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

Contribution à l'identification des facteurs d' acidification de l'huile de palme

Nsabiyumva, Prudent; Sous la direction de : Dr. Ir. Jonathan Niyukuri

2022-06
UB, FABI
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/473

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

UNIVERSITE DU BURUNDI

FACULTE D'AGRONOMIE ET DE BIO-INGENIERIE

DEPARTEMENT DE SCIENCES ET TECHNOLOGIE DES ALIMENTS

CONTRIBUTION A L'IDENTIFICATION DES FACTEURS D'ACIDIFICATION DE L'HUILE DE PALME

Par :

NSABIYUMVA Prudent

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du

Diplôme de Master

Spécialité : Sciences et Technologie des Aliments

Option : Gestion de la Qualité des Produits Alimentaires

Sous la direction de :

Dr. Ir. Jonathan NIYUKURI

Bujumbura, Juin 2022

IDENTIFICATION DU MEMBRE DU JURY

Président du Jury : Pr. KAKANA Pascal

Secrétaire du Jury : Doctorant Vincent NTEZIRYAYO

Membre du Jury : Dr. Ir. Jonathan NIYUKURI

DEDICACE

A l'Eternel Dieu le tout puissant ;

A mon père ;

A ma regrettée mère ;

A ma femme ;

A mon enfant NSABIYUMVA Ilyan Abriël ;

A mes sœurs ;

A mes oncles et tantes ;

A mes amis et connaissances ;

Je dédie ce mémoire

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu, Dieu tout puissant de nous avoir donné la force le courage et la patience afin de réaliser cette étude.

Nos vifs remerciements vont en particulier à Dr. Ir NIYUKURI J., Directeur de ce mémoire, qui, malgré ses multiples engagements, a fait tout son possible pour guider notre recherche. Son savoir-faire scientifique, ses riches conseils, ses remarques pertinentes et ses suggestions constructives tout au long de ce travail nous ont été d'une importance capitale afin d'arriver aux résultats synthétisés dans cette recherche. Nos sincères remerciements vont aussi à Mr le président et les membres de jury pour l'honneur qu'ils auront fait en acceptant de juger ce travail.

Nous ressentons encore un agréable plaisir de remercier tous nos éducateurs de l'école primaire à l'Université, a tous les enseignants de la FABI dans le département de Sciences et Technologie des Aliments.

C'est avec un réel plaisir que nous adressons nos sincères reconnaissances et notre profonde gratitude à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour réaliser cette étude.

NSABIYUMVA Prudent

RÉSUMÉ

Le mésocarpe du fruit mûr du palmier à huile subit une hydrolyse intensive des triglycérides au cours de la période de stockage des grappes appliquée par les petits exploitants. Cela génère un si haute quantité d'acides gras libres que l'huile pourrait devenir impropre à la consommation humaine sans raffinage approprié. L'objectif de cette étude est d'une part d'évaluer l'acidité de l'huile produite par les petits exploitants dans les communes Rumonge et Mutimbuzi et d'autre part mettre en évidence les facteurs qui influencent l'acidité de l'huile de palme brute(HPB) produite par les petits exploitants. L'indice d'acidité des échantillons de HPB collectés auprès des unités semi-industrielles de RUMONGE et MUTIMBUZI et des échantillons obtenus dans des palmiers stockés dans des conditions connues a été analysé selon la méthode ISO 660-2020. L'huile de la commune Rumonge est plus acide par rapport à celle de la commune Mutimbuza. Les facteurs susceptibles d'influencer l'hydrolyse des triglycérides avant l'extraction de l'huile sont, entre autres le temps de stockage des grappes, l'état des palmiers au moment du stockage, la température régnant dans les fruits pendant le stockage et la variété du fruit. Tous les facteurs considérés à l'exception de la variété du palmier à huile influencent significativement l'acidité de l'huile de palme ($P<0,05$) et sont responsables de la dégradation des triglycérides pendant le stockage post-récolte. Ces facteurs sont favorables à une augmentation de l'activité de la lipase endogène la principale cause de l'hydrolyse des triglycérides et à la prolifération des microorganismes qui contribuent aussi à l'acidification qui est directement liée à l'augmentation des acides gras libres dans l'huile. Le niveau d'acidité se maintient à un niveau relativement bas pour une période de stockage allant de 3 à 4 jours. Cette courte période de stockage des fruits améliore le taux d'extraction en huile sans toutes fois entraver sa qualité.

ABSTRACT

The mesocarp of mature oil palm fruit undergoes intensive triglyceride hydrolysis during the cluster storage period applied by smallholders. This generates such a high amount of free fatty acids that the oil could become unfit for human consumption without proper refining. The objective of this study is on the one hand to evaluate the acidity of the oil produced by the small farmers in the communes Rumonge and Mutimbuzi and on the other hand to highlight the factors which influence the acidity of crude palm oil (CPO) produced by smallholders. The acidity index of HPB samples collected from the semi-industrial units of RUMONGE and MUTIMBUZI and samples obtained from palm trees stored under known conditions was analyzed according to the ISO 660-2020 method. Oil from Rumonge commune is more acidic than that from Mutimbuza commune. The factors likely to influence the hydrolysis of triglycerides before oil extraction are, among others, the storage time of the bunches, the state of the palm trees at the time of storage, the temperature prevailing in the fruits during storage and the variety of the fruit. All the factors considered except the variety of oil palm significantly influence the acidity of palm oil ($P<0.05$) and are responsible for the degradation of triglycerides during post-harvest storage. These factors favor an increase in the activity of endogenous lipase, the main cause of the hydrolysis of triglycerides, and the proliferation of microorganisms, which also contribute to acidification. The acidity level remains at a relatively low level for a storage period of 3 to 4 days. This short fruit storage period improves the oil extraction rate without compromising its quality.

TABLE DES MATIERES

IDENTIFICATION DU MEMBRE DU JURY ..... **i**
DEDICACE ..... **ii**
REMERCIEMENTS ..... **iii**
RÉSUMÉ ..... **iv**
ABSTRACT ..... **v**
TABLE DES MATIERES ..... **vi**
LISTE DES TABLEAUX ..... **viii**
LISTE DES FIGURES ..... **ix**
SIGLES ET ABREVIATIONS ..... **x**
AVANT-PROPOS ..... **xi**
INTRODUCTION **1**
CHAPI: GENERALITES SUR LE PALMIER A HUILE **3**
I.1. ORIGINE ET TAXONOMIE 3
I.1.1. ORIGINE 3
I.1.2. La culture du palmier à huile au Burundi : une origine incertaine 3
I.1.3. Taxonomie 3
I.2 La transformation de l'huile de palme 5
I.2.1. La transformation artisanale de l'huile de palme 5
I.2.1.1. L'extraction de l'huile dans un mortier « ISEKURO » 5
I.2.1.2. L'extraction de l'huile avec la méthode rénovée « *procédé Velghel*» « MAHWENIYA » en Kirundi 6
I.2.2. La transformation semi-industrielle de l'huile de palme 7
I.2.2.1. Les opérations préliminaires 7
I.2.2.2. La préparation proprement dite de l'huile de palme 9
I.3. Les facteurs influençant l'acidification de l'huile de palme 10
I.3.1. Rôle de la lipase endogène dans l'acidification de l'huile de palme 11
I.3.2. Rôle des lipases microbiennes dans l'acidification de l'huile de palme 12
I.3. 3.Hydrolyse catalytique et acidification de l'huile de palme 13
CHAPII: MATERIELS ET METHODES **14**
II.1. Matériels 14
II.2 Méthodologie dans l'étude de la qualité de l'huile de palme (Indice d'acide) 15
II.2.1 Échantillons de l'étude 15
II.2.1.1 Échantillons des communes Rumonge et Mutimbuzi 15
II.2.1.2. Échantillons sur des fruits de palmiers stockés dans des conditions connues 16

II.2.2. Collecte et transport des échantillons d'huile de palme rouge 17
II.2.2.1. Collecte et transport des échantillons des communes Rumonge et Mutimbuzi 17
II.2.2.2. Collecte et transport des échantillons des palmiers stockés dans des conditions connues ... 18
II.2.3. Analyse de l'indice d'acidité 18
II.2.4. Analyses statistiques (traitement et analyse des données) 19
CHAP. III: PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS 20
III.1. Acidité de l'huile de palme des communes Rumonge et Mutimhuzi. 20
III.1.1. Acidité de l'huile de palme de la commune Rumonge (les unités semi-industrielles) 20
III.1.2. Acidité de l'huile de palme dans la commune Mutimbuzi (unités semi-industrielle) 21
III.1.3. Indice d'acidité des huiles provenant des zones 22
III.2. Étude de l'influence de différents facteurs sur l'évolution de l'indice d'acidité 23
III.2.1 Étude de l'influence de plusieurs facteurs sur l'acidité 23
III.2.2. Évolution de l'acidité selon les états des palmiers au moment du stockage 25
III.2.3. Évolution de l'acidité selon le milieu de stockage (variété dura) 27
III.2.4. Évolution de l'acidité selon le milieu de stockage (variété tenera) 29
III.3. Les facteurs responsable d'une hydrolyse élevée pour les fruits stockés pendant 4 jours 31
III.4.Évolution de l'acidité et du rendement (taux d'extraction) au cours du temps de stockage 32
CONCLUSION ET PERSPECTIVES D'AVENIR 34
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 35
ANNEXES 41

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Comparaison des moyennes entre zones 22

Tableau2 : Influence de plusieurs facteurs pris conjointement sur l'évolution de l'acidité 23

Tableau 3 : comparaison des acidités selon l'état des palmiers au moment du stockage 25

Tableau 4 : comparaison des acidités selon le milieu de stockage pour les palmiers de la variété dura 27

Tableau 5 : comparaison des acidités selon le milieu de stockage pour les palmiers de la variété *tenera* 29

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Palmier à l'huile. A : *Elaeis oleifera* ; B : *Elaeis guineensis* var *dura* ; C : *Elaeis guineensis* var *tenera* 4

Figure 2 : A : Fruit de la variété *dura* ; B : Fruit de la variété *tenera* 5

Figure 3 : Photo montrant des femmes en cours d'extraction de l'huile de palme avec un mortier 6

Figure 4 : Photo montrant le malaxeur artisanal 7

Figure 5. Photo d'un dispositif jouant le rôle de pressage et de malaxage relié à un moteur 8

Figure 6. Photo des tas de fruits de palmiers en cours de stockage 8

Figure 7. Extraction semi-industrielle d'huile de palme 10

Figure 8. Formule de calcul de taille de l'échantillon 16

Figure 9. Répartition des échantillons dans les groupes 16

Figure 10. Histogramme de distribution de l'indice d'acidité des échantillons de la commune Rumonge 20

Figure 11. Histogramme de distribution de l'indice d'acidité des échantillons de la commune Mutimbuzi 21

Figure 12. Graphique d'évolution de l'acidité selon les milieux de stockage pour les fruits stockes pendant 4 jours ; 31

Figure 13. Évolution du rendement et de l'acidité au cours du temps de stockage 32

SIGLES ET ABREVIATIONS

% : pourcentage

> : supérieur

± : plus ou moins

AGL : acides gras libres

°C : degré Celsius

g : gramme

HPB : huile de palme brute

KOH : hydroxyde de potassium

l : litre

m : masse

mg : milligramme

ml : millilitre

AVANT-PROPOS

Ce mémoire rentre dans le cadre de l'obtention du diplôme de master de Sciences, en Gestion de la Qualité des Produits Agro-Alimentaires. Il contribuera à l'identification **des facteurs d'acidification de l'huile de palme**. L'idée de ce mémoire de recherche est venue du constat que de grandes quantités d'huile de palme au Burundi se détériorent très rapidement pendant la conservation et la cause majeure est l'acidité élevée qui provoque le rancissement de cette huile.

En effet, la majorité des exploitants font recours aux procèdes artisanaux pour extraire l'huile de palme et L'huile de palme obtenu par ces méthodes contient souvent des niveaux d'acides gras libres (AGL) supérieurs à 10% en poids des lipides totaux, acide palmitique équivalent ce qui est à l'origine du rancissement de l'huile pendant la conservation.

Cette étude se veut être une contribution devant permettre de mettre en relief les différents facteurs responsables de l'acidification de l'huile de palme et identifier les étapes de transformation qui sont concernées par ces facteurs. Ainsi, des solutions sont proposées pour lever ces obstacles, en particulier proposer un temps optimum de stockage des fruits de palme qui permettra de limiter l'acidification de l'huile de palme. Des difficultés n'ont pas manqué. Elles concernent particulièrement l'obtention des informations fiables au près des petits transformateurs de l'huile de palme qui refusaient parfois de nous donner les détails des pratiques mis en œuvre avant l'extraction de l'huile de palme. D'autres difficultés concernent les coupures d'électricité répétitive et le manque de certains produits chimiques au niveau du laboratoire qui nous a posé beaucoup d'ennuis.

INTRODUCTION

Le palmier à huile (*Elaeis guineensis Jacq.*) est une plante pérenne de la famille des *Arecaceae* (Adam et al. 2005). Cette plante est depuis 2006, la plus importante culture oléagineuse au monde (Anonyme, 2007). L'huile de palme extraite du palmier à huile représente plus du tiers de la production totale de corps gras végétaux (Domonhédo et al., 2017). Au Burundi, le palmier à huile constitue un élément moteur de développement non seulement pour les ménages, mais aussi pour le pays. En effet, l'huile de palme génère des revenus pour les ménages lors de sa commercialisation et des taxes pour le pays. La transformation artisanale produit entre 80 % et 90 % de l'huile de palme du pays. En 2009, les unités d'extraction artisanale étaient estimées à 785 et leur nombre s'accroît » (Maniragaba, 2018). Ces dernières années, on assiste à l'abandon de la méthode artisanale au profit de la méthode semi-industrielle. Les raisons de cet abandon sont, entre autres une méthode d'extraction qui exige de fournir beaucoup d'efforts et le faible taux d'extraction. L'huile de palme produite par les unités artisanales et semi-industrielles est de mauvaise qualité. L'huile de palme obtenu par des procédés d'extraction artisanale contient souvent des niveaux d'acides gras libres (AGL) (> 10% en poids des lipides totaux, acide palmitique équivalent) (Kansci et al., 2003 ; Ngando et al.,2011 ; Nanda et al., 2020) tandis que l'huile de palme brute (HPB) industrielle qui est produite par les usines industrielles contiennent en moyenne 3 à 4 % d'AGL et répondent donc aux normes d'exportation (Gibon et al., 2007 ; Nanda et al., 2020). La majorité des paysans ne disposant pas d'installations industrielles récoltent les régimes de palme dans des mauvaises conditions ce qui occasionne les blessures et les meurtrissures des fruits et stockent les régimes de palme pendant au moins trois jours avant l'extraction proprement dite de l'huile. Une lipase localisée au niveau du mésocarpe entre en contact avec les matières grasses lorsque les membranes vacuolaires séparant l'endroit se trouvant la lipase endogène et l'endroit se trouvant les matières grasses sont rompues lors de l'abscission ou de la blessure du fruit mûr (Sambanthamurthi et al., 1991). Cette lipase endogène provoque une dégradation rapide des triglycérides en libérant des acides gras, ce qui occasionne l'acidification de l'huile de palme (Desassis, 1957 ; Abigor et al., 1985 ; Henderson et al., 1991). De plus, il faut aussi signaler que la dégradation des matières grasses contenues dans les fruits de palme n'est pas seulement causée par les lipases endogènes. Les champignons s'attaquent aux régimes de palme conservés pendant une longue période ce qui occasionne la production des lipases microbiennes. Ces lipases exogènes sécrétées par les champignons sont aussi responsables de l'acidification de l'huile de palme (Hiol et al., 2000). Toms et Stubbs (1982) ont aussi présenté des travaux prouvant qu'une part de l'activité lipolytique était attribué à une infestation fongique (Sambanthamurthi et al., 1991). Toutefois, l'acidification de l'huile au moment du stockage des fruits est principalement due à la lipase endogène.

