cashew juice preserved with water extracted *Aframomum danielli*. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 9, 1351-1359p.
30. **Jones, R.P., Greenfield, P.F., (1987).** Ethanol and the fluidity of the yeast plasma membrane. *Yeast Chichester Engl.* 3, 223–232. <https://doi.org/10.1002/yea.320030403>
31. **Justine, T., (2019).** Caractérisation physico-chimique et microbiologique du vin de banane (Mbamvu) produit en laboratoire selon un processus traditionnel. 44p. Mémoire de Master en Biochimie et Microbiologie Appliquée. Université Marien NGOUABI.
32. **Kanana, P. et al., (2018).** Etude de valorisation des chaines de valeur de la filière banane en faveur des coopératives appuyées par la PRODFI.
33. **Kanko, C.; (2010).** Contribution à l'étude phytochimique de plantes médicinales et aromatiques de Côte d'Ivoire. Activité analgésique et anti-inflammatoire de stéroïdes isolés de l'écorce de *Parkia biglobosa*. Thèse de doctorat, Université de Cocody-Abidjan., Abidja, 224P.

34. **Kaushik, K., Dharam, P., Rajorhia, G.S., Khamrui, K., Pal, D; (2000).** Effect of Potassium Metabisulphite and Storage Condition on Sensory Characteristics of Whey-based Kinnow Juice Concentrate. *Indian Journal of Dairy Science* 53, 37-142.
35. **Khadidja, G.K et Fatima, B., (2017).** Essence aromatique de citronnelle (*Cymbopogon citratus*) : Potentielles applications comme conservateur nutraceutiques. Université Saad Dahleb-Blida. 54P.
36. **Kiis, A., Reinik, M., Ilmoja, K., Kaart, K; (2000).** Determination of Sulphur dioxide and Sulphites in Foods. *Agraarteadus* 11 311-317p.
37. **Koba, K., K., S., Raynaud, C., Mandin, D., Millet, J., Chaumont, J.P., (2003).** Activité antimicrobienne des huiles essentielles de *Cymbopogon citratus* L. (DC) Stapf., *C. nardus* L. Rendle et *C. schoenanthus* L. Spreng. *J. Mycol Méd* 13, 231- 238p.
38. **Kocher, G. S., et Pooja, (2011).** Status of wine production from guava (*Psidium guajava* L.): A traditional fruit of India; *Afr. J. Food Sci.* Vol 5 (16), pp. 851-860, 23.
39. **Koffi, E, Sims, C.A., Bates R.P., (1991).** Viscosity reduction and prevention of browning in the preparation of clarified banana juice. *J. Food Quality*, 14: 209-218.
40. **Kouame, N.M., Kamagate, M., Koffi, C., Die-Kakou, H.M., Yao, N.A.R et Kakou, A., (2016).** *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf : ethnopharmacologie, phytochimie, activités pharmacologiques et toxicologie. *Phytothérapie*. 14(6), 384-392.
41. **Ladrey, C., (1871).** L'art de Faire Le Vin.
42. **Lawal, O.A., Ogundajo, A.L., Avoseh, N.O. et Ogunwande, I.A., (2017).** *Cymbopogon citratus*. Medicinal and spices and vegetables from Africa: therapeutic potential against metabolic, inflammatory, infectious and systemic Diseases, Academic Press 397-423.
43. **Lebailly, P., Lare, V., Boureima F., Ndimanya P., 2019.** Analyse de la chaîne de valeur banane au Burundi. *LIEGE Université Gembloux Agro-Bio Tech*. 175p.
44. **Lucchesi, M.E., (2005).** Extraction sans solvant assistée par les micro-ondes. Thèse pour le diplôme de docteur en sciences (chimie). Université de la Réunion.
45. **McVicar, J., (2006).** Le grand livre des herbes : jardin, santé, cuisine, maison. Eddition de Borée.
46. **Moll, M., (1991).** Bières et Coolers. Edition Technique et Documentation Lavoisier.
47. **N'Guessan, K.F., Aka, S., Djéni, T., Djé, K.M., (2008).** Effect of Traditional Starter Inoculation Rate on Sorghum Beer Quality. *Journal of Food Technology* 6: 271-277.