Morcillo et al (2013) ont comparé un lot de régimes traités au fongicide après récolte à des témoins non traités et cette étude a prouvé que la part de l'acidification due à la lipase endogène était prépondérante sur l'acidification microbienne. C'est dans ce cadre que nous tenterons au cours de notre étude de déterminer l'acidité moyenne de l'huile produite dans les zones d'étude par les méthodes artisanale et semi-industrielle. Cette étude évaluera aussi l'évolution de l'acidité dans les fruits de palme stockés dans des conditions différentes ce qui permettra de déceler les facteurs mis en œuvre au moment de la transformation artisanale et semi-industrielle favorisant une amplification de l'acidification de l'huile de palme.

CHAPI: GENERALITES SUR LE PALMIER A HUILE

I.1. ORIGINE ET TAXONOMIE

I.1.1. ORIGINE

Le palmier à huile est un élégant palmier originaire du golfe de Guinée. Il doit son nom d'espèce, *Elæis guineensis*, au grec ancien *élia* qui signifie olive, en raison de ses fruits riches en huile. De tout temps, il a été exploité en économie de cueillette, pour l'alimentation en Afrique tropicale. Il est arrivé en Amérique du Sud au XVIe siècle et seulement au début du XXe siècle en Asie, à Sumatra d'abord puis en Malaisie, où il a pris son essor à partir des années 1960(Agriconseils, 2018).

I.1.2. La culture du palmier à huile au Burundi : une origine incertaine

Le palmier à huile est connu au Burundi depuis très longtemps. Ngiye (2015) rapporte qu'au 19ème siècle, les palmeraies de l'Imbo ont frappé les explorateurs et missionnaires européens. Burton (1862) décrivit le paysage agricole de l'Imbo en ces termes : « Je découvrais à peine quelques misérables cases, entourées de sorgho et de canne à sucre protégées contre le soleil par d'épais massifs de bananiers nains et de sombres *élaeis* à tige élancée ». Lorsque l'auteur évoque l'image de « tige élancée », nous comprenons que ces palmiers n'avaient pas moins de 20 ans (Ngiye, 2015). Même si l'ancienneté de la culture des palmiers à huile est prouvée, son origine n'est pas encore élucidée. Meyer (1984) pense que le palmier à huile réservé à la région du Tanganyika n'est pas une culture propre des barundi mais un arbre arrivé d'Afrique de l'ouest qui pousse à l'état sauvage dont les barundi utilisent les fruits. Cependant, la population des régions traditionnellement palméïcole pensent que la culture des palmiers à huile serait endémique ce qui crée des confusions concernant l'origine de cette denrée alimentaire.

I.1.3. Taxonomie

Elaeis guineensis appartient à l'embranchement des Spermaphytes, classe des Monocotylédones, tribu des *Cocoseae*, ordre des Arecales, famille des *Arecaceae* (Adam *et al.*,2005). Cette famille comprend 183 genres et plus de 2500 espèces (Dransfield *et al*, 2008b). Le genre *Elaeis* comporte actuellement trois espèces : *Elaeis guineensis* d'origine africaine, *Elaeis oleifera* d'origine américaine et *Elaeis odora* anciennement connue sous le nom de *Barcella odora*. Cette dernière espèce n'est pas cultivée et il existe très peu de connaissances sur elle (Corley et Tinker, 2003). *E. oleifera* (Fig. 1.A.) se distingue d'*E. Guineensis* (Fig. 1.B., Fig. 1.C) par son tronc plus court et souvent rampant. Mais, son faible taux d'extraction d'huile représente un handicap pour sa culture (Jacquemard et al. 2011).

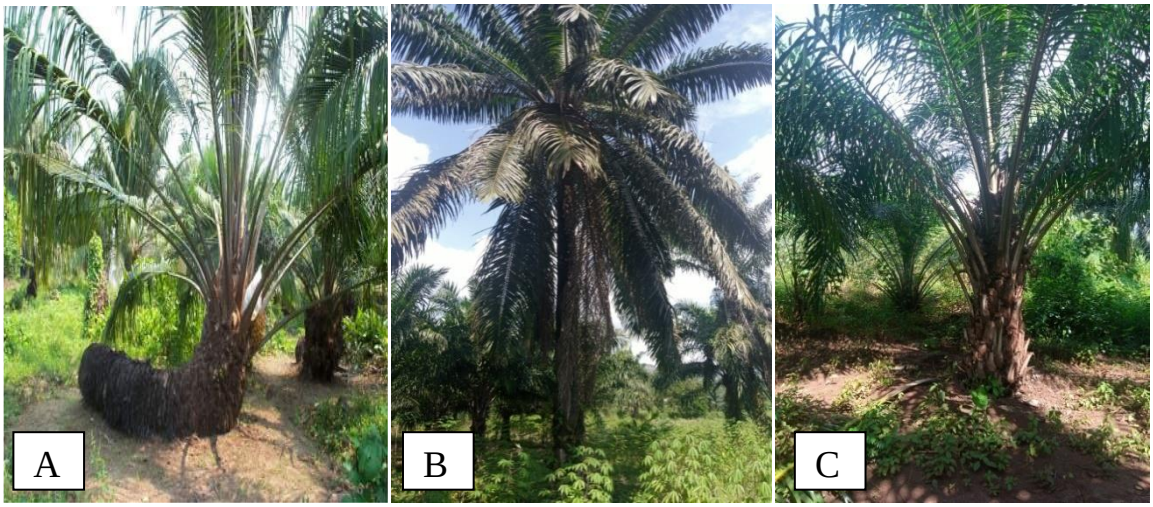


Figure 1. Palmier à l'huile. A : *Elaeis oleifera* ; B : *Elaeis guineensis* var *dura* ; C : *Elaeis guineensis* var *tenera*

L'espèce généralement cultivée en Afrique et dans le monde est *E. guineensis* Jacq. (Jacquemard, 2011). *E. guineensis* comprend plusieurs variétés ou types qui diffèrent en fonction de la présence ou de l'absence de carpelles supplémentaires (*poissoni*), de l'épaisseur de l'endocarpe, de la pigmentation du fruit avant maturité (*nigrescens*, *virescens*, *albescens*) et de la disposition des folioles sur le rachis (*idolatrica*) (Demol et al., 2002).

L'épaisseur de l'endocarpe à travers les proportions de la pulpe et de la coque, est au double point de vue économique et taxonomique un caractère déterminant et qui permet de distinguer trois types

Le type *dura* (Fig.2.A), qui est le mieux représenté et de loin dans les peuplements naturels et sub-spontanés. Chez ce dernier, l'épaisseur de la coque varie, pour les fruits extérieurs de 2,5 à 6 ou 7 mm. La pulpe est assez peu abondante (35 à 70 %). Chez les Dura, même pour les fruits intérieurs à coque plus mince (1 à 2 mm), la limite pulpe-coque est toujours très nette, la zone intermédiaire à fibres lignifiées n'existant pas.

Le type *pisifera*, dont le fruit est complètement dépourvu d'endocarpe, se compose uniquement d'un mésocarpe relativement épais et d'une amande de dimension assez réduite. De plus, en coupe transversale, la pulpe à maturité est parsemée de points noirs dont la densité augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'amande. Ce sont des fibres lignifiées qu'une coupe longitudinale fait apparaitre clairement. Ces fibres contribuent à la protection de la graine, rôle qui est assuré par la coque dans les autres types de fruits. Le type *Pisifera* se reconnait aussi par l'avortement quasi systématique des inflorescences femelles qui se dessèchent et meurent avant maturité (Jacquemard, 1995) ;

Le type *tenera* (Fig.2:B), est un hybride mendélien des deux types précédents et se caractérise par une coque mince d'épaisseur inférieure à 2 mm et une pulpe très abondante (jusqu'à 90 % et plus). A maturité, la zone de la pulpe qui entoure immédiatement la noix du *Tenera* est, comme chez les *Pisifera*, parsemée, d'un réseau de fibres lignifiées bien visibles à maturité.

Ces fibres se réunissent au niveau de la partie inférieure de la noix et forment la « queue » caractéristique des fruits *Tenera* (particulièrement visible chez les fruits extérieurs). Dans toutes les plantations de palmier, c'est le type *Tenera*, obtenu par le croisement *Dura* x *Pisifera*, qui est couramment utilisé (Jacquemard, 1995 ; Siadjeu, 2012).

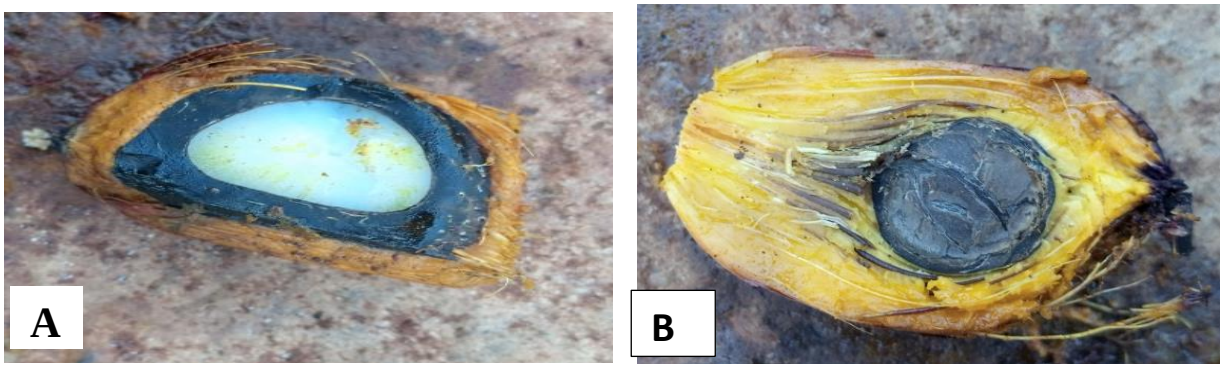


Figure 2 : A : Fruit de la variété *dura* ; B : Fruit de la variété *tenera*

I.2 La transformation de l'huile de palme

I.2.1. La transformation artisanale de l'huile de palme

Suite aux évolutions qu'a connu cette méthode de transformation de l'huile au cours du temps, on répertorie deux techniques d'extraction utilisée dans la transformation artisanale entre autres l'extraction de l'huile dans un mortier « ISEKURO » et l'extraction de l'huile avec la méthode rénovée « procédé Velghel» ou « MAHWENIYA » en Kirundi

I.2.1.1. L'extraction de l'huile dans un mortier « ISEKURO »

L'organisation matérielle de cette technique exige certains matériels entre autre le matériel de cuisson (pot en terre cuite ou casserole), le matériel de concassage des fruits (Isekuro, umuhini), le matériel de broyage et pressage des fruits, le matériel de décantation et de conservation de l'huile, les combustibles. La première phase d'extraction de l'huile de palme est la cuisson des fruits dans une casserole ou dans un fût pour ceux qui en ont. Elle se fait jusqu'à ce que l'on commence à sentir une odeur caractéristique de l'huile, signe d'une bonne cuisson (Ngiye, 2015). Les fruits sont transférés ensuite dans un mortier à piler en bois dans lequel ils sont écrasés au moyen d'un pilon (Fig.3.).

Le pilage permet de détacher les fibres des noix centrales des fruits (Fournier et al., 2001). On pile jusqu'à ce que toutes les graines soient bien débarrassées de la pulpe. La pâte jaunâtre obtenue est versée dans une auge contenant de l'eau pour y subir le brassage et le pressage. A ce moment, les noix précipitent et on continue à malaxer la pulpe avec les mains jusqu' à ce que l'huile en soit extraite aussi complètement que possible. L'huile qui surnage sur l'eau est récupérée grâce à un récipient. Cette huile brute est chauffée une seconde fois jusqu'à l'évaporation totale de l'eau. L'huile enfin obtenue ayant une couleur généralement rouge-orangée est appelée « AMAMESA ».



Figure 3 : Photo montrant des femmes en cours d'extraction de l'huile de palme avec un mortier

I.2.1.2. L'extraction de l'huile avec la méthode rénovée « *procédé Velghel*» « MAHWENIYA » en Kirundi

Comparativement à la méthode précédente, la méthode Velghel est moins exigeante et demande moins d'efforts rapporte Ir Kabaragasa de l'OHP (Maniragaba, 2018). A la place du mortier et de l'auge, on a créé un malaxeur artisanal composé d'un demi-fût métallique de 200 l coupé à mi-hauteur, perforé au fond et garni de pointes sur ses flancs. Un axe en bois mobile est fixé verticalement dans le conteneur. Ce pivot est aussi garni de pointes en fer à béton qui jouent le rôle de déchiqueteur et d'entraineur de la masse de fruits déposée dans le demi-fût. (Fig. 4.). Cette tige de bois, à hauteur d'homme, est traversée horizontalement par des croisillons permettant aux manœuvres de la tourner lors de l'extraction de l'huile.



Figure 4 : Photo montrant le malaxeur artisanal

Les étapes de cette méthode sont jusqu'à la cuisson, identiques à celles précédemment citées. Les fruits ramollis par le chauffage sont versés dans le tonneau et deux hommes tenant les manches font tourner la tige verticale et c'est le processus de malaxage-pressage qui est mis en marche. Au cours de cette opération, de l'eau bouillante est versée dans le tonneau, c'est cette dernière qui va entrainer l'huile dans un collecteur constitué de tuyau placé dans le sol. L'eau est versée dans le fût autant de fois que de besoin, jusqu'à ce que la pulpe et les noix soient bien lavées. Le mélange eau-huile est acheminé dans un bassin de réception grâce au collecteur généralement enterré dans la terre. Comme pour la méthode utilisant un mortier l'huile brute obtenue est chauffée une seconde fois jusqu'à l'évaporation totale de l'eau. Cette seconde cuisson, si elle est faite durant plusieurs heures, confère à l'huile une odeur caractéristique que les consommateurs recherchent (Fournier et al., 2001).

Il est aussi important de signaler que les deux techniques d'extraction artisanale exigent une main d'œuvre importante étant donné que la totalité des taches soient effectuées avec les mains et Carrere (2010) rapporte que la majorité de cette main d'œuvre est constituée par des femmes.

I.2.2. La transformation semi-industrielle de l'huile de palme

I.2.2.1. Les opérations préliminaires

Dans les unités de transformation semi industrielles, certaines opérations du procédé d'extraction de l'huile de palme sont mécanisées tandis que d'autres restent toujours manuelles. Ainsi par exemple, les étapes de stérilisation et d'égrappage se font de la même manière que dans les techniques artisanales. L'égrappage est manuel et la cuisson des fruits se fait à l'eau et dans les fûts de 200 litres. Cependant, les opérations de malaxage et de pressage se font mécaniquement grâce à un dispositif entraîné par un petit moteur électrique (Fig.5.).



Figure 5. Photo d'un dispositif jouant le rôle de pressage et de malaxage relié à un moteur

C'est une méthode qui est ni artisanale ni industrielle, elle est entre les deux. Cette méthode réduit quand même la pénibilité du travail, car le malaxage et le pressage sont les étapes les plus pénibles dans la transformation de l'huile de palme.