48. **Nadai, C., Treu, L., Campanaro, S., Giacomini, A., Corich, V., (2016).** Different mechanisms of resistance modulate sulfite tolerance in wine yeasts. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 100, 797–813. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-7169-x>.
49. **Ndiyaye, A., (2005).** Revues des études agro-industrielles et les transformations des produits agricoles. 104 P. Programme de développement des marchés agricoles du Sénégal.
50. **Ohno, T.N., Kita, Y., Yamaoka, S., Imamura, T., Yamamoto, S., Mutsufuji, T.K., K., Kashima, J.I; (2003).** *Helicobacter* 8, 207-212p.
51. **Oswald, E.D., (2012).** Stabilisation du vin de palme par pasteurisation-adjonction d'huiles essentielles extraites des feuilles de *cymbopogon citratus* (citronnelle) et de *pimenta racemosa* (laurier). Université d'Abomey–Calavi. 65P.
52. **Papazian, R., (1996).** Sulfites, safe for most, dangerous for some, Department of Health and Human Services, Public Health Service, Food and Drug Administration.
53. **Pasteur, L., (1866)** Études Sur Le Vin, Ses Maladies, Causes Qui Les Provoquent, Procédés Nouveaux Pour Le Conserver et Pour Le Vieillir [Studies on Wine, Its Diseases and Their Causes, and New Processes to Conserve and Age Wine. Imprimerie Impériale, V. L'Imprimerie impériale, Paris, France. 264.
54. **Pauline Seguinot, (2019).** Vers une meilleure exploitation du potentiel enzymatique et métabolique de *Metschnikowia pulcherrima* et *Torulaspora delbrueckii* pour la production d'arômes en fermentation œnologique. *Biotechnologies*. Université de Montpellier. Français. tel-02957583.
55. **Pérez-Torrado, R., Carrasco, P., Aranda, A., Gimeno-Alcañiz, J., Pérez-Ortín, J.E., Matallana, E., del Olmo, M.L., (2002).** Study of the first hours of microvinification by the use of osmotic stress-response genes as probes. *Syst. Appl. Microbiol.* 25, 153–161.
56. **Pons A., (2006).** Caractérisation chimique du vieillissement défectueux des vins blancs secs ; La recherche en œnologie, Faculté d'œnologie de Bordeaux, Laboratoire d'œnologie générale 33405 Talence : p. 17.
57. **Pousset, J.R., (2004).** Plantes médicinales d'Afrique. Comment les reconnaître et les utiliser. *Secum Edisud*.
58. **Renouf, V., (2006).** Description et caractérisation de la diversité microbienne durant l'élaboration du vin : interactions et équilibres. Relation avec la qualité du vin ; Thèse

pour l'obtention du titre de Docteur de L'Institut National Polytechnique de Toulouse :
p. 410.