Pour procéder à l'extraction de l'huile de palme, on commence d'abord à rassembler les régimes, on les conserve dans un endroit bien couvert de pailles pendant au moins trois jours (Fig.6.), cela dans le but de faciliter un mûrissement rapide et complet des régimes.



Figure 6. Photo des tas de fruits de palmiers en cours de stockage

Après cette période, on les ressort et on les égrappe (on les sépare de la rafle) en fruits à l'aide d'une hache d'abord puis à la machette. On rassemble ensuite les fruits en les dissociant des divers débris avec les mains ou, actuellement, à l'aide d'un tamis. Il y en a qui préfèrent laver les fruits quand ils jugent que ces derniers sont sales (existence de sable, terre, fragments de tiges etc. sur les fruits). Après toutes ces opérations, on passe à l'étape de préparation proprement dite de l'huile de palme.

I.2.2.2. La préparation proprement dite de l'huile de palme

La première phase d'extraction de l'huile de palme est la cuisson des fruits dans un fût pour ceux qui en ont. Elle se fait jusqu'à ce que l'on commence à sentir une odeur caractéristique de l'huile, signe d'une bonne cuisson.

Les fruits ramollis par le chauffage sont versés dans un fût reliée à une machine et c'est le processus de malaxage-pressage qui est mis en marche. L'eau bouillante est régulièrement ajoutée aux fruits au cours des opérations de malaxage et de pressage et c'est cette dernière qui va entrainer l'huile dans un collecteur constitué de tuyau placé dans le sol. L'eau est versée dans le fût autant de fois que de besoin, jusqu'à ce que la pulpe et les noix soient bien lavées. Le mélange eau-huile est acheminé dans plusieurs bassins de décantation grâce au collecteur généralement enterré dans la terre. L'huile de palme qui surnage au niveau du premier bassin est considérée comme étant l'huile de première qualité et est récupérée à l'aide des sceaux pour être stockée dans des fûts.

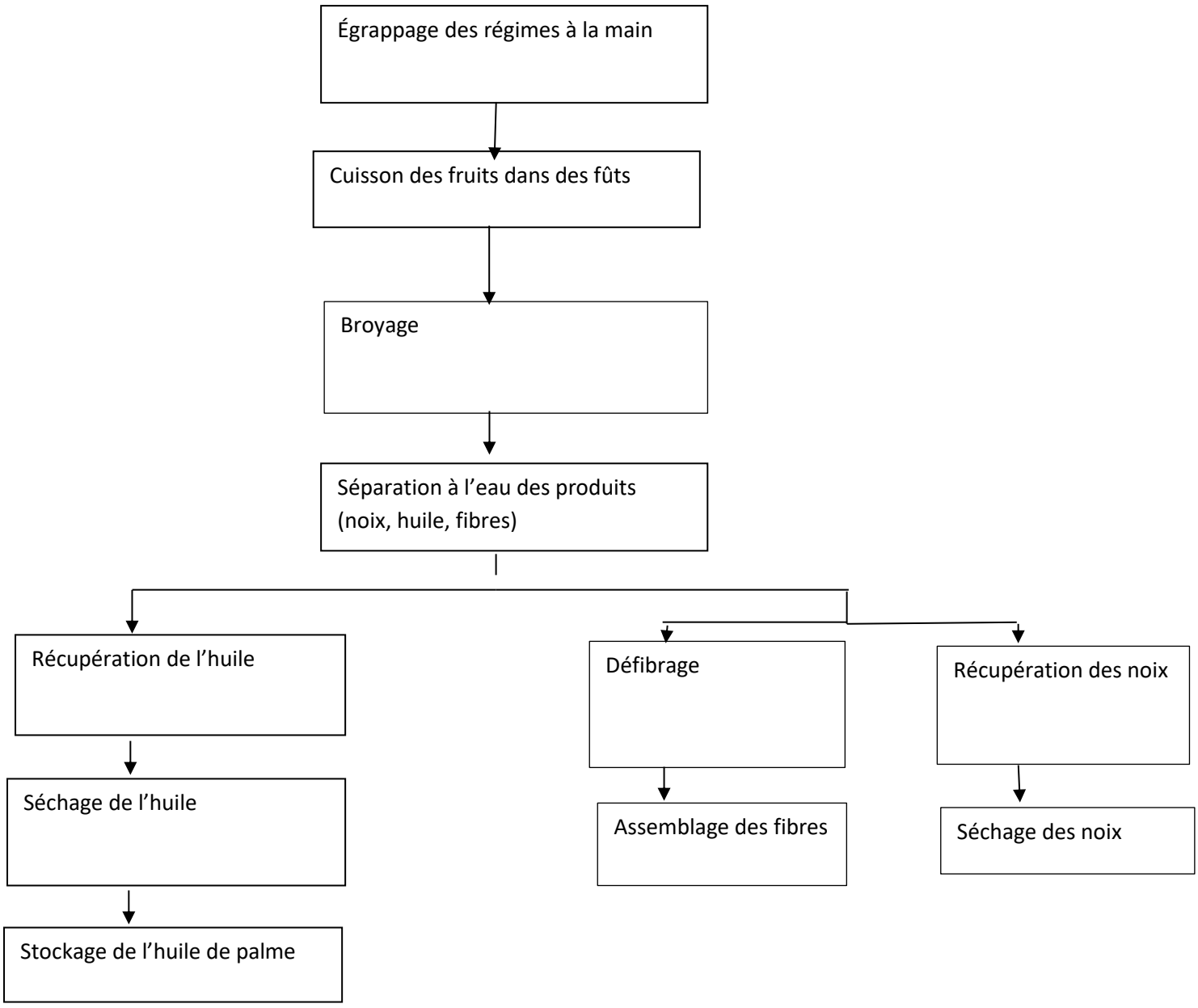


Figure 7. Extraction semi-industrielle d'huile de palme

Source : Auteur

I.3. Les facteurs influençant l'acidification de l'huile de palme

L'acidification de l'huile de palme est principalement due à l'action de la lipase endogène du mésocarpe, mais peut aussi être causée par des lipases microbiennes ou une hydrolyse auto catalytique. Plusieurs facteurs, notamment le matériel végétal, les conditions de récolte et de traitement post-récolte des régimes, d'extraction et de conservation de l'huile impactent de manière significative l'acidification de l'huile (Domonhédo et al., 2017).

Barnes et al. (1922) ont rapporté que POISSON a constaté que les régimes d'*Elaeis* doivent être cueillis aussi près que possible de la maturation ; ils doivent aussi être transportés à l'usine sans être froissés ou souilles et il faut éviter de les laisser fermenter en tas ; enfin il importe de les traiter à sec si on veut réduire l'acidité (Chevalier, 1925). La première étape lors de la transformation de l'huile de palme est la récolte des régimes. Cette récolte doit être effectuée dans les bonnes conditions en essayant de ne pas blesser les fruits.

Les fruits non endommagés demeurent sains pendant un temps assez long. Les fruits qui se détachent naturellement de leur pédoncule sont également moins attaqués que ceux qui sont arrachés à la main.

Ces derniers conservés seulement cinq jours dans les paniers, après l'arrachage, montrent une acidité variant de 5 à 10 %, alors que des fruits murs détachés naturellement, n'ont encore qu'une acidité de 0.33 % après 100 heures et 0.69 après 170 heures (Chevalier, 1925).

À part les conditions de récolte, d'autres facteurs impactent d'une manière négative sur l'acidité de l'huile de palme en l'occurrence le long délai de transport des régimes, le temps de stockage des régimes avant leur traitement et le taux d'humidité de l'huile de palme au moment du stockage.

I.3.1. Rôle de la lipase endogène dans l'acidification de l'huile de palme

Chez le palmier à huile, la lipase endogène est très abondante dans le mésocarpe et représente quelques pourcentages des protéines totales (NgandoEbongue et al., 2006). Cette lipase provoque une dégradation rapide des triglycérides en libérant des acides gras lors de l'abscission ou de la blessure du fruit mûr, ce qui occasionne l'acidification de l'huile de palme (Desassis, 1957 ; Abigor et al., 1985 ; Henderson et al., 1991). Les triacylglycérol-lipases sont des enzymes capables d'hydrolyser les triglycérides contenant des acides gras à longues chaines (16-18 atomes de carbone) (Egloff et al., 1995; Domonhédo et al., 2018). L'activité de la lipase endogène varie selon l'espèce du genre *Elaeis*. L'espèce *E. guineensis* présente une forte acidité par rapport à l'espèce *E. oleifera*. (Ngando et al., 2008 ; Cadena et al., 2013 ; Morcillo et al., 2013). Les analyses effectuées sur les palmiers à huile originaire du Cameroun, de la Tanzanie et d'Angola de l'espèce *Elaeis guineensis* ont montré que leur acidité varierait de 3,2% à 66,8% tandis que les analyses effectuées sur les palmiers à huile originaire du Surinam, du Brésil et du Honduras de l'espèce *Elaeis oleifera* ont montré une faible acidité variant de 2,9% à 6,2% (Sambanthamurthi et al., 2000b). La localisation des lipases endogènes dans la graine du palmier à huile est différente de celles des triglycérides. Abigor et al. (1985) ont rapporté que la lipase endogène est associée à la membrane des oléosomes et qu'elle se retrouve au contact des lipides lors de dommages causés aux fruits.

L'hydrolyse des triglycérides est impossible tant que la barrière séparant l'endroit où se trouvent les lipases endogènes et l'endroit où se trouvent les triglycérides n'est pas rompue. On sous-entend que les blessures infligées aux graines au moment de la récolte des régimes sont une pratique à déplorer car cela fait que les lipases endogènes soient en contact direct avec les triglycérides et catalysent la réaction d'hydrolyse des triglycérides en acides gras libres.

L'activité de la lipase démarre vers 16-20 semaines après anthèse, ce qui coïncide avec le début de la synthèse des lipides (Mohankumar et al., 1990 ; Henderson & Osborne, 1991 ; Sambanthamurthi et al., 1991 ; Sambanthamurthi et al., 1995 ; Corley &Tinker, 2016; Domonhédo et al., 2018) et atteint un niveau maximal lorsque les fruits sont exposés à une température de 35 °C et un pH de 9 (NgandoEbongue et al., 2006).

Les transformateurs artisanaux doivent donc être vigilants au moment de la récolte des régimes en évitant de les blesser et de les exposer à des températures favorisant l'activité maximale de la lipase endogène et inactiver l'enzyme en soumettant des régimes à une température de 55° C pendant dix minutes (Chevalier, 1925).

I.3.2. Rôle des lipases microbiennes dans l'acidification de l'huile de palme

La fermentation en tas des régimes de palmiers à huile provoque le développement des moisissures sur les fruits. Lorsque les fruits murs, ou non ont été endommagés, le mycélium des moisissures, peut être aussi des bactéries, pénètrent dans la pulpe et produisent des altérations dans son contenu cellulaire (Chevalier, 1925). En effet, Les moisissures et les bactéries produisent des lipases qui, une fois en contact avec les triglycérides, les dégradent en acides gras libres et en glycérol. L'action de lipases de micro-organismes dans l'acidification de l'huile de palme a été mise en évidence à travers différentes études (Hiol et al., 2000 ; Abbas et al., 2002). Ces micro-organismes commencent à attaquer les fruits matures de palmier à huile détachés ou blessés et causent une augmentation de la teneur en AGL (Corley &Tinker, 2016). La multiplication de ces microorganismes résulte des mauvaises pratiques créant des conditions qui leur sont favorables et plus particulièrement le stockage en tas des régimes pour accélérer la maturation des fruits, etc.

Cependant, l'hydrolyse des triglycérides liée à l'action des lipases microbiennes est minime par rapport à celle liée aux lipases endogènes. La contribution de la lipase endogène et celle des microorganismes a été vérifiée par Morcillo et al. (2013) dans une étude qui consistait à comparer un lot de régimes traités au fongicide après récolte à des témoins non traités. Cette étude a montré que la part de l'acidification due à la lipase endogène était prépondérante sur l'acidification microbienne.

I.3. 3.Hydrolyse catalytique et acidification de l'huile de palme

Par ailleurs, en présence d'eau, les AGL déjà présents en petite quantité agissent comme catalyseurs dans la réaction entre les triglycérides et l'eau, générant d'autres AGL (NgandoEbongue et al., 2006). C'est un processus qui se développe essentiellement au cours du stockage et même en l'absence de toute activité enzymatique, dans l'huile saturée en eau (0,4 % d'humidité) (Loncin et al., 1963 ; Corley et al., 2016).

Selon le Codex Alimentarius (2015), la teneur en eau de l'huile doit être inférieure à 0,1 %. En dessous de ce taux, l'hydrolyse auto-catalytique et toute action hydrolytique d'éventuelles lipases microbiennes sont négligeables (de Graaf, 1976 ; Berger, 1983 ; Chong, 2000).

À la suite de l'extraction, un bon séchage de l'huile avant stockage est alors recommandé (Corley et al., 2016). La lipase endogène reste le facteur le plus important dans l'acidification de l'huile de palme (Domonhédo et al, 2017).

CHAPII: MATERIELS ET METHODES

II.1. Matériels

a. Matériels pour la collecte des échantillons

- Des flacons désinfectés

-Un stylo

- Un carnet

-Un papier collant

b. Matériels pour l'extraction de l'huile dans les régimes de palme stockés

-Un couteau

-Une Hache

-Des sacs

- Le matériel de cuisson (des casseroles) ;

- Le matériel de concassage des fruits (Mortier : Isekuro, Pilon: Umuhini) ;

- Le matériel de broyage et pressage des fruits ;

- Le matériel de décantation ;

- Les combustibles.

c.Matériels pour la détermination de l'indice d'acidité

Erlenmeyer de 250 mL
- Agitateur magnétique
- Burette graduée
- Balance
- Huiles
- Éthanol et éther éthylique
- Phénolphtaléine
- Solution d'hydroxyde de potassium (KOH) de concentration 5,0.10-1 mol.L-1

II.2 Méthodologie dans l'étude de la qualité de l'huile de palme (Indice d'acide)

II.2.1 Échantillons de l'étude

II.2.1.1 Échantillons des communes Rumonge et Mutimbuzi

La population cible était constituée par des personnes ayant des unités semi-industrielles transformant les régimes de palme en huile de palme dans les communes Rumonge et Mutimbuzi. L'échantillonnage par grappes où une grappe représente un ensemble d'unités que l'on peut tirer simultanément parce qu'elles ont un lien entre elle (Jacquemain, 2014) a été utilisé comme mode d'échantillonnage. Dans cette méthode d'échantillonnage, la population est divisée en sous-populations internes hétérogènes et externes homogènes appelées grappes et une fois ces grappes décidées, certaines sont sélectionnées et d'autres sont éliminées (voxco, 2021). Comme c'est un échantillonnage par grappe a un seul degré qui a été appliqué sachant qu'une commune soit constituée au premier degré par des zones (zone= grappe) , un total de 5 zones sur les 6 zones dans la commune Rumonge et un total de 4 zones sur les 5 zones de la commune Mutimbuzi a été obtenu en appliquant la formule de Calcul de la taille d'un échantillon de la figure numéro 6 ce qui n'empêche pas de garantir un échantillon représentatif pour toute la commune. Après avoir utilisé randomize.org pour connaître les noms des zones choisies et comme il n'y avait pas un grand nombre d'unités semi-industrielles dans chaque zone, on a passé directement de la population zone à la population unité. Par la suite, un échantillonnage aléatoire et simple qui est une méthode d'échantillonnage où les échantillons sont choisis au hasard (Golden et al., 2006) a été choisie c'est-à-dire que les unités semi-industrielles dans lesquelles il fallait échantillonner ont été choisies au hasard pour chaque zone et un total de 56 échantillons de HPB dans la commune Rumonge et 44 échantillons de HPB dans la commune Mutimbuzi a été collecté.

$$n = \frac{t_P^2 * P(1-P) * N}{t_P^2 * P(1-P) + (N-1) * y^2}$$

Avec :

• n : taille de l'échantillon.