59. **Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., and Lonvaud, A. (2017a)**. Traité d'oenologie-Tome 1-7e éd.- Microbiologie du vin. Vinifications. Dunod.
60. **Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Doneche, B., et Lonvaud, A., Handbook of Enology, (2006)**. The Microbiology of Wine and Vinifications (Vol. 1), Chichester, Angleterre, John Wiley & Sons Ltd.
61. **Robin Deschepper, (2017)**. Variabilité de la composition des huiles essentielles et intérêt de la notion de chémotype en aromathérapie. Sciences pharmaceutiques. dumas-01515314.
62. **Roca, P., (2020)**. Inventaire des pratiques pour la réduction des doses de so2 en vinification. 12P. Résolution OIV-OENO 631-20/20.
63. **Salle, J.L., (1991)**. Le totum en phytothérapie. Approche de phyto-biothérapie. Eddition Frison-Roche, Paris, pp : 12-35.
64. **Salmon, J.M., (1989)**. Effect of Sugar Transport Inactivation in *Saccharomyces cerevisiae* on Sluggish and Stuck Enological Fermentation. *Appl. Environ. Microbiol.* 55, 953–958.
65. **Sara Windholtz (2020)**. La réduction des sulfites en vinification et l'utilisation de levures à activité bioprotectrice : approche microbiologique, chimique et sensorielle. Biologie végétale. Université de Bordeaux. Français : 2020BORD0289. tel-03506246.
66. **Shinichi Someya, S, Yoshiki Y, Okubo K., (2002)**. Antioxidant compound from bananas (*Musa Cavendish*). *Food Chemistry*, 79(3):351-354.
67. **Singh, B., Singh, J.P., Kaur, A., Singh, and N., (2016)**. Bioactive compound in banana and their associated health benefits - A review. *Food Chem*, 206:1-11.
68. **Sutran, L., Federighi, M., Jouve, J-L., (1998)**. Manuel de Bactériologie Alimentaire. 4th Edition, Polytechnica, Paris, France.
69. **Teniola,O.D., Aroyeun, O.D., Asagbra, A.E., Banjo, O.O., Lasaki, T.O. and Olasupo, N.A., (2012)**. Production of Table Wine from Processed Tea Bags Using Different Strains of *Saccharomyces cerevisiae*. *NIFOJ Vol. 30 No. 2*, pages 44 – 50, 2012.
70. **Teuscher, E., Anton, R., et Lobstein, A., (2005)**. Plantes aromatiques : épices, aromates, condiments et leurs huiles essentielles Tc et Doc.

71. **Tfouni, S.A.V., Toledo, M.C.F; (2002):** Estimates of the Mean per Capital Daily Intake of Benzoic and Sorbic Acids in Brazil: Food Additives and Contaminants 19, 647-654p.
72. **Thomas, O., Jean-Roch, M., Anne H-G., Evelyne, A., Jean-Marie, S., Vincent, F., (2020).** SO₂ : impact sur le métabolisme de la levure et la production d'arômes. 11p. Journées Scientifiques de la Vigne et du Vin, 2019, NA, France. fahal-02121868f.
73. **Timbo, B., Koehler, K.M., Wolyniak, C., and Klontz, K.C. (2004).** Sulfites-a food and drug administration review of recalls and reported adverse events. Journal of food protection 67: 1806-1811. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.8.1806>.
74. **Toriya, M.J, Beltran, M., Novo, M., Poblet, N., Rozès, A.M., and Guillamón, J.M., (2003).** Effect of organic acids and the nitrogen source on alcoholic fermentation: Study of their buffering capacity. Journal of. Agriculture and Food Chemistry, 51: 916-922.
75. **Vally, H., et Thompson, P., (2003).** Allergic and asthmatic reactions to alcoholic drinks , Addiction biology, vol. 8(1), pp. 3-11.
76. **Yèhouéno, B., Noudogbessi, J-P., Sessou, P., Avlessi, F., Sohounhloué, D., (2010).** Etude chimique et activités antimicrobiennes d'extraits volatils des feuilles et fruits de *Xylopia aethiopica* (Dunal) A. Rich. Contre les pathogènes des denrées alimentaires. Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie, 029: 19- 27.
77. **Yeo, M.A, Koffi, E., Chatigre, O.K, Elleingand E.F, (2015).** Prévention du brunissement lors de l'extraction de jus de banane plantain et valorisation des résidus issus de cette extraction. Int. J. Biol. Chem. Sci. 9(4): 1809-1821.

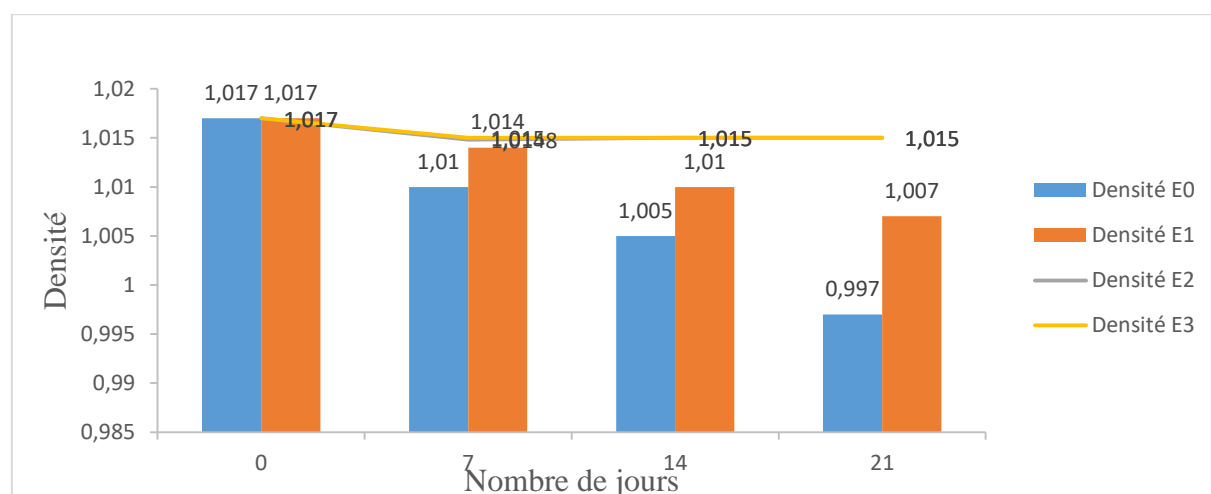
ANNEXES

1. Résultats d'analyses physicochimiques au cours de la fermentation

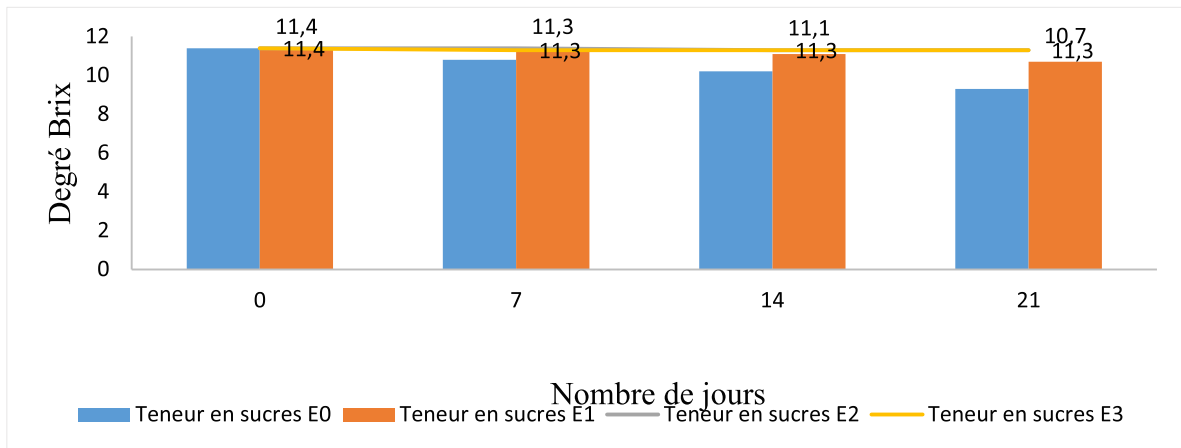
| Durée de fermentation | Paramètres physicochimiques | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------------------------|------|------|---------|-------|-------|--------------------------|------|------|-----|-----|-----|-------------------|------|------|
| | Teneur en sucres en °Brix | | | Densité | | | Teneur en alcool en %v/v | | | pH | | | Température en °C | | |
| 0^{ème} jour | 24.1 | 24.2 | 24.3 | 1.115 | 1.116 | 1.117 | 0 | 0 | 0 | 5.5 | 5.6 | 5.7 | 28.6 | 28.7 | 28.9 |
| 1^{er} jour | 24.0 | 24.0 | 24.0 | 1.095 | 1.095 | 1.095 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 5.3 | 5.4 | 5.2 | 28.2 | 28.2 | 28.2 |
| 2^{ème} jour | 21.7 | 21.8 | 21.9 | 1.074 | 1.072 | 1.070 | 3.6 | 3.5 | 3.4 | 4.9 | 5.1 | 5.0 | 27.0 | 27.1 | 27.2 |
| 3^{ème} jour | 18.4 | 18.5 | 18.6 | 1.056 | 1.056 | 1.056 | 7.1 | 7.0 | 6.9 | 4.7 | 4.7 | 4.7 | 31.4 | 31.5 | 31.6 |
| 4^{ème} jour | 16.1 | 16.1 | 16.1 | 1.047 | 1.048 | 1.046 | 9.2 | 9.2 | 9.2 | 4.4 | 4.5 | 4.6 | 35.7 | 35.8 | 35.9 |