• N : taille de la population cible (nombre de ménages, d'usagers, etc.), réelle ou estimée.

• P : proportion attendue d'une réponse de la population ou proportion réelle.

• t_p : intervalle de confiance d'échantillonnage.

• y : marge d'erreur d'échantillonnage.

Figure 8. Formule de calcul de taille de l'échantillon

(Gabert et al., 2021).

II.2.1.2. Échantillons sur des fruits de palmiers stockés dans des conditions connues

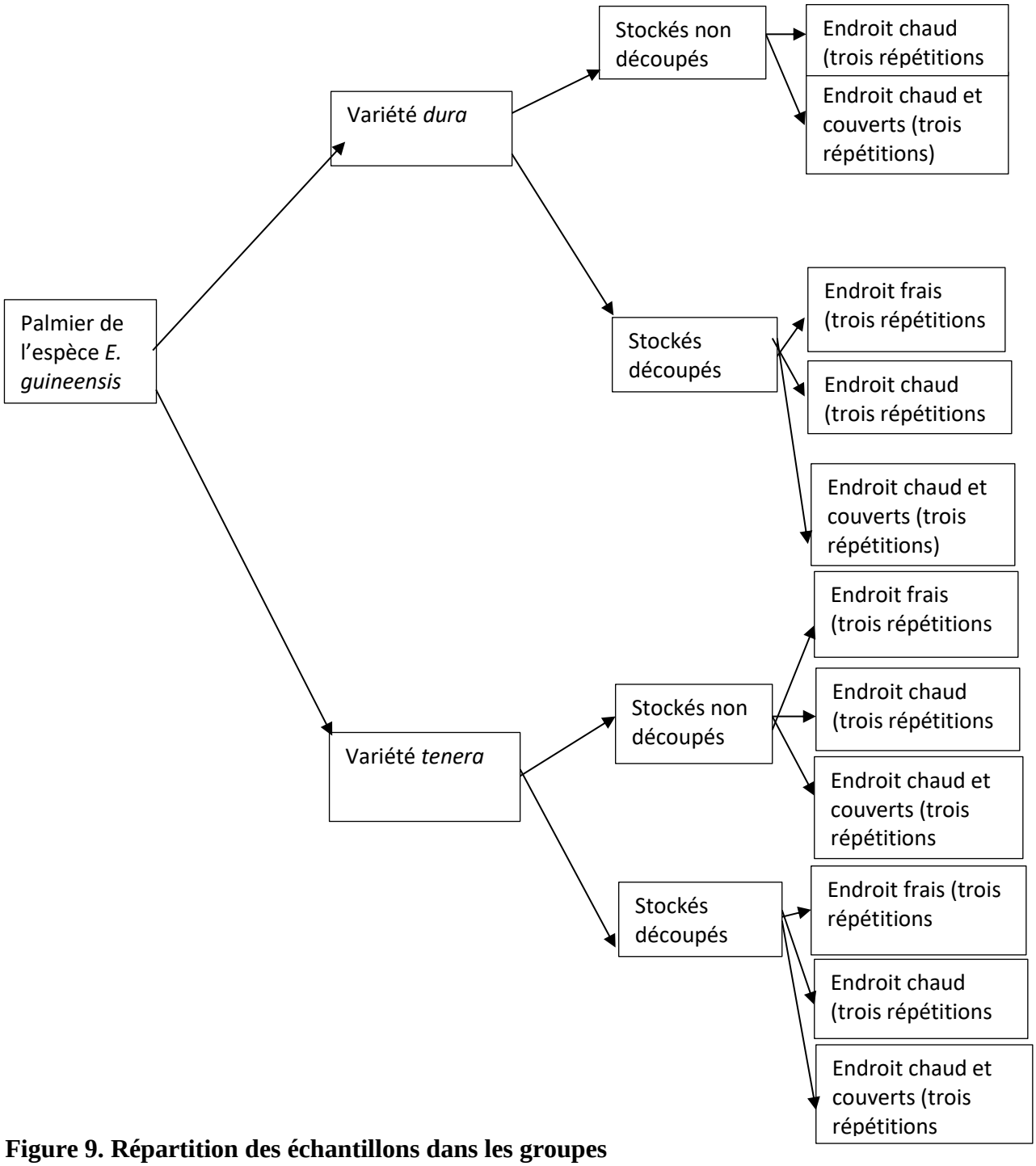


Figure 9. Répartition des échantillons dans les groupes

Les régimes de palmiers ont été stockes dans des conditions semblables à celles mis en œuvre par les petits exploitants. En effet, l'objectif de l'étude était d'imiter les pratiques paysannes mis en œuvre au moment du stockage afin d'évaluer le comportement de l'acidité de l'huile extraite de ces régimes de palmiers. Pour chaque variété, les régimes de palmiers ont été répartis dans 6 groupes différents notamment un groupe de palmiers non découpés stockés dans un endroit relativement frais à l'extérieur(l'endroit a été considéré comme étant frais car on arrosait régulièrement avec de l'eau froide les régimes de palmiers stockes dans ces endroits), un groupe de palmiers découpés stockés à l'extérieur dans un endroit relativement frais, un groupe de palmiers non découpés stockés à l'intérieur de la maison dans un endroit relativement chaud(les régimes de ces endroits étaient soumis à la température ambiante), un groupe de palmiers découpés stockés à l'intérieur de la maison dans un endroit relativement chaud, un groupe de palmiers non découpés et couverts stockés dans un endroit chaud tout près d'un feu et un groupe de palmiers découpés et couverts stockés dans un endroit chaud tout près d'un feu avec deux répétitions pour chaque groupe(n=18). Partant du fait que chaque catégorie est constituée de 18 groupes de régimes de palmiers, chaque catégorie a été stockée à différents intervalles de temps (3jours, 4jours, 5jours, 7jours et 14jours) ce qui a permis d'obtenir un total de 180 échantillons pour les deux variétés considérées (*tenera et dura*). Après le temps de stockage voulu pour chaque catégorie, l'huile de palme contenue dans les graines a été extraite à l'aide d'un mortier.

II.2.2. Collecte et transport des échantillons d'huile de palme rouge

II.2.2.1. Collecte et transport des échantillons des communes Rumonge et Mutimbuzi

Les échantillons ont été collectés dans la matinée jusqu'aux environs de 15h du même jour sur différentes unités de transformation œuvrant dans différentes zones des communes d'étude. La collecte se faisait à l'aide des flacons préalablement désinfectés et concernait l'huile de palme fraîchement transformée et non encore exposée pendant une longue durée à la température ambiante. Pour chaque commune, les échantillons ont été acheminés le jour suivant la collecte à Bujumbura dans le laboratoire de chimie organique appartenant à la faculté des sciences de l'Université du Burundi. Une partie des échantillons a été analysée le même jour et les échantillons restant ont été conservés dans le congélateur. Cependant, la congélation des échantillons a été très brève car une longue durée de conservation pouvait fausser les résultats. En effet, des études ont confirmé que la teneur en acides gras libres augmentent avec la durée de stockage suite à l'hydrolyse auto-catalytique qui est un processus qui se développe essentiellement au cours du stockage et même en l'absence de toute activité enzymatique, dans l'huile saturée en eau (0,4 % d'humidité) (Loncin & Jacobsberg, 1963 ; Corley &Tinker, 2016; Ngando et al., 2013) et c'est pour cette raison que l'échantillon ne pouvait pas dépasser deux jours sans être analysé.

II.2.2.2. Collecte et transport des échantillons des palmiers stockés dans des conditions connues

Quant aux régimes de palmes stockés dans des conditions connues, une fois le temps de stockage voulu atteint, l'extraction a été faite en faisant recours à un mortier et un pilon pour triturer les drupes des palmiers.

L'extraction de l'huile de palme nécessite des opérations préliminaires avant l'étape de l'extraction proprement dite. Les régimes ont d'abord été ressortis de leurs endroits de stockage, ils ont été ensuite égrappés (séparation des fruits de leur rafle) à l'aide d'une hache d'abord puis à la machette. Après avoir dissocié les fruits de diverses impuretés, ils ont ensuite été rassemblés dans des lots. Les fruits éparpillés ont été rassemblés en les dissociant des diverses impuretés avec les mains. Cependant, certains fruits étaient sales (présence de sable, terre, fragments de tiges, etc) ce qui nécessitait un lavage. Après toutes ces opérations, l'extraction proprement dite a débuté. La première phase d'extraction de l'huile de palme était la cuisson des fruits dans une casserole pendant 30min. Le chauffage des graines, à part qu'il facilitait l'extraction de l'huile, était le meilleur moyen pour inactiver la totalité des enzymes responsables de l'acidification de l'huile. Pour chaque lot de fruits, la cuisson était interrompue lorsqu'une odeur caractéristique de l'huile de palme commençait à se sentir, signe d'une bonne cuisson. Les fruits ont été ensuite transférés dans un mortier à piler en bois dans lequel ils ont été écrasés au moyen d'un pilon (Umuhini). Le broyage a été fait jusqu'à ce que toutes les graines soient bien débarrassées de la pulpe. La pâte jaunâtre obtenue a été versée dans une casserole contenant de l'eau pour y subir le brassage et le pressage. L'huile qui surnage sur l'eau a été récupérée grâce à un récipient. Cette huile brute a été chauffée une seconde fois jusqu'à l'évaporation totale de l'eau. Après extraction, les échantillons ont été recueillis dans des flacons désinfectés et acheminés dans le laboratoire de chimie organique pour y être analysés.

II.2.3. Analyse de l'indice d'acidité

L'indice d'acide est le nombre de mg (milligramme) d'hydroxyde de potassium nécessaire pour neutraliser les acides présents dans un gramme de matière grasse. L'analyse de l'indice d'acidité a été faite en suivant la procédure suivante:

1) Remplir la burette graduée avec la solution d'hydroxyde de potassium.
2) Peser environ 10 g (grammes) d'huile d'olive dans un erlenmeyer et noter la valeur exacte de la masse (m) dans le tableau des résultats.
3) Verser les 10g d'huile d'olive dans un erlenmeyer
4) Ajouter sous la hotte 80 mL du mélange éthanol-éther éthylique
5) Ajouter quelques gouttes de phénolphtaléine, boucher et agiter.6) Mettre l'erlenmeyer sur l'agitateur magnétique (avec le barreau aimanté)

7) Lancer l'agitation

8) Verser progressivement l'hydroxyde de potassium.

 Quand la solution devient rose, arrêter l'agitateur magnétique et attendre 10 secondes. Si la solution reste rose et ne change pas de couleur, noter le volume d'hydroxyde de potassium ajouté V)

 Si la solution redevient incolore ou moins rose, rallumer l'agitateur magnétique, rajouter au compte goute au compte de l'hydroxyde de potassium et répéter l'étape 8)

II.2.4. Analyses statistiques (traitement et analyse des données)

Les données ont été saisies plusieurs fois et analysées avec les logiciels STATA version 15 et SPSS. Les moyennes, les écart-types, l'intervalle de confiance, la médiane et le test de sknewness ont été utilisés dans le but de déterminer la valeur moyenne à laquelle tourne l'indice d'acidité de la majorité des huiles au niveau des communes. Les tests de Dancan, les tests de chi deux et une régression linéaire multiple ont aussi été utilisées dans le cadre de cette étude. Une régression linéaire multiple a été appliquée dans le but de vérifier l'influence globale de tous les facteurs pris conjointement sur la variable d'intérêt qui est l'indice d'acidité.

CHAP. III: PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

III.1. Acidité de l'huile de palme des communes Rumonge et Mutimhuzi.

III.1.1. Acidité de l'huile de palme de la commune Rumonge (les unités semi-industrielles)

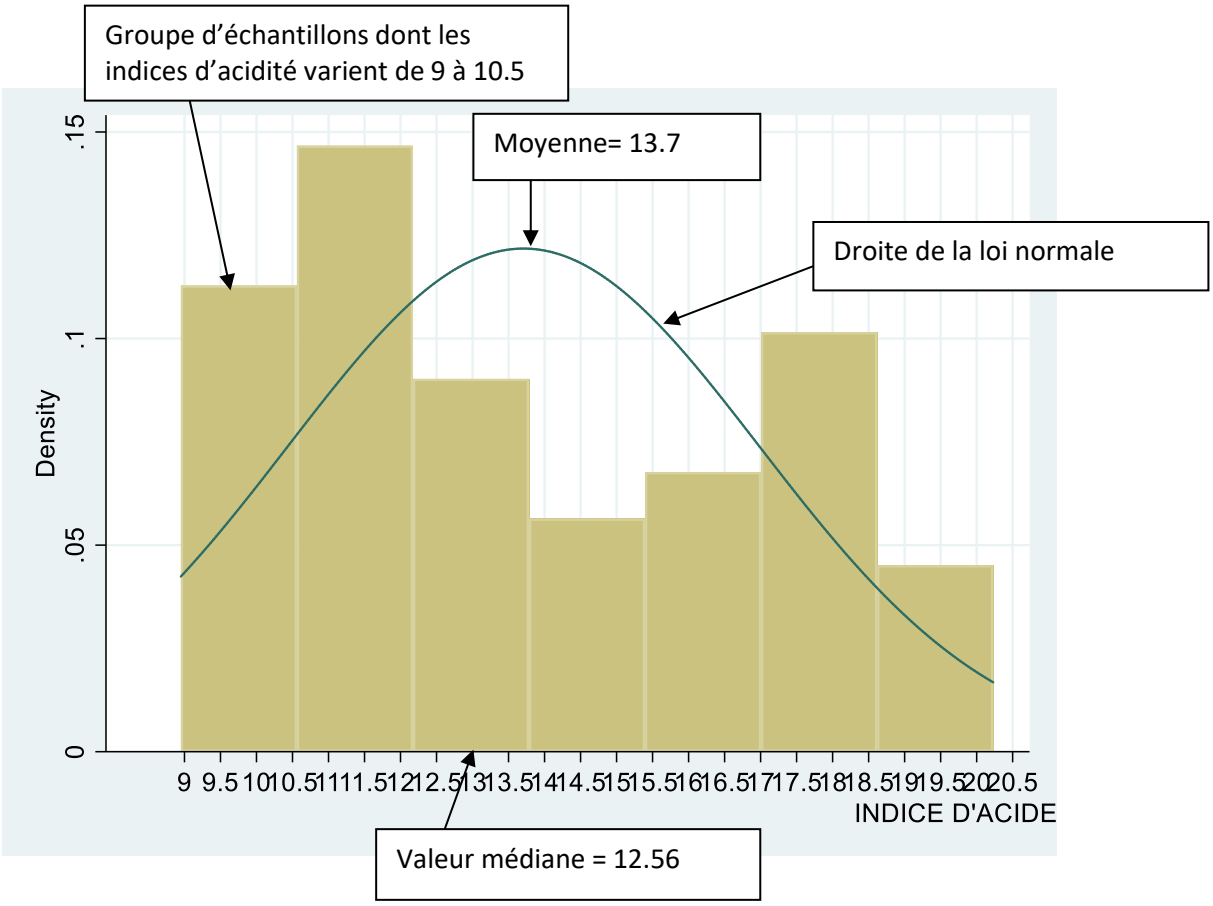


Figure 10. Histogramme de distribution de l'indice d'acidité des échantillons de la commune Rumonge

Les résultats montrent que l'indice d'acidité moyen est de 13.7 mg de KOH/g d'huile qui varie de 12,8233 à 14,59451 et que 50% des unités échantillonnées œuvrant dans la commune Rumonge produisent l'huile de palme dont l'indice d'acidité est supérieur à 12,56 mg de KOH/g d'huile. Les résultats de l'histogramme montrent aussi que près de la totalité des unités de Rumonge produit l'huile de palme dont l'indice d'acidité est supérieur à la valeur seuil.