| 5^{ème} jour | 15.4 | 15.3 | 15.5 | 1.040 | 1.040 | 1.040 | 10.4 | 10.3 | 10.2 | 4.2 | 4.2 | 4.2 | 31.0 | 32.0 | 33.0 |
| 6^{ème} jour | 14.5 | 14.6 | 14.7 | 1.033 | 1.034 | 1.035 | 11.6 | 11.5 | 11.4 | 3.9 | 4.0 | 4.1 | 29.3 | 29.3 | 29.3 |
| 7^{ème} jour | 13.1 | 13.2 | 13.3 | 1.028 | 1.029 | 1.030 | 12.6 | 12.6 | 12.6 | 3.9 | 3.8 | 3.7 | 25.2 | 25.2 | 25.2 |
| 8^{ème} jour | 12.4 | 12.4 | 12.4 | 1.023 | 1.025 | 1.027 | 13.3 | 13.4 | 13.5 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 22.6 | 22.5 | 22.4 |
| 9^{ème} jour | 11.9 | 11.8 | 12.0 | 1.018 | 1.019 | 1.020 | 13.9 | 13.8 | 14.0 | 3.5 | 3.6 | 3.7 | 21.2 | 21.2 | 21.2 |
| 10^{ème} jour | 11.3 | 11.4 | 11.5 | 1.016 | 1.017 | 1.018 | 14.1 | 14.1 | 14.1 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 20.5 | 20.5 | 20.5 |
| 11^{ème} jour | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 1.017 | 1.017 | 1.017 | 14.1 | 14.1 | 14.1 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 20.4 | 20.5 | 20.6 |

2. Evolution des paramètres physico-chimiques pendant la maturation du vin de banane

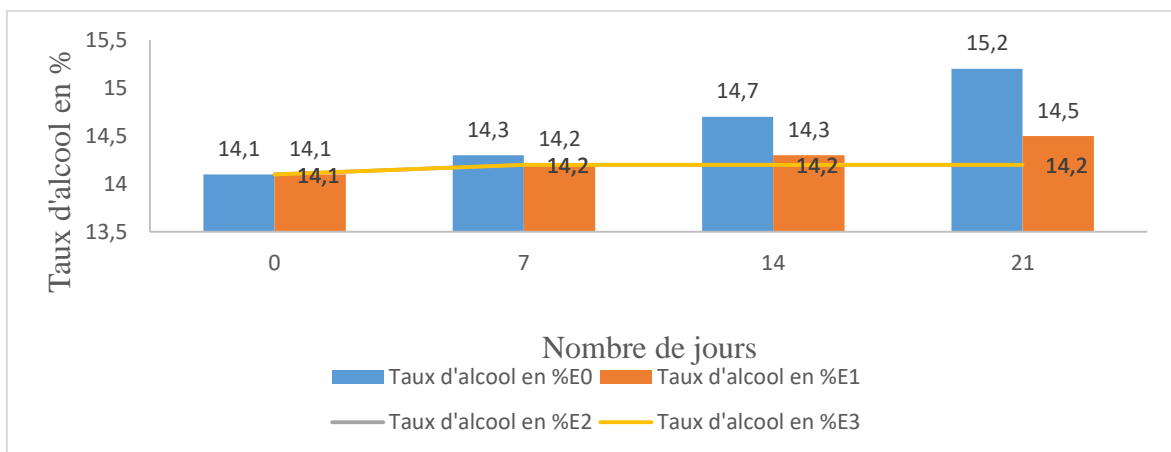
2.1. Evolution de la densité du vin de banane pendant la maturation