III.1.2. Acidité de l'huile de palme dans la commune Mutimbuzi (unités semi-industrielle)

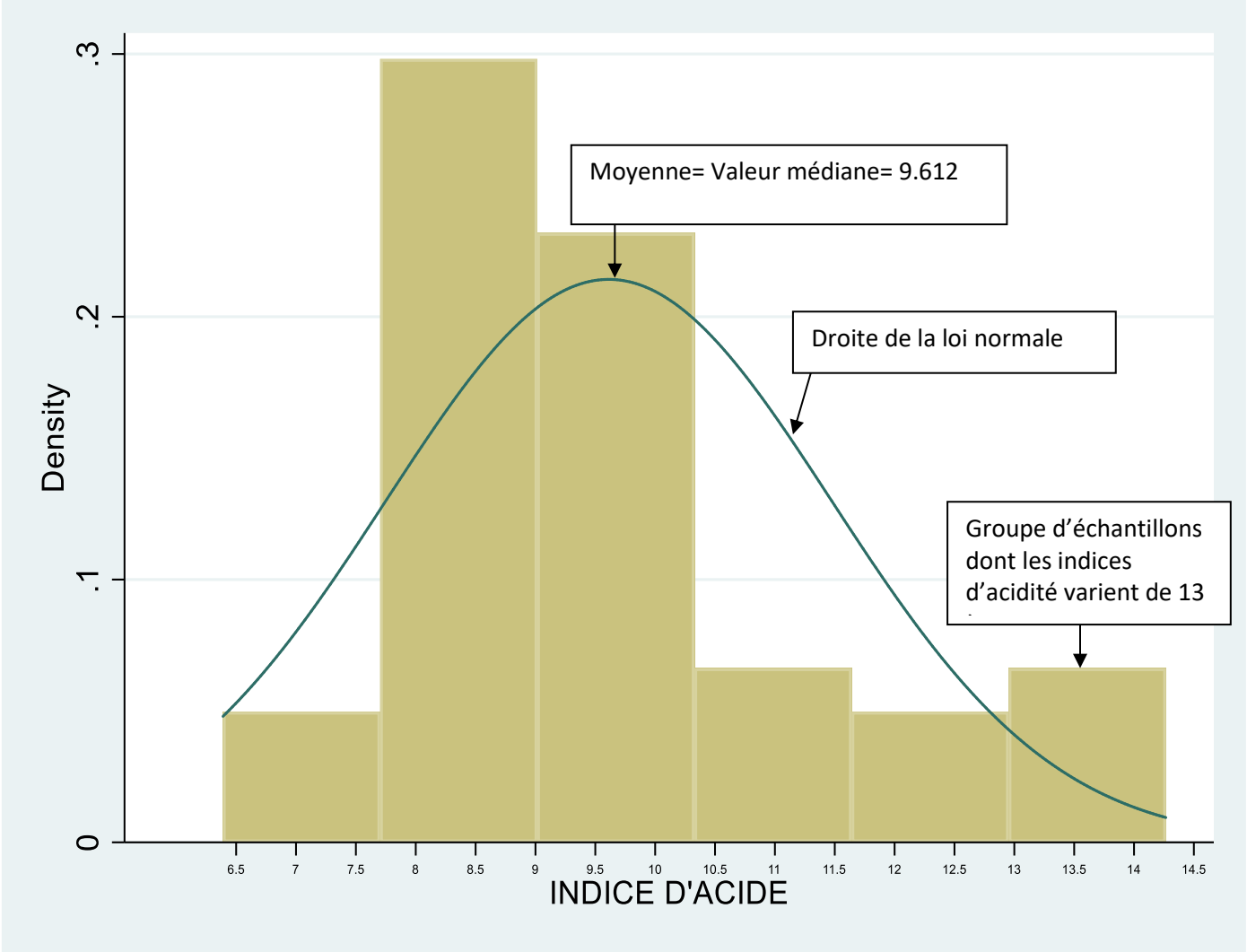


Figure 11. Histogramme de distribution de l'indice d'acidité des échantillons de la commune Mutimbuzi

Il a été constaté que la majorité des unités semi-industrielles transformant l'huile de palme œuvrant dans la commune Mutimbuzi produisent l'huile de palme dont l'indice d'acidité tourne autour de 9.612383 et que cette majorité se retrouve dans la partie inférieure à la valeur moyenne. Comme la majorité des unités de transformation œuvrant dans la commune Mutimbuzi produisent l'huile de palme dont l'acidité est inférieure à 9.612383 mg de KOH/g d'huile ce qui est illustré sur l'histogramme et sachant que la valeur seuil est de 10,0 mg de KOH/g d'huile selon la norme pour les huiles végétales portant un nom spécifique (CODEX STAN 210-1999), il a été déduit que l'huile de palme de la commune Mutimbuzi est de meilleure qualité du fait que la majorité des unités produisent l'huile dont l'indice d'acidité est inférieure à la valeur seuil.

III.1.3. Indice d'acidité des huiles provenant des zones

Tableau 1: Comparaison des moyennes entre zones

Zone	Valeur d'indice d'acidité moyen
RUBIRIZI	$9,2^{d} \pm 1,7^{d}$
RUKARAMU	$9,6 \pm 1,6^{cd}$
GATUMBA	$9,7 \pm 2,3^{cd}$
MARAMVYA	$10,3 \pm 2,05^{cd}$
GATETE	$12,1 \pm 2,5^{bc}$
KIGWENA	$13,1 \pm 2,7^{ab}$
RUMONGE	$13,5 \pm 2,6^{ab}$
KIZUKA	$14,6 \pm 4^{ab}$
MINAGO	$15,5 \pm 3,7^{a}$

Le test de Duncan montre que la moyenne d'indice d'acidité de la zone Rubirizi est significativement plus petite ($P<0,05$) par rapport aux moyennes d'indice d'acidité des zones Rumonge, Kigwena, Kizuka et Minago. Les zones Rukaramu, Gatumba et Maramvya affichent aussi une acidité moyenne plus petite mais légèrement supérieure à celle de la zone Rubirizi. La zone Gatete se distingue des autres zones de la commune Rumonge avec un indice d'acidité moyen légèrement inférieur à la moyenne de ces dernières. Ces résultats de comparaison entre zones montrent aussi que c'est dans les zones de la commune Rumonge que les indices d'acidité moyens sont les plus élevés et que l'acidité dans les deux communes varie 9,2±1,7 mg de KOH/g d'huile à 15,5±3,7 mg de KOH/g d'huile.

Sur base de ces résultats et comparativement aux résultats de Tagoe et al(2012) qui montraient que la transformation des fruits sans fermentation entraînait la production d'huile de palme brute de haute qualité d'environ 0,9 mg de KOH/g d'huile et que l'acidité des fruits stockés pendant 6 à 26 jours variait de 12,04 à 64mg de KOH/g d'huile et aux résultats de Kumaradevan et al.(2015) qui montrent que l'acidité des fruits stockés à température ambiante pendant trois à quatre jours varie de 9,4 mg de KOH/g d'huile à 11,6 mg de KOH, il a été soutenu que les paysans des communes Rumonge et Mutimbuzi stockent au moins trois jours les fruits de palmiers avant leur transformation et que l'acidité de l'huile de palme produite par les petits exploitants de la commune Rumonge serait liée aux pratiques mis en œuvre par ces derniers. En effet, il a été constaté que les exploitants de Rumonge stockent généralement pendant une longue période (entre 7 et 14jours) les fruits de palmiers à huile avant leur transformation en huile de palme ce qui n'est pas le cas des exploitants de Mutimbuzi qui ne dépasse pas quatre jours de stockage post-récolte des fruits.

A cette longue période de stockage s'ajoute d'autres pratiques d'autres pratiques appliquées par ces exploitants notamment le découpage des fruits avant leur stockage, l'exposition des fruits a de hautes températures en les couvrant avec des feuilles de palmiers pendant le stockage et l'implication de ces facteurs dans l'hydrolyse des triglycérides est présenté en détail dans les sections III.2.2, III.2.3 et III.2.4.

Il a aussi été constaté que l'acidité de l'huile des communes Rumonge et Mutimbuzi est globalement plus élevée par rapport à l'acidité de l'huile industrielle. En effet, NgandoEbongue et al(2011) rapporte que l'huile produite de façon industrielle a une acidité d'environ 9,42 ± 0,12 mg de KOH/g d'huile et Likeng-Li-Ngue et al(2016) attribuent cette diminution a une courte période de stockage des fruits avant leur transformation.

III.2. Étude de l'influence de différents facteurs sur l'évolution de l'indice d'acidité

III.2.1 Étude de l'influence de plusieurs facteurs sur l'acidité

Tableau2 : Influence de plusieurs facteurs pris conjointement sur l'évolution de l'acidité

Indice d'acidité	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf. Interval]	
M. de stockage						
1	3.5643	.4030769	8.84	0.000	2.76875	4.35985
2	6.033883	4030769	14.97	0.000	5.238334	6.829433
2. Etat des palm.	.7680778	.3291109	2.33	0.021	.1185143	1.417641
Tps stckage (jrs)	.3673939	.0418783	8.77	0.000	.2847391	.4500486
1. Variété	-.3937	.3291109	-1.20	0.233	-1.043263	.2558635
cons	3.702145	4602038	8.04	0.000	2.793845	4.610445

M. de stockage = Milieu de stockage, Etat des palm. = état des palmiers au moment du stockage, Tps stckage (jrs)= temps de stockage en jours.

Significativité conjointe : 0.0000

Contribution conjointe: 64%

Il a été constaté que tous les facteurs considérés à l'exception de la variable « variété du palmier stockée », influencent la variation de l'indice d'acidité parce que ces variables ont des p-valeurs inférieures à 5%. Autrement dit, les facteurs « l'état des palmiers au moment du stockage (régimes découpés en petits morceaux avant stockage ou non découpés), milieu de stockage (stockés les palmiers dans un milieu frais, moyennement chaud ou plus chaud), le temps de stockage » impactent

d'une manière significative l'indice d'acidité. Cependant, la variable « variété du palmier stockée » n'est pas significative (p-valeur supérieure à 5%) cela veut dire que la variété du palmier stockée n'influence pas la variation de 'indice d'acidité. Peu importe la variété de palmier stockée, l'augmentation de l'acidité dans les fruits des palmiers stockés ne dépendra pas de la variété du palmier

Partant de ces mêmes résultats du tableau ci-dessus montrant l'influence des facteurs considérés sur l'évolution de l'indice d'acidité, il a été constaté que si le temps de stockage des palmiers augmente d'un jour, il y aurait une augmentation de 0.3673939 à l'indice d'acidité de l'huile de ces palmiers par rapport aux palmiers qui sont stockés un jour de moins et cette augmentation est significative (p-valeur<5%) et varie de 0.2847391 à 0.4500486. Cela vient confirmer les résultats de Nanda et al. (2020) qui montrent que la teneur en acides gras libres du HPB augmente avec la durée de conservation des fruits à température ambiante. En effet, Nanda et al.(2020) rapportent que la teneur en acides gras libres atteint 0,33 ± 0,00 g/100 g d'huile après 1 jour de conservation des fruits à température ambiante et augmente d'une manière significative (p-valeur<5%) après cinq jours de conservation des fruits (2,52 ± 0,06 g/100 g huile), atteignant 9,97 ± 0,32 g/100 g d'huile au jour 9. Ces mêmes résultats coïncident aussi avec ceux des autres auteurs. Par exemple, l'huile de palme issus de grappes mûres qui ont été stérilisés à la chaleur quelques heures après la récolte a donné environ 0,3 à 0,7 g d'AGL / 100 g d'huile, tandis que l'huile de palme extraite de grappes mûres transformées trois jours après la récolte contenait environ 1,5 % d'AGL (Mohan et Mohankumar, 2004). Les résultats du tableau montrent aussi que l'indice d'acidité de l'huile extraite aux fruits de palmiers stockés étant découpés en petits morceaux a une augmentation de 0.7680778 par rapport à l'indice d'acidité de l'huile de palme extraite aux fruits de palmiers non découpés au moment du stockage et cette augmentation est significative (p-valeur<5%).Cette augmentation de l'acidité des fruits stockés étant découpés est due à la destruction des tissus lors du découpage des grappes en petits morceaux ce qui entraînent l'hydrolyse des matières grasses par les enzymes endogènes et microbiologiques. En effet, plusieurs recherches ont prouvé que les blessures infligées aux fruits au moment du stockage avaient des conséquences sur l'acidité de l'huile. Henderson et al(1991) rapportent que les acides gras libres du fruit mûr doivent être principalement contrôlés par une lipase dont la fonction hydrolytique est activée par desquamation ou par blessure. Ce Constant est aussi tiré plusieurs années plus tard par NgandoEbongue et al. (2006) qui affirment que le mésocarpe du fruit mûr du palmier à huile subit une hydrolyse intensive des triglycérides lors de l'abscission et des meurtrissures et que cela génère une si haute quantité d'acides gras libres.

L'autre fait intéressant à signaler tirer de ces résultats est que l'indice d'acidité des palmiers stockés dans un endroit frais ont une diminution de 3.5643par rapport à l'indice d'acidité de l'huile extraite aux fruits stockés dans un endroit chaud et cette diminution est significative (p-valeur<5%) et varie de 2.76875 à 4.35985.

Cela montre que la variation de l'indice d'acidité dépend de la température régnant dans les fruits pendant le stockage et cette influence de la température serait due au fait que les lipases endogènes présentes dans le mésocarpe du fruit et les lipases fongiques soient sensibles à la température. En effet, l'activité lipase atteint un niveau maximal lorsque les fruits sont exposés à une température de 45°C (NgandoEbongue et al, 2006) ce qui justifie une augmentation d'acidité pour les fruits stockés dans des conditions permettant une augmentation de la température au cours de la période de stockage.

III.2.2. Évolution de l'acidité selon les états des palmiers au moment du stockage

Tableau 3 : comparaison des acidités selon l'état des palmiers au moment du stockage

Variété du palmier	Nombre de jours de fermentation	Non découpés	Découpés
dura	**3**	$5,9 \pm 2.3^{d}$	$7.03^{cd} \pm 3.2^{cd}$
	4	$9,1 \pm 2.9^{abcd}$	$9,2^{abcd} \pm 3.4^{abcd}$
	5	10.5 ± 3.2^{abc}	$10,8^{ab} \pm 3.4^{ab}$
	7	$10,1^{abc} \pm 2.4^{abc}$	$10.7^{abc} \pm 2.9^{abc}$
	14	$10,9^{ab} \pm 4.7^{ab}$	$12.5^{a} \pm 5.4^{a}$
tenera	**3**	$5,8 \pm 1.8^{d}$	$7,02^{cd} \pm 3.2^{cd}$
	4	$8,3 \pm 2.3^{bcd}$	$8,9^{abcd} \pm 2.9^{abcd}$
	5	$9,4 \pm 2.9^{abcd}$	$9,8^{abc} \pm 3.4^{abc}$
	7	$9,8^{abc} \pm 3.1^{abc}$	$10.3^{abc} \pm 3.5^{abc}$
	14	$12.5^{a} \pm 5.4^{a}$	$12.5^{a} \pm 4.1^{a}$

Les résultats montrent que pour les palmiers stockés pendant une même période, les moyennes d'indice d'acidité des palmiers stockés étant découpés sont dans la majorité des cas supérieures aux moyennes d'indice d'acidité des palmiers qui n'ont pas été découpés en petits morceaux au moment du stockage. Cette augmentation d'acidité pour les palmiers stockés étant découpes serait due aux lipases endogènes et microbiennes. La lipase endogène est activée lorsque les fruits sont meurtris pendant la récolte, le transport et le stockage (Cadena et al, 2013) ce qui est aussi le cas pour les palmiers stockés étant découpés parce que le découpage inflige aux fruits beaucoup de blessures.

En effet, ces meurtrissures sont à l'origine de la destruction de la membrane des vacuoles qui sépare la graisse de l'enzyme (Abigor et al.,1984) ce qui fait que la lipase endogène se retrouve en contact direct avec les triglycérides. L'activation de la lipase endogène entraîne ensuite une acidification de l'huile du mésocarpe et cette enzyme serait la cause principale de la dégradation des triglycérides en acides gras libres (Desassis, 1957 ; Abigor et al., 1985; Sambanthamurthi et al. 1995). Cependant, même si l'activité de la lipase endogène est plus active dans les fruits blessés (NgandoEbongue et al.,2008), l'hydrolyse des fruits non meurtris est possible mais l'acidification de ces derniers se fait lentement et c'est pour cette raison que les résultats montrent que les valeurs d'acidité des fruits non découpés sont pour la plupart part des fois inférieures à celles des fruits découpés. Il est aussi important de préciser que ces blessures infligées aux fruits constituent aussi des portes d'entrées pour les lipases microbiennes produites par les champignons qui prolifèrent dans les fruits pendant la période de stockage et ces dernières contribuent aussi à l'acidification de l'huile.

Desassis (1957) et De Almeida et al. (2013) ont montré une activité hydrolytique causée par les microorganismes sur les triglycérides du mésocarpe du palmier à huile pour les fruits blessés ou tombés par abscission au cours du processus de récolte et de fermentation. Cependant, Coursey (1963) et Hartley (1977) ont rapporté que, dans le cadre des pratiques ordinaires de plantation, la production d'acides gras libres par les lipases fongiques sont susceptibles d'être insignifiantes par rapport à l'activité lipase provenant du fruit lui-même. Les résultats montrent aussi que les palmiers de la variété *tenera* et ceux de la variété dura stockes pendant 3jours étant non découpés affichent des moyennes d'indice d'acidité qui sont significativement égales et plus petites par rapport à la majorité des autres groupes considérés au seuil de significativité de 5% et les indices d'acidités les plus élevés et qui dépassent les seuils limites ont été retrouvés dans les palmiers stockés au moins cinq jours. Ces résultats coïncident aussi avec ceux des autres auteurs. En effet, il a été rapporté qu'au-delà de 72h de la récolte des fruits, la teneur en acides gras libres atteint un niveau inacceptable (Kumaradevan et al., 2015) et qu'une longue conservation augmente considérablement l'acidité de l'huile de palme (Basyuni et al., 2017).

III.2.3. Évolution de l'acidité selon le milieu de stockage (variété dura)

Tableau 4 : comparaison des acidités selon le milieu de stockage pour les palmiers de la variété dura

Régime de palmier	Nombre de jours de fermentation	Extérieur dans un endroit frais	À l'intérieur de la maison dans un endroit chaud	À l'intérieur de la maison et couverts
Coupé	**3**	3,7± 0.9^{g}	6,5± 0.3^{defg}	10,8± 1.9^{bcde}
	4	5,6± 0.6^{fg}	11,3± 1,8^{bcd}	12 ± 2.9^{bc}
	5	6,2±0.2^{efg}	10,6± 1,8^{bcde}	13±1.3^{b}
	7	7,4± 0.8^{cdefg}	10,9± 0.3^{bcde}	13,8±1.8^{ab}
	14	9,1± 7^{bcdef}	12,6± 0,8^{b}	17,7±1.4^{a}
Non coupé	**3**	3,7± 2.6^{g}	6,5± 0.5^{defg}	7,5± 1.4^{cdefg}
	4	5,6± 0.9^{fg}	9,9± 2,4^{bcdef}	10,6 ± 1.8^{bcde}
	5	6,2 ± 1^{efg}	10,5± 3,2^{bcde}	12,6 ± 0.7^{b}
	7	7,3± 0.1^{cdefg}	10,8 ±0 .3^{bcde}	12,3±1.8^{b}
	14	9,1 ± 7.4^{bcdef}	13± 1,3^{b}	13,2±3.2^{b}

Pour les grappes stockées de la même manière pendant une même période, les résultats montrent que l'acidité évolue au fur et à mesure que la température régnant dans le milieu de stockage augmente. Les valeurs les plus basses d'acidité ont été retrouvées à chaque fois dans les fruits stockés dans un endroit frais. On peut citer l'exemple des fruits non découpés stockés pendant 3 jours dans un endroit frais et les fruits découpés stockés pendant 3 jours dans un endroit frais regroupés dans la catégorie g qui affichent des moyennes d'indice d'acidité significativement plus petites par rapport aux autres groupes ce qui est aussi le cas des grappes non découpés stockés pendant 4 jours dans un endroit frais, les grappes découpés stockés pendant 4 jours dans un endroit frais, les grappes découpés stockés pendant 5 jours dans un endroit frais et les grappes non découpés stockés pendant 5 jours dans un endroit frais regroupés dans la catégorie fg mais ces derniers ont des moyennes d'indice d'acidité légèrement supérieurs. Ces résultats montrent que l'endroit où on a stocké les grappes influence largement sur l'évolution de l'acidité parce les échantillons qui ont des moyennes les plus petites sont issus des palmiers stockés dans des endroits frais.

On peut aussi citer l'exemple des fruits stockés jusqu'à 7 jours dans un endroit frais (la catégorie cdefg) qui affichent des moyennes d'indice d'acidité qui ne sont pas significativement différentes de celle des fruits stockés pendant 3 jours malgré qu'ils soient conservées pendant une longue période ce qui confirme que les basses températures retardent l'augmentation de l'acidité au cours du stockage post-récolte.

Ces résultats coïncident avec ceux des autres auteurs. Henderson et Osborne (1991) ont rapporté que les fruits exposés au froid produisaient des extraits dont l'activité lipase a été fortement réduite sachant qu'une corrélation positive a été démontré entre l'activité lipase et l'acidité de l'huile du mésocarpe (NgandoEbongue et al., 2008).Des résultats similaires sont aussi rapportés par NgandoEbongue et al.(2006) qui montrent que l'extrait de mésocarpe partiellement délipidé était actif à des températures allant de 20 à 50 °C et l'activité maximale a été enregistrée à 45 °C. Tous ces résultats renforcent l'idée que l'activité de la lipase endogène qui est la cause principale de l'acidification de l'huile de palme (Desassis, 1957 ; Abigor et al., 1985; Sambanthamurthi et al. 1995) est favorisé lorsque les fruits sont stockés dans des endroits relativement chauds. Il est aussi important de signaler que cette acidité qui augmente au fur et à mesure que la température du milieu de stockage augmente serait aussi liée aux lipases microbiennes. En effet, plusieurs microorganismes isolés dans les fruits du palmier à huile sont impliqués dans l'activité lipase entre autres Aspergillus sp,Mucorsp, Penicillium et Candida pour les champignons ; des bactéries telles que Bacillus, Pseudomonas,Micrococcus, Staphylococcus et Enterobacter (Likeng-Li-Ngue et al., 2017) et des études ont montré que la plupart de ces micro-organismes responsables de la production de lipases qui hydrolysent les triglycérides prolifèrent beaucoup dans les milieux chauds. La lipase de Mucor sp est plus active dans la plage de température de 30 à 45 ◦C avec une activité maximale à 35°C (Abbas et al., 2002). Hiol et al.(2000) rapporte que la souche de R. oryzae isolé aussi dans le fruit du palmier à huile est thermophile avec une croissance au-dessus de 50°c et que la température optimale pour l'activité de ses lipases est de 35°C. Les résultats du tableau montrent aussi que la dégradation des triglycérides s'intensifie au cours de la période de stockage et l'acidité de l'huile augmente au fur et à mesure que le temps de stockage s'allonge. Les fruits stockés de 3 à 4 jours affichent des moyennes d'indice d'acidité significativement plus petites avec une acidité qui ne dépasse pas dans la majorité des cas le seuil limite établi pour les huiles végétales portant un nom spécifique (CODEX STAN 210-1999). Au-delà de 4 jours de stockage, les valeurs d'indice d'acidité dépassent les seuils limites à l'exception des fruits stockés dans des endroits frais et les moyennes d'indice d'acidité significativement plus élevées se retrouvent dans l'huile des fruits stockés jusqu'à 14 jours. Il ne fait aucun doute que le temps de stockage a une influence sur l'acidité de l'huile de palme et des résultats similaires se retrouvent aussi dans des travaux antérieurs rapportés par d'autres auteurs.

Tagoe et al.(2012) attribuent les différences significatives entre les valeurs d'acidité de l'huile de petits exploitants et une société industrielle au Cameroun prouvées par NgandoEbongue et al.(2011) à la longue période de stockage des fruits avant le processus d'extraction pour l'huile de petits exploitants.

Pour affirmer les conclusions précédentes, Tagoe et al.(2012) ont évalué la qualité d'huile de palme des fruits stockés à des durées différentes qui a montré que la valeur d'acidité de l'huile de palme augmente avec le temps de conservation des fruits. Gulla et Waghray (2011) ont montré aussi que le temps de stockage influence la teneur en acides gras libres de l'huile.

III.2.4. Évolution de l'acidité selon le milieu de stockage (variété tenera)

Tableau 5 : comparaison des acidités selon le milieu de stockage pour les palmiers de la variété *tenera*

Régime de palmier	**Nombre de jours de fermentation**	**Extérieur dans un endroit frais**	**À l'intérieur de la maison dans un endroit chaud**	**À l'intérieur de la maison et couverts**
Coupé	**3**	$4,9\pm 0.7^{fgh}$	$6,5\pm0.5^{fg}$	$9,08^{e}\pm 0.2^{e}$
	4	5.6 ± 0.07^{gh}	$9,1\pm1.5^{e}$	$12,07^{bcd}\pm0.04^{bcd}$
	5	$5,9\pm0.5^{gh}$	$10,4\pm2.6^{de}$	$13,07^{bcd}\pm0.7^{bcd}$
	7	$6,4\pm 1.3^{fg}$	10.9 ± 2.2^{cde}	$13,8^{b}\pm0.9^{b}$
	14	$9,1\pm0.9^{e}$	$10,6\pm1.5^{cde}$	$17,7^{a}\pm1.7^{a}$
Non coupé	**3**	$3,7\pm1.3^{h}$	$6,5\pm0.5^{fg}$	$9.08^{e}\pm 1.5^{e}$
	4	$5,6\pm.007^{gh}$	$8,7\pm0 .8^{ef}$	$9,1^{e}\pm1.5^{e}$
	5	$5,9\pm0.5^{gh}$	$10,4\pm1.9^{de}$	$11,9^{bcd}\pm1.1^{bcd}$
	7	$6,4\pm 1.5^{fg}$	$10,8\pm2.7^{cde}$	$12,3^{bcd}\pm0.6^{bcd}$
	14	$9,1\pm0.9^{e}$	$10,5\pm1.3^{cde}$	$13,2^{bc}\pm2.4^{bc}$

Le milieu de stockage influence fortement l'acidité de l'huile de palme. En effet, pour les grappes stockées pendant une même période, l'acidité de l'huile de palme augmente d'une manière significative au fur et à mesure que la température régnant dans le milieu de stockage augmente et les échantillons issus des milieux frais affichent les acidités les plus basses. Comme évoqué pour le cas des fruits de la variété dura, cette acidité élevée pour les palmiers stockés dans des endroits chauds est due à deux facteurs. D'une part, les lipases endogènes se retrouvent dans leurs conditions optimales ce qui provoque une dégradation trop rapide des triglycérides en acides gras libres par ces dernières.

La lipase endogène atteint un niveau d'activité maximale lorsqu'elle est exposée à 35°C (NgandoEbongue et al., 2006) et est sensible à l'inactivation par le froid à 8°C (Henderson et al., 1991) ce qui justifie une acidification relativement accélérée dans les milieux chauds et des niveaux d'acidité faibles pour les milieux frais. D'autre part, une augmentation de température dans les grappes pendant le stockage post récolte pour accélérer la maturation des fruits est favorable à la prolifération des microorganismes qui produisent des lipases responsables de l'acidification de l'huile. On peut citer l'exemple de Mucor hiemalis f. hiemalis qui est un contaminant majeur du fruit du palmier à huile. Il a été suggéré que l'activité hydrolytique de l'enzyme de Mucor hiemalis f. hiemalis était détectée entre 20 et 50°C avec un optimum à 40°C (Hiol et al., 1999). Ces mêmes auteurs affirment que l'enzyme avait une activité comprise entre 80 et 100% à des températures comprises entre 30 et 45°C et qu'au-dessus de 60%, l'enzyme était complètement inactivé.

Les résultats montrent aussi que l'acidité des fruits de la variété tenera évolue au fur et à mesure que le temps de stockage augmente et ces résultats sont en accord avec ceux de Taiwo et al. (2000) qui rapportent qu'un retard dans la transformation des grappes après leur récolte aboutisse à la production d'huile de palme à haute teneur en acides gras libres. La qualité de l'huile provenant des fruits stockés pendant une courte période notamment 3 à 4 jours paraît surprenante mais ces résultats sont en accord avec d'autres études précédentes. Olalusi et al. (2017) ont rapporté qu'un stockage court des grappes ne détériore pas la qualité de l'huile mais qu'au-delà de 4 jours de stockage des fruits, l'huile atteint un niveau inacceptable en acides gras libres ce qui se rapproche des résultats de Kumaradevan et al. (2015) mais ces derniers recommandent de ne pas dépasser 72h de stockage. Tagoe et al(2012) a montré aussi que l'huile des palmiers fraîchement récoltés et celle des palmiers stockés pendant une courte période était de bonne qualité mais que l'acidité augmentait de 6,02% à 32,37% après 6 à 26 jours de conservation des fruits. En comparaison avec les résultats obtenus précédemment pour les fruits de la variété dura, les fruits provenant des palmiers des variétés *dura et tenera* se comportent de la même manière vis à vis des fluctuations des températures et de la variation du temps de stockage. Il est possible que ces similarités soient dues du fait que ces palmiers appartiennent à l'espèce *E. guineensis*. En effet, Sambathamurthi et al.(2000) ont rapporté qu'il n'y avait pas de différences significatives entre l'acidité des différentes variétés *d'E. guineensis* et que les variétés de cette espèce affichaient une évolution rapide de l'acidité au cours du temps de stockage par rapport aux variétés d'*E. oléifera.*

III.3. Les facteurs responsable d'une hydrolyse élevée pour les fruits stockés pendant 4 jours

Deux facteurs entre autres le milieu de stockage et l'état des palmiers au moment du stockage ont été considérés dans l'étude des facteurs pouvant influencer le dépassement du seuil limite établi pour les huiles végétales portant un nom spécifique (CODEX STAN 210-1999) dans les fruits stockés pendant 4 jours. Après le test de chi2, les résultats ont montré que l'état des palmiers au moment du stockage n'influence pas le dépassement de 10mg de KOH/g d'huile pour l'huile contenue dans les fruits stockés pendant 4 jours (p-valeur = 0.729). Par contre, le milieu de stockage influence significativement (p-valeur<5%) dans le dépassement de la valeur normale pour les fruits stockés pendant 4jours et les fruits stockés dans des endroits chauds connaissent une augmentation rapide de l'acidité. Les variations d'acidité pour les fruits stockés pendant une même période ont été aussi évoquées par d'autres auteurs. Kumaradevan et al.(2015) ont rapporté que pour les fruits stockés pendant deux jours, l'acidité pour les fruits stockés espacés à l'air libre était de 3,7% tandis que l'acidité de ceux qui sont dans un endroit relativement chaud était de 4,7%.

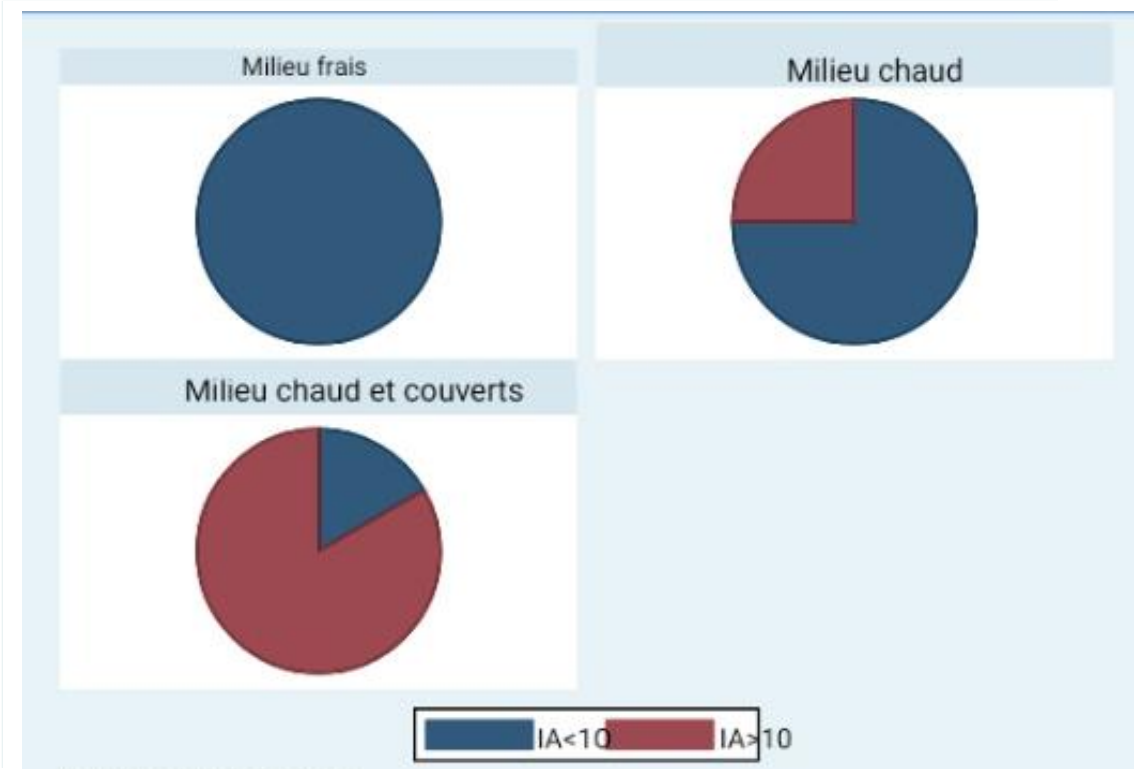


Figure 12. Graphique d'évolution de l'acidité selon les milieux de stockage pour les fruits stockes pendant 4 jours ;

Le milieu de stockage qui fait allusion à la température régnant dans l'endroit où les fruits ont été stockés influence fortement le dépassement de la valeur normale d'acidité pour les fruits stockés pendant quatre jours car le test de chi2 a montré que ce facteur est significatif (p-valeur<5%). Cette significativité vient confirmer les différences observées selon que les échantillons ont été conservés dans des endroits différents. En effet, les résultats montrent que76,92 % des échantillons ayant un indice d'acidité supérieure à 10 sont des échantillons provenant des fruits stockés à l'intérieur de la maison dans un endroit relativement chaud et couverts, 23,08% des échantillons ayant un indice d'acidité supérieure à 10 sont des échantillons provenant des fruits stockés à l'intérieur de la maison dans un endroit relativement chaud mais non couverts et tous les échantillons stockés dans un endroit frais ont des indices d'acidité qui sont inférieurs aux seuils limites. Ces chiffres montrent à quel point l'augmentation de la température régnant dans les fruits au cours du stockage impactent d'une manière significative dans l'augmentation de l'indice d'acidité. Même si le stockage des fruits pendant 4 jours ne favorise pas d'une manière générale le dépassement du seuil normal, certaines conditions de stockage peuvent être à l'origine de la production d'une huile de mauvaise qualité notamment la fermentation des fruits dans un endroit chaud. Comme évoqué précédemment (Tableau 4 et Tableau 5), Ces milieux chauds entraînent une accélération de l'activité des enzymes lipolytiques (Henderson et al.,1991 ;NgandoEbongue et al., 2006) ce qui provoquent une augmentation de la teneur en acides gras libres (Ali et al., 2015).

III.4. Évolution de l'acidité et du rendement (taux d'extraction) au cours du temps de stockage

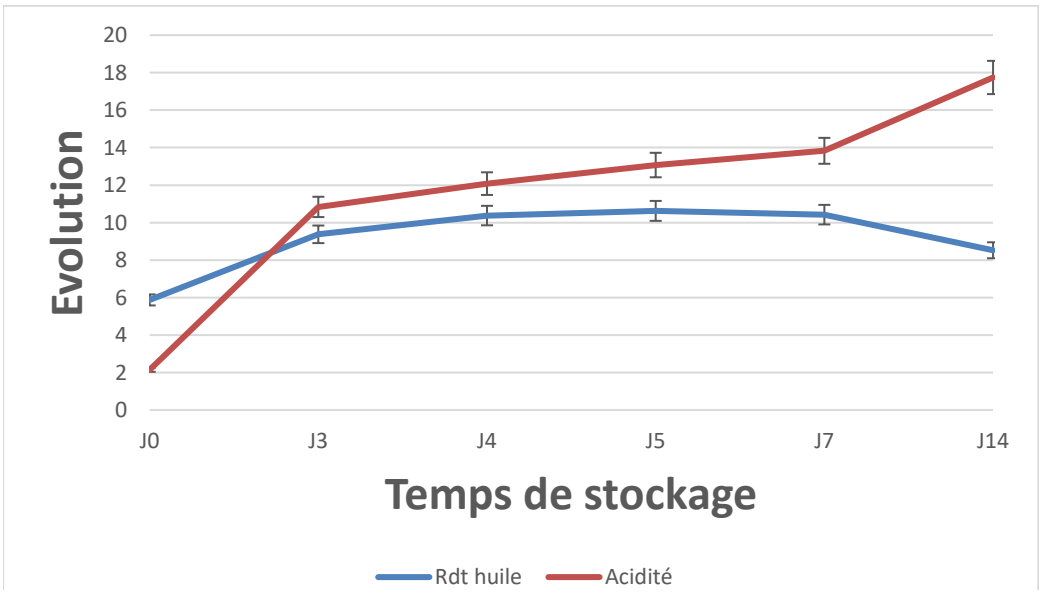


Figure 13. Évolution du rendement et de l'acidité au cours du temps de stockage

L'hydrolyse des triglycérides augmente au cours du temps de stockage ce qui est encore avec les résultats précédents (Tableaux 4 et 5). Le rendement en huile augmente aussi au cours du temps de stockage. Cependant, une baisse du rendement se remarque à partir dans les fruits stockes jusqu'à cinq jours. Cette diminution serait lie au pourrissement des fruits causée par la longue période de stockage des fruits ce qui provoque une baisse d'huile dans le mésocarpe du fruit.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES D'AVENIR

Nos résultats ont confirmé que l'huile de palme produite par les petits exploitants contient des acides gras libres à un niveau relativement élevé. L'acidité dans les différentes zones des communes Rumonge et Mutimbuzi varie de 9,2±1,7 mg de KOH/g d'huile à 15,5±3,7 mg de KOH/g d'huile. Cependant, il a été remarqué que l'huile de la commune Mutimbuzi est d'une manière générale de bonne qualité avec une acidité qui tourne autour de 9.612383 mg de KOH/g d'huile. Certains pratiques post-récolte mis en œuvre par les paysans favorisent la détérioration de l'huile de palme. Les résultats ont montré que le découpage des grappes en petits morceaux avant leur stockage, le stockage des grappes dans des endroits relativement chauds et les longues durées de stockage des grappes sont les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'acidification de l'huile de palme. L'acidité varie de 6,4± 2,6mg de KOH/g d'huile à 11,7 ± 3,3mg de KOH/g d'huile dans les fruits de la variété *tenera* et de 6,4± 2,8mg de KOH/g d'huile a 11,7 ±5mg de KOH/g d'huile dans les fruits de la variété dura pour une période de stockage de 3 et 14 jours respectivement. L'acidité des fruits découpés stockés dans des endroits chauds peut atteindre 17,7±1.7 mg de KOH/g d'huile. Les blessures infligées aux fruits lors du découpage et l'exposition de ces derniers à certaines températures favorisent l'hydrolyse des triglycérides en glycérides partiels et en acides gras libres par les lipases endogènes. A cela s'ajoute les lipases microbiennes produites par les champignons qui prolifèrent dans les fruits stockés dans des milieux chauds pendant de longues périodes. Cependant même si le stockage post-récolte des palmiers à huile est à déplorer du fait que l'huile de palme des palmiers stockés pendant un long moment est de mauvaise qualité, la fermentation des grappes améliore le taux d'extraction en huile. Le rendement en huile augmente au cours du temps de stockage pour atteindre le niveau maximal dans les fruits stockes jusqu'à 5 jours. Au cours du processus d'extraction artisanale de l'huile de palme à petite échelle, les grappes peuvent être conservées après la récolte pendant une courte période à température ambiante pour améliorer le rendement en huile tout en préservant la qualité nutritionnelle de l'huile. En effet, il a été démontré que l'huile provenant des fruits stockes jusqu'à 4 jours reste à un niveau d'acidité relativement bas. Toutes fois, les petits exploitants doivent abandonner certaines pratiques notamment le découpage des fruits avant leur stockage, l'exposition des fruits à certaines températures. Ces facteurs sont à l'origine d'une intense hydrolyse des triglycérides même pour les fruits stockes pendant une courte période.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abbas, H., Hiol, A., Valerie, V., Comeau, L. 2002. Isolation and characterization of an extracellular lipase from Mucorsp strain isolated from palm fruit. Enzyme and Microbial Technology. 31: 968–975.

2. Abigor, D., Opute, F., Opoku, A., Osagie, A. 1985. Partial purification and some properties of the lipase present. Oil palm (*Elaeis guineensis*) mesocarp. J Sci Food Agric .36: 599–606.

3. Adam, H., Jouannic, S., Escoute, J., Duval, Y., Verdeil, J.L., Tregear, J.W.2005. Reproductive developmental complexity in the African oil palm (*Elaeis guineensis*). American Journal of Botany. 92:1836–1852.

4. Alford, J., Pierce, D. 1961. Lipolytic activity of microorganisms at low and intermediate temperatures: Activity of microbial lipases at temperatures below 0 degree C. J Food Sci .26: 518–524.

5. Ali, F.S., Shamsudin, R., Yunus, R.2015.The effect of storage time of chopped oil palm fruit bunches on the palm oil quality. Agric. Agric. Sci. Procedia.2:165–172.

6. Alimentarius, 2015. Norme pour les huiles végétales portant un nom spécifique. CODEX STAN 210-1999. Adoptée en 1999. Amendement : 2005, 2011, 2013, 2015. Révision : 2001, 2003, 2009. Rome : FAO/OMS.

7. Anonyme2007. Oil World annual report 2006. ISTA Mielke GmbH., Hamburg. Rapporté le 10.08.2007 de www.oilworld.biz.

8. Babatunde, O.O., Ajibola, O.O., Ige, M.T. 1988. A modified process for low cost palm Oil Extraction. J Food Sci Technol. 25:2. 67-71.

9. Basyuni, M., Amri, N., Putri, L., Arifiyanto, D., Syahputra, I. 2017. Characteristics of fresh fruit bunch yield and the physicochemical qualities of palm oil during storage in North Sumatra, Indonesia. Indonesian J Chem .17: 182–90.

10. Berger, K.G. 1983. Problems in palm oil handling and storage. Proceedings of the Regional Workshop, Palm Oil Mill Technology and Effluent Treatment, 17-18 August 1982, Palm Oil Research Institute, Kuala Lumpur, Malaysia.112-118.

11. Bougma, K. 2008. Huile de palme rouge au Burkina Faso : Qualité et consommation par les femmes de la zone de production et impact sur leur statut en vitamine A. 190p. Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures et postdoctorales en vue de l'obtention du grade de Maître ès Sciences (M.Sc.) en nutrition, Université de Montréal.

12. Burton, R.1862.Voyage aux grands-lacs de l'Afrique orientale. Paris: Hachette.765 p.

13.Cadena, T., Prada, F., Perea, A., Romero, H.M.2013. Lipase activity, mesocarp oil content, and iodine value in oil palm fruits of *Elaeis guineensis, Elaeis oleifera*, and the interspecific hybrid O×G (*E. oleifera* × *E. guineensis*).

14. Carrere, R. 2010. Le palmier à huile en Afrique : le passé, le présent et le futur. Collection du WRM sur les plantations. n°15. 77 p.

15. Chevalier, A. 1925. La Maturation des Fruits du Palmier à huile. Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale. 5:42. 122-131

16. Chong C.L., 2000. Storage, handling and transportation of palm oil and palm oil products. In: Basiron Y., Jalani B.S. & Chan K.W., eds. Advances in oil palm research. Vol. 2. Kuala Lumpur: Malaysian Palm Oil Board, 806-844.

17. Chong, C., Sambanthamurthi, R. 1993. Effects of mesocarp bruising on the rate of free fatty-acid release in oil palm fruits.Int Biodeterior Biodegr 31: 65–70.

18. Corley, R.H.V., Tinker, P.B. 2003.The Oil Palm. 4th edition. Oxford, U.K: Blackwell Science Ltd.592 p.

19. Corley, R.H.V., Tinker, P.B. 2016. The oil palm. 5th ed. Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd.

20. Coursey, D. G. 1963.The deterioration of palm oil during storage. J. W. African Sci. Assoc. 7:101-114.

21. De Almeida, D.T., Nunes, I.L., Conde, P.L., Rosa, R.P.S., Rogério, W.F., Machado, E.R. 2013. A quality assessment of crude palm oil marketed in Bahia, Brazil. Grasas y Aceites. 64:4. 387-394.

22. Demol, J. 2002. Amélioration des plantes: Application aux principales espèces cultivées en région tropicales. Gembloux, Belgique: Presses agronomiques de Gembloux. 581 p.

23. Desassis, A. 1957. Palm oil acidification. Oléagineux. 12:525–534

24. Domonhedo, H., Cros, D., Nodichao, L., Billotte, N., Ahanhanzo, C. 2018.Reduction of acidity in mature oil palm (*Elaeis guineensis jacq.*) fruits: Stakes and oil quality improvement. A review Biotechnol Agron Soc Environ 22: 54–66.

25. Dransfield, J., Uhl, N.W., Asmussen, C.B., Baker, W.J., Harley, M.M., Lewis, C.E. 2008b. Genera palmarum: The evolution and classification of palms. Royal Botanic Gardens. Kew, UK.

26. Egloff, M.P., Ransac, S., Marguet, F., Rogalska, E., Tilbeurgh, V. T., Buono, G., Cambillau, C., Verger, R. 1995. Enzymes lipolytiques et lipolyse.2: 1. 52-67.

27. Fournier, S., Ay, P., Jannot, C., Okounlola-Biaou, A., Pédé, E. 2001. La transformation artisanale de l'huile de palme au Bénin et au Nigeria. Freie Universität, Berlin. CERNA, CIRAD. 139p.

28. Gabert, J., Ily, J.M., Le jeune, T., Oddo, S., Sauti, M. 2021. «Calcul de la taille d'un échantillon pour une enquête ». Memento de l'assainissement. Editions Quæ. Gret. P.713-715.

29. Gibon, V., De Greyt, W., Kellens, M. 2007. Palm oil refining.Eur J Lipid SciTechnol .109: 315–335.

30. Golden, J. 2006. SMART, Measuring Mortality, Nutritional Status and Food Security in Crisis Situations: SMART METHODOLOGY (version 1).

31. Gulla, S., Waghray, K. 2011. Effect of Storage on Physico-chemical Characteristics and Fatty Acid Composition of Selected Oil Blends. J Life Sci. 3:1.35-46.

32. Groupe spécial sur les produits de base de la CNUCED. 2016. Huile de palme. New York et Genève: INFOCOMM.

33. Hartley, C. W. S. 1977. The Oil Palm. Longman, London. 2. 692-780.

34. Hartley, C. W. S. 1988. The oil palm. third edition. Longman, UK. 683p.

35. Henderson, J., Osborne, D. 1991. Lipase activity in ripening and mature fruit of the oil palm – Stability in vivo and in vitro. Phytochemistry.30: 1073–1078.

36. Hiol, A., Jonzo, M.D., Rugani, N., Druet, D., Sarda, L., Comeau, L.C. 2000. Purification and characterization of an extracellular lipase from a thermophilic Rhizopus oryzae strain isolated from palm fruit. Enzyme Microb Technol. 26: 421–430.

37. Jacquemain, M., Fontaine, S. 1998. Méthodologie de l'enquête. Liège, Belgique : Institut des Sciences Humaines et Sociales. 263p.

38. Jacquemard J.-C., 1995. Le palmier à huile. Collection Le Technicien d'Agriculture Tropicale. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris, France.

39. Jacquemard, J.C. 2011. Le palmier à huile. Editions Quæ Gembloux, Belgique: Presses agronomiques de Gembloux.241p.

40. Kumaradevan, D., Chuah, K.H., Moey, L.K., Mohan, V., Wan, W.T.2015. Optimizing the operational parameters of a spherical sterilizer or the treatment of oil palm fresh fruit bunch, IOP Conf. Ser. Mat. Sci. Eng.88:1.012031.

41. Likeng-Li-Ngue, B.C., Bell, J.M., Ngando-Ebongue, G.F., Godswill, N.N., Ngalle, H.B. 2016. Genetic determinism of oil acidity among some DELI oil palm (*Elaeis guineensis Jacq.*) progenies. Afr J Biotechnol. 15:34. 1841-1845.

42. Maniragaba, M.2018. Filière huile de palme : Un potentiel de développement. In. BurundiEco.

43. Meyer, H. 1984. Les Barundi, traduction résumée de Chrétien J-P. Bujumbura: E.N.S. 77p.

44. Mohan, T.C.K., Mohankumar, C. 2004. Biochemical changes in the cellwall of oil palm fruit mesocarp (*Elaeis guineensis jacq.*) during development and post-harvest storage. J Food Sci Technol Mysore. 41: 191–193.

45.Mohankumar, C., Arumughan, C., Raj, R.K. 1990. Histological localization of oil palm fruit lipase. J Am Oil Chem Soc.67: 665–69.

46. Morcillo, F., Cros, D., Billotte, N., Ngando-Ebongue, G.-F., Domonhe´do, H., Pizot, M., Cue´llar, T., Espe´out, S., Dhouib, R., Bourgis, F., Clavero, S., Tranbarger, T.J., Nouy, B., Arondel, V.2013. Improving palm oil quality through identification and mapping of the lipase gene causing oil deterioration. Nature communications. 4:2160.

47. Nanda, D., Kansci, G., Rafflegeau, S., Bourlieu, C., Ngando Ebongue, G., Genot, C. 2020. Impact of post-harvest storage and freezing of palm fruits on the extraction yield and quality of African crude palm oil extracted in the laboratory. OCL Oilseeds and fats crops and lipids. 27-52.

48. NgandoEbongue, G. -F., Mpondo-Mpondo E. A., Ewane M. A. 2013. Some quality parameters of crude palm oil from major markets of Douala, Cameroon. African Journal of Food Science. 7:12. 473-478.

49. NgandoEbongue, G.F., Dhouib, R., Carriere, F., Zollo, P.H.A., Arondel, V. 2006. Assaying lipase activity from oil palm fruit (*Elaeis guineensis jacq.*) mesocarp. Plant Physiol Biochem.44: 611–617.

50.NgandoEbongue, G.F., Mpondo Mpondo, E.A., Dikotto Ekwe, E.L., Koona, P. 2011. Assessment of the quality of crude palm oil from smallholders in Cameroon. J Stored Prod Postharv Res. 52–58

51. Ngando Ebongue, G. - F., Koona, P., Nouy, B., Zok, S., Carrière, F., Amvam Zollo, P.-H., Arondel, V. 2008. Identification of oil palm breeding lines producing oils with low acid values. Eur J Lipid SciTechnol. 110: 505–509.

52. Ngiye, E.2015.La filière palmier à huile au Burundi: acteurs et territoires. Thèse de doctorat en géographie et aménagement, Université Toulouse-Jean jourès.

53.Odunfa, S.A. 1989. Bacteria involved in the deterioration of Nigerian palm oil under storage. International Biodeterioration Bulletin. 25:393-405.

54. Olalusi, P., Oni, P., Ajewole, P. 2017. Effect of some processing parameters on quality of palm oil. Int J Innov Sci Eng Technol. 4: 146–153.

55. Poku, K. 2002. Small.scale palm oil processing in Africa.Agriculture and Consumer Protection. FAO Agricultural Services Bulletin.148: 62.

56.Sambanthamurthi R., Oo, K., Parman, S. 1995. Factors affecting lipase activity in *Elaeis guineensis* mesocarp. Plant Physiol Biochem. 33:353-359.

57.Sambanthamurthi, R., Chong, C.L., Cheang, K., Huat, Y.K., Rajan, P. 1991. Chilling-induced Lipid Hydrolysis in the Oil Palm (*Elaeis guineensis*) Mesocarp. Journal of Experimental Botany. 42:242. 1199-1205.

58.Sambanthamurthi, R., Rajanaidu, N., HasnahParman, S. 2000b. Screening for lipase activity in the oil palm. Biochemical Society Transactions. 28:6. 769-770.

59.Sambanthamurthi, R., Sundram, K., Tan, Y.A. 2000a. Chemistry and biochemistry of palm oil. Progress in Lipid Research. 36:6. 507-558.

60.Siadjeu, C. 2012. Teneur en lipides neutres et composition en acides gras des graines du palmier à huile (*Elaeis guineensis Jacq.*) en cours de germination. 44p. Mémoire de Master en Biologie des Organismes Végétaux Option: Biotechnologies végétale, Université de Yaoundé I Faculté des sciences.

61.Tagoe, S. M.A. 2008. Effect of mycotoxigenic microorganisms on palm fruits and palm oil produced at the cottage industry level. Nottingham University, United Kingdom, PhD Thesis.

62. Tailliez, B., Bonny, C.P., Jaquemard, J.C., Siaka, C.M. 1993. Maturation of oil palm bunches and harvesting criteria at Palm industrie (Côte d'Ivoire). Oléagineux. 48:169–177.

63.Tombs, M.P., Stubbs, J.M. 1982. The Absence of Endogenous Lipase from Oil Palm Mesocarp. J. Sci. Food Agric. 33:892-897.

64. Voxco. 2021. Échantillonnage en grappes - Définition et exemples. In. Voxco.

ANNEXES

Annexe 1

Les valeurs brutes d'indice d'acidité (en mg de KOH/g d'huile) de la commune RUMONGE

ZONE	UNITE	INDICE D'ACIDE
ZONE RUMONGE	UNITE BIRIMBA 2	15,82
ZONE RUMONGE	UNITE DAMA 3	17,3
ZONE RUMONGE	UNITE MITONTO 3	10,99
ZONE RUMONGE	UNITE BIRIMBA CFP	11,68
ZONE RUMONGE	UNITE BIRIMBA 1	15,67
ZONE RUMONGE	UNITE DAMA 1	13,21
ZONE RUMONGE	UNITE BIRIMBA 3	11,02
ZONE RUMONGE	UNITE DAMA 2	10,67
ZONE RUMONGE	UNITE MITONTO 1	12,56
ZONE RUMONGE	UNITE MITONTO 2	17,01
ZONE KIZUKA	UNITE MUMBUGA 1	17,56
ZONE KIZUKA	UNITE KIZUKA	14
ZONE KIZUKA	UNITE KAGONGO	15,25
ZONE KIZUKA	UNITE MUNEKE 3	20,23
ZONE KIZUKA	UNITE MUNEKE 4	19,91
ZONE KIZUKA	UNITE MUNEKE 1	14,23
ZONE KIZUKA	UNITE MUNEKE 2	11,68
ZONE KIZUKA	UNITE MUMBUGA 2	9,76
ZONE KIZUKA	UNITE MUMBUGA 3	9,27
ZONE MINAGO	UNITE MINAGO 1	18,36
ZONE MINAGO	UNITE MINAGO 2	12,21
ZONE MINAGO	UNITE MINAGO 3	19,61
ZONE MINAGO	UNITE MTURIRWA 1	17,62
ZONE MINAGO	UNITE MTURIRWA 2	18,54
ZONE MINAGO	UNITE MTURIRWA 3	11,68
ZONE MINAGO	UNITE RUTUMO 1	15,96
ZONE MINAGO	UNITE RUTUMO 2	19,63
ZONE MINAGO	UNITE RUTUMO 3	9,79
ZONE MINAGO	UNITE MUHUZU 1	17,66
ZONE MINAGO	UNITE MUHUZU 2	10,44

ZONE GATETE	UNITE GATETE 1	12,53
ZONE GATETE	UNITE GATETE 2	10,62
ZONE GATETE	UNITE GATETE 3	9,98
ZONE GATETE	UNITE GATETE 4	10,87
ZONE GATETE	UNITE BUSEBWA 1	16,44
ZONE GATETE	UNITE BUSEBWA 2	18,01
ZONE GATETE	UNITE BUSEBWA 3	12,36
ZONE GATETE	UNITE BUSEBWA 4	11,64
ZONE GATETE	UNITE MUGARA 1	13,33
ZONE GATETE	UNITE MUGARA 2	8,95
ZONE GATETE	UNITE MUGARA 3	13,45
ZONE GATETE	UNITE MUGARA 4	10,06
ZONE GATETE	UNTE MTAMBARA 1	10,44
ZONE GATETE	UNTE MTAMBARA 2	11,68
ZONE KIGWENA	UNITE KIGWENA 1	12,4
ZONE KIGWENA	UNITE KIGWENA 2	11,62
ZONE KIGWENA	UNITE KIGWENA 3	17,69
ZONE KIGWENA	UNITE KIGWENA 4	14,22
ZONE KIGWENA	UNITE KIGWENA 5	9,68
ZONE KIGWENA	UNITE KIGWENA 6	10,09
ZONE KIGWENA	UNITE KIGWENA 7	13,94
ZONE KIGWENA	UNITE KIGWENA 8	16,67
ZONE KIGWENA	UNITE KIGWENA 9	16,03
ZONE KIGWENA	UNITE KIGWENA 10	11,29
ZONE KIGWENA	UNITE KIGWENA 11	10,68

Annexe 2

Les valeurs brutes d'indice d'acidité (en mg de KOH/g d'huile) de la commune MUTIMBUZI

ZONE	UNITE	INDICE D'ACIDE
Zone Rubirizi	Unité Nombe 1	8,36
Zone Rubirizi	Unité Nombe 2	7,92
Zone Rubirizi	Unité Cunyu 1	8,47
Zone Rubirizi	Unité Cunyu 2	9,89
Zone Rubirizi	Unité Cunyu 3	10,902
Zone Rubirizi	Unité Gahwama 1	9,29
Zone Rubirizi	Unité Gahwama 2	8,97
Zone Rubirizi	Unité Gahwama 3	6,39
Zone Rubirizi	Unité Kigoma 1	9,03
Zone Rubirizi	Unité Kigoma 2	7,786
Zone Rubirizi	Unité kigoma 3	8,997
Zone Rubirizi	Unité Nykabondo 1	7,029
Zone Rubirizi	Unité Nyakabndo 2	11,211
Zone Rubirizi	nité Kivoga 1	12,932
Zone Rubirizi	Unité Kivoga 2	10
Zone Rubirizi	Unité Kivoga 3	8,222
Zone Rubirizi	Unité Kivoga 4	8,009
Zone Rubirizi	Unité Kivoga 5	9,3
Zone Rubirizi	Unité Rubirizi 1	14,266
Zone Rubirizi	Unité Rubirizi 2	7,896
Zone Rubirizi	Unté Nyabnygeri 1	9,0376
Zone Rubirizi	Unté Nyabnygeri 2	8,492
Zone Rubirizi	Unté Nyabnygeri 3	9,1

Zone Rubirizi	Unté Nyabnygeri 4	10,025
Zone Maramvya	Unité Kirekura 1	8,628
Zone Maramvya	Unité Kirekura 2	12,92
Zone Maramvya	Unité Kirekura 3	13,001
Zone Maramvya	Unité Kirekura 4	9,27
Zone Maramvya	Unité Kirekura 5	8,908
Zone Maramvya	UNITE Bugoma 1	8,036
Zone Maramvya	UNITE Bugoma 2	13,923
Zone Maramvya	UNITE Bugoma 3	11,2
Zone Maramvya	Unité Bugoma 4	10,076
Zone Maramvya	Unité Mikangara 1	9,33
Zone Maramvya	Unité Mikangara 2	8,793
Zone Rukaramu	UNITE Rukaramu 1	9,001
Zone Rukaramu	UNITE Rukaramu 2	10,936
Zone Rukaramu	UNITE Rukaramu 3	7,294
Zone Rukaramu	UNITE Rukaramu 4	8,099
Zone Rukaramu	UNITE Rukaramu 5	9,876
Zone Rukaramu	UNITE Rukaramu 6	10,244
Zone Rukaramu	UNITE Rukaramu 7	12,03
Zone Gatumba	UNITE Gatumba 1	8,34
Zone Gatumba	UNITE Gatumba 2	13,277
Zone Gatumba	UNITE Gatumba 3	9,342
Zone Gatumba	UNITE Gatumba 4	8,121