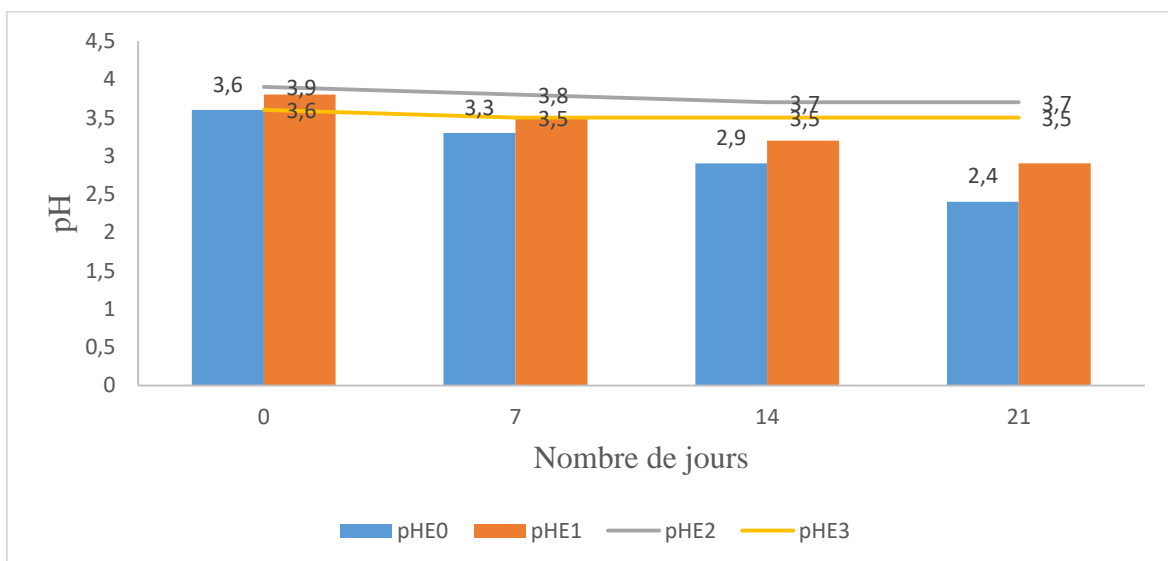
2.2. Evolution de la teneur en sucres du vin de banane pendant la maturation



2.3. Evolution du taux d'alcool de vin de banane pendant la maturation



2.4. Evolution du pH de vin de banane pendant la maturation



3. EVALUATION SENSORIELLE DU VIN DE BANANE EN BOUTEILLES

Grille de cotation

Test hédonique avec un panel de 20 personnes

Les produits, soumis à votre appréciation, sont des boissons produites à partir du vin de banane dans laquelle nous avons ajouté des différentes catégories des conservateurs afin de le stabiliser.

Donnez votre appréciation quant à leur goût, odeur, couleur et texture.

Veillez nous aider à apprécier les caractères organoleptiques des échantillons qui vous sont présentés. La note de cotation varie entre 0 et 5.

| ECHANTILLONS | ASPECTS ORGANOLEPTIQUES | | | |
|--------------|-------------------------|-------|---------|---------|
| | Goût | Odeur | Couleur | Texture |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |