

Valorisation technologique de la pulpe et de l'amande des fruits de *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. au Niger

[Technological valorization of the pulp and kernel of *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. in Niger]

Moussa Arohalassi Halidou¹, Mahamadou Elhadji Gounga², and Rayanatou Issa Ado³

¹École Doctorale Sciences, Ingénierie, Santé et Environnement (SISE), Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi (UDDM), BP: 465 A.D.S Maradi, Niger

²Département des Sciences et Techniques de Productions Végétales, Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, Niger

³Programme Alimentaire Mondial, Sous bureau Maradi, Niger

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The *Sclerocarya birrea* or Marula tree is a multipurpose forest species widespread in Africa and little studied in Niger. This study focused on the processing of its fruits in order to better contribute to its technological valorization. The samples were collected in two regions followed by their processing by extraction juice from pulp and oil from kernel before their physicochemical and biochemical characterization. The results showed that the Brix degree, the pH and the titratable acidity of the juice varied respectively from 8.40 ± 0.36 to 11.80 ± 0.20 °B; 2.55 ± 0.73 to 2.67 ± 0.66 and 7.77 ± 0.25 to $18.92 \pm 0.52\%$. The quality parameters of oil showed that the acidity index varied from 7.4 ± 0.01 to 18.71 ± 0.01 KOH/g; the saponification index from 275.34 ± 0.02 to 298.03 ± 0.01 mgKOH/g; the iodine index from 7.23 ± 0.02 to 22.96 ± 0.01 I₂/100g and the peroxide index from 0.16 ± 0.01 to 9.2 ± 0.00 meq O₂/kg. The fatty acid profile showed a richness in saturated, mono and polyunsaturated fatty acids with essential oils ω3, ω6, ω7 and ω9. The fruits of *S. birrea* thus demonstrate a great potential and a very rich and exploitable composition for several purposes and can be an alternative in contributing to the food and nutritional security of rural households.

KEYWORDS: *Sclerocarya birrea*, Valorisation, Transformation, Physico-chemistry, Fatty Acid, Food security and Nutrition, Niger.

RESUME: L'arbre de *Sclerocarya birrea* ou Marula est une espèce forestière aux usages multiples très répandue en Afrique et peu étudiée au Niger. Cette étude porte sur la transformation de ses fruits afin de mieux contribuer à sa valorisation technologique. Les échantillons ont été collectés au niveau de deux régions suivi de leurs transformation par extraction de jus de pulpe et d'huile d'amande avant de faire leur caractérisation physicochimique et biochimique au laboratoire. Les résultats ont montré que le degré Brix, le pH et l'acidité titrable du jus de pulpe ont varié respectivement de 8.40 ± 0.36 à 11.80 ± 0.20 °B; 2.55 ± 0.73 à 2.67 ± 0.66 et 7.77 ± 0.25 à 18.92 ± 0.52 %. Les indices de qualité des huiles extraites des amandes ont varié de 7.4 ± 0.01 à 18.71 ± 0.01 KOH/g pour l'indice d'acidité; 275.34 ± 0.02 à 298.03 ± 0.01 mgKOH/g pour l'indice de saponification; 7.23 ± 0.02 à 22.96 ± 0.01 I₂/100g pour l'indice d'iode et de 0.16 ± 0.01 à 9.2 ± 0.00 méq O₂/kg pour l'indice de peroxyde. Le profil des acides gras des huiles montre une richesse en acides gras saturés, mono et poly insaturés avec des ω3, ω6, ω7 et ω9. Les fruits de *S. birrea* démontrent ainsi une grande potentialité et une composition très riche et exploitable dans plusieurs domaines et peut être une alternative pour contribuer à la sécurité alimentaire et nutritionnelle des ménages ruraux.

MOTS-CLEFS: *Sclerocarya birrea*, Valorisation, Transformation, Physico-chimie, Acides Gras, Sécurité alimentaire et Nutritionnelle, Niger.

1 INTRODUCTION

Communément appelé le prunier d'Afrique, *Sclerocarya birrea* est une espèce forestière non ligneuse qui est largement présente sur la majeure partie du continent africain. On le trouve dans 29 pays, de l'Éthiopie au Sénégal et du Niger à l'Afrique du Sud. C'est une espèce très répandue dans les savanes sahélo-soudaniennes à soudaniennes (Arbonnier, 2009). Elle est également présente dans les régions arides et semi-arides, et se développe en particulier sur des sols sablo-limoneux et sur des versants rocailloux (Muok et al., 2011). Au Niger, l'espèce est rencontrée dans la bande méridionale du pays (Abdourhamane et al., 2017).

L'arbre et ses différentes parties sont très utilisés par les populations rurales de la plupart des pays dans lesquels il est présent. Ses fruits ont une teneur élevée en vitamine C et peuvent être consommés frais, sous forme de jus ou fermentés pour fabriquer des boissons alcoolisées. Ils peuvent aussi être transformés en confiture et en gelée, ce qui prolonge la durée de conservation, la disponibilité et la consommation au-delà des deux à trois mois que dure la saison de fructification. Les amandes sont riches en protéines (28-31 %), en huile (56-61 %), en magnésium, en phosphore et en potassium. Parmi les autres composants importants figurent des oligo-éléments et des vitamines comme le fer, le calcium, le cuivre, le zinc, la thiamine et l'acide nicotinique. Les amandes peuvent être mangées ou pressées pour en extraire de l'huile destinée à la cuisine ou à l'industrie cosmétique. Les fruits et les feuilles sont broutés par le bétail et ont une grande variété d'utilisations médicinales, tout comme l'écorce et les racines (Muok et al., 2011; Arohalassi et al., 2022).

Ainsi, l'espèce fournit différents avantages en économie domestique et donne des marchandises de plus en plus commercialisées. Les domaines d'utilisation les plus connus sont sur le plan alimentaire, nutritionnelle, sanitaire, sociale, cosmétique et pharmacologique (Gouwakinnou et al., 2011; Shackleton et al., 2001; Abdourhamane et al., 2015; Arohalassi et al., 2022). L'utilisation commerciale représente probablement plus de 600 tonnes de jus par an (Lisan, 2012).

Vue l'intérêt traditionnel important de l'espèce à travers pratiquement toute l'Afrique, il est nécessaire d'explorer la valorisation technologique de ses organes, notamment les fruits (pulpe et amande), particulièrement pour l'usage alimentaire.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal est essentiellement constitué de fruits mûrs à maturité collectés au niveau des peuplements naturels de *S. birrea* et de noix auprès des communautés rurales de deux régions du Niger. Celle de Maradi (centre-sud) et celle de Zinder (centre-est). Au total, (7) communes ont été concernées (Figure 1).

Les fruits et les noix ont ainsi été transportés au niveau de l'unité de transformation pour les travaux d'expérimentation à Zinder. Elle se situe dans les locaux de Sahara Sahel Food (SSF), une entreprise sociale de transformation alimentaire qui œuvre dans la valorisation des produits forestiers non ligneux. L'activité principale de l'entreprise est le commerce et la transformation des produits forestiers non ligneux parmi lesquelles, figure *Sclerocarya birrea*. Elle transforme les espèces indigènes (PFNL) pour l'alimentation humaine, animale mais également pour les vertus thérapeutiques de certaines plantes. L'entreprise collabore avec un réseau composé de cultivateurs familiaux et de nomades de la brousse des régions de Zinder, Diffa et Maradi.

Les produits transformés issus de ses fruits et amandes ont par la suite été transportés au laboratoire pour leurs caractérisations physicochimiques et biochimiques.

Les analyses physico-chimiques des jus de pulpe ont été réalisées au niveau du laboratoire de contrôle de qualité de la Générale d'Industrie et de Commerce (GIC), AKAKOS. Celles sur les analyses biochimiques des huiles ont été effectuées au niveau du Laboratoire de Chimie, Département d'Ingénierie Chimie, celles sur le profil des acides gras au niveau du Laboratoire de Biochimie, Département de Biochimie de l'Université Ahmadou Bello de Zaria.

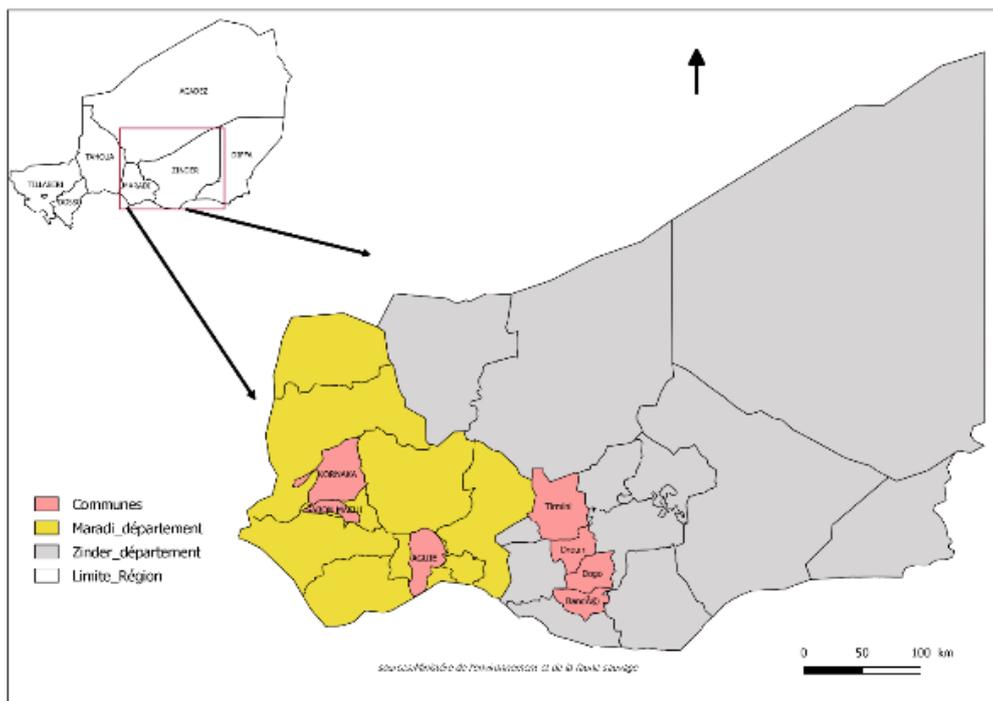


Fig. 1. Carte de localisation de la zone d'étude

2.1.1 TRANSFORMATION DES FRUITS DE SCLEROCARYA BIRREA MÛRS ET DES AMANDES

2.1.1.1 EXTRACTION DE JUS DE PULPE ET D'HUILE D'AMANDE

Les fruits collectés ont été pressés (extraction mécanique à froid) à l'aide d'une presse manuelle à vis selon le diagramme d'extraction ci-dessous (figure 2). Le jus de pulpe obtenu a été filtré, pour obtenir du jus sans impuretés, avant d'être mis en bouteilles de polyéthylène téréphtalate (PET) stérile puis congelé afin de limiter le processus de fermentation du sucre qu'il contient.

Pour extraire l'huile des amandes du fruit, plusieurs étapes ont été suivies (Figure 3). Les fruits sont d'abord déulpés manuellement pour obtenir les noix (Figure 3a) qui sont ensuite séchées au soleil. Cette étape est suivie du concassage des noix dures manuellement à l'aide d'un marteau afin d'obtenir les amandes (Figure 3b) qui seront par la suite triées pour éliminer celles qui sont pourries. Les amandes saines sont introduites dans une presse huile électrique à vis de marque YL-100 (Figure 3c). On obtient une huile dite de première pression. Le tourteau obtenu est retourné une deuxième fois dans la presse afin d'extraire les quantités résiduelles d'huile restantes. Enfin, le processus de décantation est entamé après cette opération. Elle consiste à laisser l'huile se reposer afin de séparer les particules solides (déchets) et l'huile pure. L'huile obtenue est alors filtrée pour éliminer les particules légères.

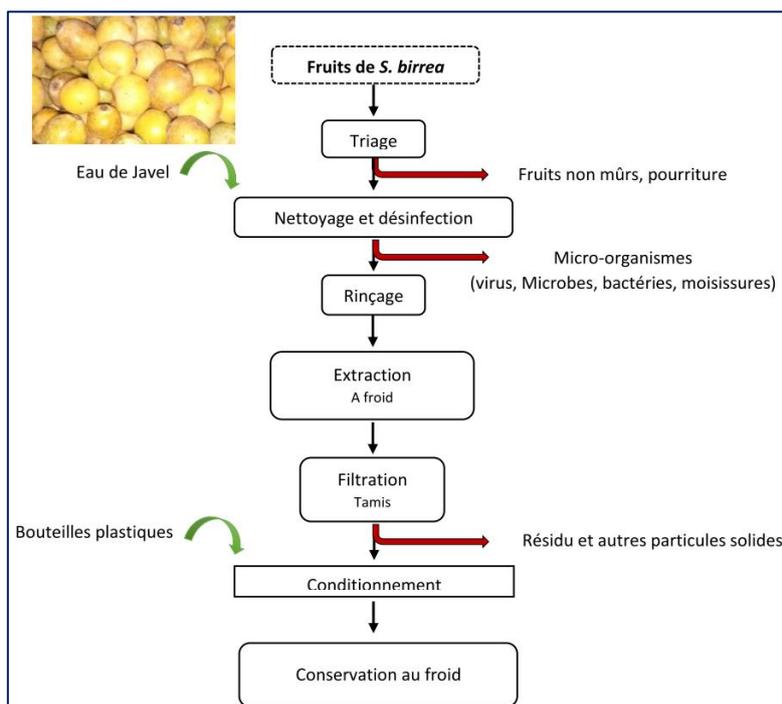


Fig. 2. Diagramme de fabrication du jus de pulpe



a. Noix obtenu après dépulpage b. Concassage manuel des noix c. Presse à vis sans fin

Fig. 3. Etape d'obtention des amandes et extraction d'huile

2.1.2 ANALYSE DES PARAMÈTRES PHYSICOCHIMIQUES ET BIOCHIMIQUES DES JUS DE PULPE

Pour ces analyses, ce sont les paramètres physico-chimiques de base qui ont été déterminés. Il s'agit de:

- **pH**, à l'aide d'un pH mètre de marque Hanna préalablement calibré avec des solutions tampons pH 4 et pH 7;
- **Acidité tirable**, selon (AFNOR, 1986) par titrage de 7 ml de jus avec une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0,01N en présence d'un indicateur coloré, phénophtaléine (3 gouttes) jusqu'à un virage au rose persistant pendant 30s;
- **Degré Brix**, selon (AFNOR, 1986) à l'aide d'un réfractomètre;
- **Teneur en eau (%) et la matière sèche** ont été déterminées par déshydratation de l'équivalent de 10 g d'échantillon de jus à l'étuve à 105 °C pendant une nuit (12 heures) selon les méthodes AOAC (1990);
- **Teneur en matières minérales** (cendres totaux), déterminée par incinération de la mouture de 5g d'échantillon dans un four à moufle à 550°C (600°C) pendant 6 heures (AOAC, 1990).

2.1.3 CARACTÉRISATION DES HUILES EXTRAITES DES NOIX DE S. BIRREA

2.1.3.1 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES HUILES DE L'AMANDE DE S. BIRREA

➤ Détermination de la densité

La densité relative à une température de 20 °C d'une huile ou d'une graisse est le quotient de la masse dans l'atmosphère d'un certain volume de cette huile ou à une température donnée par la masse du même volume d'eau à 20 °C. Le poids d'un volume donné de graisse liquide à la température souhaitée est déterminé dans un pycnomètre préalablement calibré à la même température (AOAC, 2000).

➤ Détermination de la viscosité

La viscosité est la résistance d'un fluide à l'écoulement due au frottement entre les molécules qui le composent. Dans cette étude, la viscosité des huiles a été déterminée en utilisant l'équipement gradué appelé viscosimètre Brookfield analogique dans lequel les huiles ont été écoulées chacune pendant 30 secondes. La distance parcourue par la bouillie représente la viscosité (fluidité) notée en centiPoise (cP) (AOAC, 2000).

➤ Détermination du pH

Le pH a été mesuré par la même méthode décrite en 2.1.2.

➤ Détermination de l'indice de réfraction

L'indice de réfraction des huiles a été mesuré à l'aide d'un réfractomètre à une température constante.

➤ Détermination de l'indice d'acidité

La mise en solution d'une prise d'essai dans un mélange de solvants, puis titrage des acides gras libres présents à l'aide d'une solution éthanolique d'hydroxyde de potassium (British Standards Institute n°684).

➤ Détermination de l'indice de saponification

L'échantillon est soumis à l'ébullition sous réfrigérant à reflux avec une solution éthanolique d'hydroxyde de potassium. L'excès d'hydroxyde de potassium est titré avec une solution aqueuse d'acide chlorhydrique (British Standards Institute, 1995).

➤ Détermination de l'indice d'iode

L'indice d'iode est mesuré par addition au corps gras, d'un excès de monochlorure d'iode ou réactif de Wijs dans un mélange d'acide acétique et cyclohexane. Après 15 mn, temps de réaction à l'obscurité, l'iode libéré dans un mélange d'iodure de potassium et d'eau est titré par une solution de thiosulfate de sodium (AOAC, 2000).

➤ Détermination de l'indice de peroxyde

C'est un traitement du corps gras en solution dans l'acide acétique et du chloroforme par une solution d'iodure de potassium. Ensuite, titrage de l'iode libéré par une solution titrée de thiosulfate de sodium (British Standards Institute n°684).

2.1.3.2 ANALYSE DU PROFILE EN ACIDE GRAS DES HUILES DE L'AMANDE DE S. BIRREA

Les acides gras méthylés sont passés dans un chromatographe en phase gazeuse (CG) équipé d'un détecteur à spectrométrie de masse (SM). Avant leur passage dans l'instrument, les échantillons ont subi une estérification. Les corps gras sont estérifiés en présence de méthanol.

Les esters méthyliques sont analysés par GC/MS sur un chromatographe AGILENT 78908 GC, équipé d'une colonne capillaire polaire et utilisant comme détecteur un spectromètre de masse AGILENT 5977 MSD à impact électronique.

2.1.4 ANALYSES STATISTIQUES

L'analyse statistique de nos résultats a été réalisée en utilisant l'analyse de la variance à un facteur (ANOVA) qui est la provenance, pour déterminer le seuil de significativité ($P < 0.05$) sur les paramètres physico-chimiques des jus à base de la pulpe de *S. birrea*. Les tests de normalité (Shapiro-Wilk) et d'homogénéité de la variance (tests de Batlett et Levene) ont été vérifiés sur les données avant de faire une comparaison multiples deux à deux des variables. Le logiciel R (Version 4.0.2) et Excel (2016) ont servi pour toutes les analyses.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS

3.1.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES DES JUS DE PULPE

Les résultats des analyses des jus obtenus (Figure 4) sont présentés comme suit:

La teneur en eau varie de 88 à 91.90 g/100g. Les jus provenant de Dogo ont enregistré les plus faibles valeurs. La teneur en cendres varie de 0.10 à 0.46 g/100g. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées pour les jus de fruits provenant de la région de Zinder (Tirmini, Dogo, Droum, Bandé). Le degré Brix varie de 8.40 à 11.80 avec un milieu très acide de pH variant de 2.55 à 2.67. L'acidité titrable du jus obtenue varie de 7.77 ± 0.25 à 18.92 ± 0.52 %.



Fig. 4. Jus de la pulpe de *Sclerocarya birrea* obtenus par extraction à froid

Enfin, les résultats d'analyse de la variance (Tableau 1) montrent des différences très hautement significatives ($p < 0,05$), de la composition physicochimique de base des jus formulés avec une influence selon la provenance.

Tableau 1. Analyses physico-chimiques du jus de pulpe de *S. birrea*

Provenance des Echantillons	Teneur en eau (g/100g)	Cendres (g/100g)	Degré Brix (°B)	pH	Acidité titrable (%)
Sabon Machi	90.30 ± 0.00^c	0.30 ± 0.00^a	11.60 ± 0.53^c	2.56 ± 0.64^a	8.33 ± 0.70^a
Dan Kada	91.34 ± 0.00^e	0.29 ± 0.01^a	9.76 ± 1.07^{ac}	2.55 ± 0.73^a	11.17 ± 2.89^{ab}
Dan Gado	88.68 ± 0.00^b	0.10 ± 0.02^{bc}	10.60 ± 1.21^{bc}	2.67 ± 0.66^a	9.87 ± 0.60^a
Tirmini	91.90 ± 0.00^g	0.38 ± 0.02^b	10.67 ± 1.04^{bc}	2.65 ± 1.13^a	18.92 ± 0.52^c
Dogo	88.45 ± 0.00^a	0.37 ± 0.01^b	8.86 ± 0.23^{ab}	2.65 ± 0.22^a	14.13 ± 1.02^b
Droum	91.45 ± 0.00^f	0.46 ± 0.00^d	11.80 ± 0.20^c	2.63 ± 0.58^a	9.30 ± 0.26^a
Bandé	90.52 ± 0.00^d	0.43 ± 0.01^{cd}	8.40 ± 0.36^a	2.60 ± 0.69^a	7.77 ± 0.25^a
p-value	$<2e-16^{***}$	$7.73e-10^{***}$	$5.46e-4^{***}$	1	$2.85e-7^{***}$

Lorsque pour une même colonne, les lettres en exposant sont identiques, les moyennes sont identiques au seuil de 0,05. Sinon, les moyennes sont significativement différentes au seuil de 0,05.

*=significatif; **=hautement significatif; ***=très hautement significatif

3.1.2 CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES HUILES D'AMANDE

❖ Densité

La densité relative à une température de 20 °C des huiles extraites d'amandes de *S. birrea* montre qu'elle est de 0.91 ± 0.00 pour tous les sites à l'exception de celui de Bandé qui enregistre une densité de 1.03 ± 0.00 . Les résultats sont présentés dans le tableau 2:

❖ Viscosité

Les résultats sur la viscosité des huiles sont présentés dans le tableau 2 Cette viscosité varie d'une huile à une autre avec un minimum de 8.7 cP pour le site de Droum (Zinder) et un maximum de 11.2 cP enregistré pour Sabon Machi (Maradi).

❖ pH

La mesure du pH des huiles révèle des milieux proches de la neutralité avec des moyennes variant entre 6.4 à 6.8. Les résultats sont présentés dans le tableau 2.

❖ Indice de réfraction

Les résultats obtenus sur l'indice de réfraction montrent qu'il varie de 1.133 ± 0.01 à 1.516 ± 0.58 (Tableau 2).

❖ Indice d'acidité

Ces résultats montrent une variation de l'indice d'acidité selon la provenance et une variation comprise entre [2,61-18,71] respectivement pour les sites de Dan Gado (Maradi) et Droum (Zinder). Cette dernière est très élevée. Les résultats de l'indice d'acide sont présentés dans le tableau 2.

❖ Indice de saponification

Les huiles extraites des amandes de fruits présentent un indice de saponification très élevé, avec une moyenne inférieure à 275.34 (Tableau 2).

❖ Indice d'iode

Les indices d'iode des huiles varient de 7.23 à 22.96 (Tableau 2).

❖ Indice de peroxyde

D'après les résultats, on peut remarquer que l'indice de peroxyde des huiles brutes varie significativement selon leur provenance. Elle varie de 0.16 ± 0.01 à 9.2 ± 0.00 Meq d'O₂/Kg d'huile (Tableau 2).

Le tableau ci-dessous présente les indicateurs de qualité des différents échantillons d'huiles extraites. L'analyse de variance de l'indice d'acidité des échantillons d'huiles d'amande a montré une différence significative ($p < 0,05$) entre les échantillons des différentes provenances. Pour ce qui est de l'indice de saponification et de l'indice d'iode, l'analyse de variance a montré une différence significative ($p < 0,05$) entre les échantillons des différentes provenances. En ce qui concerne les indices de peroxyde, on constate que les différences obtenues au niveau des huiles de Dan Gado et Tirmini ne sont pas significatives au seuil de 5%.

Tableau 2. Caractéristiques physico-chimiques des huiles extraites des amandes de *S. birrea* en fonction de la provenance

Provenance des Echantillons	Indice d'Acidité (mg KOH/g)	Indice de saponification (mg KOH/g)	Indice d'iode (g I ₂ /100g)	Indice de peroxyde (méq O ₂ /kg)
Sabon Machi	12.40 ± 0.01^d	298.03 ± 0.01^g	11.45 ± 0.02^c	0.59 ± 0.02^e
Dan Kada	5.7 ± 0.01^b	288.67 ± 0.02^f	22.96 ± 0.01^d	0.26 ± 0.01^{cd}
Dan Gado	2.61 ± 0.01^a	277.80 ± 0.01^b	9.11 ± 0.00^b	0.21 ± 0.01^{bc}
Tirmini	7.4 ± 0.01^c	281.84 ± 0.02^c	7.32 ± 0.02^{ab}	9.2 ± 0.00^{bc}
Dogo	12.40 ± 0.02^d	288.47 ± 0.03^e	12.08 ± 1.73^c	0.23 ± 0.03^d
Droum	18.71 ± 0.01^f	275.34 ± 0.02^a	9.10 ± 0.01^b	0.18 ± 0.01^{ab}
Bandé	14.39 ± 0.02^e	283.22 ± 0.02^d	7.23 ± 0.02^a	0.16 ± 0.01^a
P-value	<2e-16 ***	<2e-16 ***	7.4e-13 ***	3.31e-12 ***

a, b, c, d, e, f: sur une même ligne, une même lettre est attribuée aux valeurs ne présentant pas de différence statistiquement significative entre elles au risque $\alpha=0,05$; *=significatif; **=hautement significatif; ***=très hautement significatif

3.1.3 CARACTÉRISTIQUES BIOCHIMIQUES DES HUILES D'AMANDE DE *S. BIRREA* DES SITES ÉTUDIÉS

Les constituants biochimiques des huiles extraites des amandes des fruits ont été analysés. L'identification des esters méthyliques a été faite par comparaison des temps de rétention de chaque pic du chromatogramme avec ceux obtenus pour les étalons. Les résultats de cette analyse pour les 7 sites de la zone d'étude sont présentés ci-après:

❖ Profil en acides gras des huiles du site de Sabon Machi

L'analyse des huiles extraites révèle l'existence de 24 pics de détection dont les plus importants sont: Acide octadécatriénoïque 8.69%, Acide palmitique 8.27%, Acide oléique 8.31%, Acide stéarique 5.33%, Acide ricinoléique 1.12%, et Acide laurique 0.19%. Ces acides gras représentent 31.91% des acides gras totaux.

❖ Profil en acides gras des huiles du site de Dan Kada

L'analyse des huiles extraites révèle l'existence de 15 pics de détection dont les plus importants sont: Acide oléique (55.36%) qui représente la proportion la plus importante suivi d'Acide palmitique (14.2%), Acide octadécatriénoïque (12.9%), Acide arachidique (2.26%), Acide stéarique (2.08%) et Acide caprique (0.5%). Ces acides gras représentent 87.3% des acides gras totaux.

❖ Profil en acides gras des huiles du site de Dan Gado

L'analyse des huiles extraites révèle l'existence de 14 pics de détection dont les plus importants sont: Acide oléique (19.63%) qui représente la proportion la plus importante suivi de l'acide octadécatriénoïque (10.86%), d'acide ricinoléique (10%), Acide linoélaïdique (7.9%), Acide pentadécyclique (2.29%) et Acide stéarique (1.9%). Ces acides gras représentent (52.58%) des acides gras totaux.

❖ Profil en acides gras des huiles du site de Tirmini

L'analyse des huiles extraites révèle l'existence de 15 pics de détection dont les plus importants sont: Acide oléique (76.67%) qui représente la proportion la plus importante suivi Acide octadécatriénoïque (2.1%), Acide palmitique (1.3%), Acide stéarique (1.14%), Acide caprique (0.36%). Ces acides gras représentent 81.57% des acides gras totaux.

❖ Profil en acides gras des huiles du site de Dogo

L'analyse des huiles extraites révèle l'existence de 11 pics de détection dont les plus importants sont: Acide oléique (29.52%) qui représente la proportion la plus importante suivi de l'acide palmitoléique (19.32%), de l'Acide palmitique (18.07%), de l'Acide stéarique (7.58%), de l'Acide caproïque (6.84%) et de l'Acide trans-vaccénique (6.5%). Ces acides gras représentent 87.83% des acides gras totaux.

❖ Profil en acides gras des huiles du site de Droum

L'analyse des huiles extraites révèle l'existence de 16 pics de détection dont les plus importants sont: Acide oléique (41.77%) qui représente la proportion la plus importante suivi d'Acide octadécatriénoïque (13.47%), Acide palmitique (12.82%), Acide palmitoléique (9.65%), Acide trans-vaccénique (3.24%), Acide stéarique (2.71%). Ces acides gras représentent 83.66% des acides gras totaux.

❖ Profil en acides gras des huiles du site de Bande

L'analyse des huiles extraites révèle l'existence de 16 pics de détection dont les plus importants sont: Acide oléique (29.63%) qui représente la proportion la plus importante suivi de l'Acide trans-vaccénique (24.17%), Acide stéarique (23.67%), Acide octadécatriénoïque (5.09%), Acide palmitique (2.85%), Acide palmitique (2.85%) et Acide palmitoléique (0.71%). Ces acides gras représentent 88.08% des acides gras totaux.

3.1.4 DISCUSSION

La valorisation technologique des fruits de *Sclerocarya birrea* dans le cadre de cette étude a conduit à l'extraction du jus des pulpes en première étape. Ce dernier a fait l'objet d'une caractérisation pour plusieurs paramètres physico-chimiques.

La teneur en eau varie de 88 à 91.90 g/100g. Les jus provenant de Dogo ont enregistré les plus faibles valeurs. En général, la teneur en eau des jus de pulpe est de 90% en moyenne tel que rapporté par Braesco et al. (2013) dans une étude sur les jus de fruits et nectars en France. Nos valeurs sont légèrement supérieures à cette moyenne car selon la majorité des teneurs en eau obtenues dépasse 90%.

La teneur en cendres varie de 0.10 à 0.46 g/100g. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées pour les jus de fruits provenant de la région de Zinder (Tirmini, Dogo, Droum, Bande) et dépassent, pour la plus part, la teneur en cendres du jus d'orange qui est de 0.37% \pm 0.01 g/100g (Kelebek et al., 2009).

En ce qui concerne **le degré Brix**, il varie de 8.40 à 11.80, ce dernier possède la même valeur pour les jus d'orange mais inférieur par rapport au jus de mangue fraîche (18.2° B) rapporté par Zeid (1996). Ainsi, l'indice réfractométrique des jus permet d'évaluer rapidement

leur concentration en sucres solubles. Il mesure en effet la fraction de matière sèche soluble majoritairement composée de ces sucres solubles (Travers, 2004).

Le potentiel d'hydrogène est l'une des variables utilisées pour caractériser les propriétés des milieux. Relativement facile à mesurer, le pH est utilisé dans de nombreux domaines comme variable opératoire, caractérisant du produit fini ou encore à des fins de contrôle de qualité. De nombreuses études se sont attachées à corrélérer sa valeur à des lois cinétiques de réactions, des qualités organoleptiques du produit ou encore des activités enzymatiques (Boukhiar, 2009), le pH des extraits aqueux est mesuré pour permettre l'interprétation de certains résultats d'activité biologique (Amiour, 2009). De ce fait, les jus de pulpe de *S. birrea* de la présente étude un milieu très acide avec un pH variant de 2.55 à 2.67. Son acidité dépasse le pH des autres jus de fruits. A titre d'exemple, le pH du jus de pamplemousse est de $3,67 \pm 0,01$ (Cheong et al., 2012), jus d'orange $3,52 \pm 0,01$ (Esteve et al., 2005) et il varie entre 2,75 et 4,14 pour le jus de grenade (Radunic et al., 2015). Ce pH acide permet de préserver la boisson contre les altérations microbiologiques (Benaissa, 2011).

L'acidité titrable du jus de pulpe varie entre $7,77 \pm 0,25$ à $18,92 \pm 0,52$ %. Elle est très élevée par rapport aux autres types de jus. Celle du jus de pamplemousse est de l'ordre $0,94 \pm 0,02$ EAC (g/L) (Cheong et al., 2012), celle du jus de grenade est de $2,72 \pm 0,03$ EAC (g/L) (Vegara et al., 2014), celle du jus d'orange est de $7,8 \pm 0,30$ (Esteve et al., 2005) et pour le jus de citron elle a été de $52,40 \pm 2,50$ EAC (g/L) (Lorente et al., 2014) vu sa richesse en acide citrique, elle est largement supérieure à celle obtenue dans notre étude. L'acidité titrable est le support d'autres éléments contribuant au goût des fruits. Elle influe sur la sensation gustative chez le consommateur; elle est conférée par différents acides organiques libres ou combinés sous forme de sels. Ces acides jouent aussi un rôle de conservateur par l'abaissement du pH (Alavoine et al., 1988). D'après Gurak et al., (2010) une acidité élevée dans un jus est due à la présence d'acide citrique, tartrique, et malique. Ces acides assurent l'abaissement de la valeur de pH, assurant l'équilibre entre le goût acide et sucré. Ainsi, les jus de pulpe *S. birrea* obtenus dans le cadre de cette étude sont non seulement acides mais également très fermentescible. Cet acidité important pourrait également être causée par l'activité des enzymes présentes naturellement dans le jus (Coussin, 1948; Adjou, 2013). L'action de ses derniers libère certains acides et alcools lors de leurs activités dans les jus.

La seconde étape de cette valorisation technologique a conduit au concassage des noix des fruits ayant fait l'objet de l'extraction en jus. Les amandes obtenues ont fait l'objet de l'extraction d'huile de *Sclerocarya birrea*. Les analyses biochimiques ont permis de connaître les caractéristiques de cette huile.

Ainsi, en se référant aux valeurs de la densité "D20/20" données par Frappier et Gosselin (1999) des huiles végétales, on peut classer les huiles de cette étude comme suit: [0,899 - 0,914] Huile du palmiste; l'huile des amandes de *S. birrea* se retrouve dans cette catégorie. La même densité est obtenue pour toutes les huiles (0.91 g/l) exceptée celle provenant de Bandé qui est supérieur à 1. Les résultats obtenus dans cette étude concordent avec les données de l'INCI (2019) qui situent la densité (20°C) de l'huile biologique de *Sclerocarya birrea* pressée à froid entre 0.910 à 0.920.

Les résultats obtenus sur la variation de l'indice de réfraction des huiles extraites des amandes confirment leur appartenance au groupe des huiles végétales et que ces huiles sont très riches en acide oléique et linoléique (Adrian et al., 1998).

Les graisses et les huiles sont des macronutriments dont la composition varie. Il est essentiel pour l'industrie de connaître l'origine et la concentration de leurs principaux éléments. Les raffineries d'huiles dépendent par exemple d'un grand nombre d'huiles et graisses dont l'origine est différente, voire inconnue. Il est donc nécessaire de déterminer la composition du produit, et pour cela, on utilise les indices de réfraction ou valeurs butyro (AOAC 921.08, 1990).

Selon le Codex Alimentarius (2009), chaque huile a un indice de réfraction spécifique mesuré à une certaine température, ce qui permet de les différencier. Cet indice varierait en fonction de l'instauration des huiles (Ollé, 2002).

- Huile d'arachide: 1,460 – 1,465
- Huile de maïs: 1,465 – 1,468
- Huile de moutarde: 1,461 – 1,469
- Huile de sésame: 1,465 – 1,469
- Huile de soja: 1,466 – 1,470
- Huile de tournesol: 1,461 – 1,468
- Huile de palme: 1,458 – 1,460 (à 40 °C)

Selon les résultats obtenus, on remarque que les huiles extraites d'amandes ne se retrouvent dans aucune de ses catégories. En effet, les indices de réfractons obtenues varient de $1,516 \pm 0,58$ à $1,133 \pm 0,01$, en dehors des limites des intervalles des huiles conventionnelles. Cependant l'INCI (2009) situe l'indice de réfraction des huiles extraites des amandes de *S. birrea* entre 1.455 et 1.470. Ces valeurs sont supérieures aux résultats obtenus dans cette étude pour la majorité des huiles étudiées mais inférieures aux résultats obtenus à Bandé. Il est également à préciser que l'indice de réfraction est particulièrement utile car il renseigne sur l'état de dégradation d'une huile. En effet, la présence d'acides gras libres abaisse fortement l'indice de réfraction (Lion, 1955). Cela permet de déduire de la présence d'acides gras libre dans la plupart des huiles analysées, ce qui expliquerait des indices de réfraction bas.

L'indice d'acidité renseigne principalement sur l'altération des triglycérides à la suite d'une hydrolyse chimique ou enzymatique lorsqu'ils se trouvent dans les conditions propices (Adrian *et al.*, 1998). Les résultats obtenus montrent une variation de l'indice d'acide selon la provenance et une variation comprise entre 2,61-18,71 respectivement pour les sites de Dan Gado (Maradi) et Droum (Zinder). Cette dernière est très élevée. Les valeurs d'indice d'acide des huiles provenant de Sabon Machi, Tirmini, Dogo, Droum et Bandé dépassent largement la valeur limite, pour les huiles brutes, à 7,1 ce qui signifie qu'il y'a eu l'hydrolyse chimique ou enzymatique lors de l'extraction. Il est donc clair que ces huiles sont facilement hydrolysables et nécessitent une attention particulière lors de l'extraction, de la purification ou de leur conservation (Tchiégang *et al.*, 2003).

L'indice de saponification correspond au nombre de milligrammes de potassium nécessaire pour saponifier 1 gramme de matière grasse (Kartika., 2005). Les huiles extraites des amandes de fruits étudiées présentent un indice de saponification très élevé avec une moyenne inférieure à 275.34. Cette valeur est également supérieure à l'indice de saponification des huiles usuelles, telle que l'huile d'olive (184-196), l'huile de maïs (187-195) et l'huile du tournesol (188-194) (Kartika., 2005). Elle est également supérieure à l'intervalle d'indice de saponification donnée par l'INCI en 2019 sur les huiles biologiques de *S. birrea* qui se situent entre 188 et 196 mg KOH/g. Omeje *et al.* (2019) ont également retrouvé une valeur de l'ordre de 123.3 mg/KOH/g pour l'indice de saponification des huiles extraites d'amande de *S. birrea* dans une étude au Nigeria.

L'indice d'iode permet de mesurer globalement le degré d'insaturation des acides gras constituant la matière grasse. Les indices d'iode des huiles étudiées varient de 7.23 à 22.96, valeurs très faibles comparativement à celles des huiles végétales usuelles telles que l'huile de maïs (103-195), l'huile de sésame (104-120) et l'huile de tournesol (118-141). Ces résultats nous permettent de dire que les huiles extraites des amandes sont très saturées, et moins sensibles à l'oxydation que les huiles végétales usuelles.

D'après les résultats de cette étude, on peut remarquer que l'indice de peroxyde des huiles brutes varie significativement selon leur provenance. Ces valeurs sont inférieures à 10 Meq d'O₂/Kg d'huile, teneur maximale pour les huiles brutes (Fuhrer., 2005). De ces résultats, on peut déduire que les huiles brutes de *S. birrea* n'ont pas subi d'oxydation, ce qui a permis d'éviter la formation des peroxydes et des hydro peroxydes responsables de l'altération des lipides.

L'analyse du profil des acides gras montre que l'huile extraite des amandes de *S. birrea* est caractérisée par la présence d'acides gras saturés et insaturés. Les acides gras saturés sont composés d'acide palmitique (C16: 1), acide stéarique (C18: 0), acide laurique (C12: 0), acide caprique (C12: 0), acide arachidique (C20: 0), acide pentadécyclique (C15: 0) et acide carproïque (C6: 0). Les teneurs de ces acides gras saturés varient selon la provenance des huiles. L'acide palmitique contient des teneurs allant de 1.3 à 18% selon le site, celles de l'acide stéarique vont de 1.14 à 23.7%. Les teneurs des autres acides gras saturés tournent entre 0.2 à 6.84% selon le site de provenance des huiles.

L'acide laurique (C12: 0) est l'un des trois acides gras saturés les plus fréquemment rencontrés à l'état naturel avec l'acide palmitique (C16: 0) et l'acide stéarique (C18: 0) (Cuvelier *et al.*, 2004). L'acide palmitique est l'acide gras saturé le plus abondant; il est présent dans pratiquement toutes les graisses végétales et animales, y compris au sein du tissu graisseux des animaux marins (minimum 5 %). C'est un constituant majeur du saindoux et du suif (23 %) (Sreenivasan, 1968), de l'huile de palmiste (44 %) (National Research Council, 2001) et du beurre de cacao (25 %). L'acide stéarique est également largement distribué, tant dans le règne végétal que dans le règne animal. La plupart des huiles végétales en contiennent de 1 à 5 %, le beurre de cacao 35 %, tandis que le saindoux et le suif en contiennent respectivement 13 % (Iverson *et al.*, 1965) et 17 % (Sreenivasan, 1968).

Les acides gras saturés ne comportent aucune double liaison entre les atomes de carbone. Ils sont désignés soit par leur nom usuel en rapport avec leur origine (Acide butyrique extrait de beurre, acide palmitique extrait de la palme), soit par la nomenclature officielle des acides carboxyliques (Malti, 2015). Ainsi, Les acides gras saturés peuvent avoir un grand nombre de conformations possibles. En effet, chaque liaison chimique du squelette étant simple, elle a tout pouvoir de rotation. La chaîne hydrocarbonée est donc flexible. La conformation en extension totale étant celle nécessitant le moins d'énergie, il est probable qu'elle soit aussi la plus fréquente (Lehninger, 1975). Cette richesse en acide palmitique permettrait d'envisager pour cette huile une utilisation courante dans l'industrie agro-alimentaire pour la fabrication des produits en biscuiterie, sous l'appellation "Matière grasse végétale" (Bertin., 2002.).

Le point de fusion des acides gras augmente avec la longueur de la chaîne carbonée. Ainsi, les acides gras à courte chaîne sont liquides à température ambiante, alors que les acides gras pourvus de 10 atomes de carbone ou plus sont solides (Cuvelier *et al.*, 2004).

Les acides gras insaturés des huiles extraites des amandes de *S. birrea* sont les composés majoritaires des huiles analysés. Elles comprennent l'acide oléique avec des proportions variantes de 8.3 à 76.7% en fonction du site de provenance, de l'acide octadécatriénoïque avec des proportions allant de 2.1 à 13.5% selon le site suivi des acides ricinoléique, trans-vaccénique et palmitoléique avec des proportions allant respectivement de 1.1 à 10%, de 3.24 à 24.2 et de 0.71 à 19.3% selon le site de provenance.

Les acides gras insaturés comportent une ou plusieurs doubles liaisons entre les carbones de leurs chaînes. Ils peuvent contenir entre 1 et 6 doubles liaisons et sont dits, selon le cas, mono-insaturés ou polyinsaturés. A titre d'exemple, il est fréquent de rencontrer les acides gras insaturés suivants en C18: Acide oléique C18: 1, Acide linoléique C18: 2, Acide linoléique C18: 3. Ainsi les huiles extraites des

amandes de *S. birrea* sont constituées de ces acides gras insaturés mais dans des proportions très différentes selon le site. Cette variation pourrait être due aux caractéristiques pédo-climatiques des zones dont sont issues les huiles (Praca, 2006). La prédominance des acides gras insaturés confère à ces huiles des actions hypocholestérolémiantes et antiathérogènes (Armond, 1998). Avec un taux élevé, l'acide oléique est bien représenté dans cette huile, ce qui permet la régulation du cholestérol (Bertin, 2002).

Les huiles analysées sont particulièrement riches en acides gras polyinsaturés de type oméga-3, oméga-6, oméga-7 et oméga-9. Les Oméga 6 participent à l'élaboration d'acides gras hautement insaturés et d'eicosanoïdes, ils jouent un rôle important au niveau du système nerveux, de l'équilibre cardiovasculaire, de l'immunité, de la guérison des blessures et des réactions allergiques et inflammatoires (Grondin *et al.*, 2002).

Les acides gras contenant 1, 2 ou 3 doubles liaisons et 18 atomes de carbone constituent les acides gras insaturés les plus importants du monde végétal et du monde animal terrestre. Ceux qui contiennent 4 ou plus de doubles liaisons et de 20 à 24 atomes de carbone se rencontrent principalement dans les huiles marines. Parmi les acides gras mono insaturés, l'acide palmitoléique (C16: 1 (9)) est largement représenté, tout comme l'acide oléique (C18: 1 (9)), mais il est présent en quantités bien moins importantes que ce dernier. L'acide palmitoléique est un constituant de presque toutes les catégories de plantes et d'animaux, des espèces les plus évoluées aux moins évoluées. Les huiles d'animaux marins en contiennent généralement de 15 à 20 %, les huiles de poissons entre 8 et 15 % (Sonntag, 1979a), tandis que la matière grasse du lait en contient 1,5 % (Jenkins, 1998). La plupart des huiles issues des graines ont des teneurs inférieures à 1 %, à l'exception de l'huile d'olive (1,6 %) (Sonntag, 1979a). L'acide oléique est l'acide gras le plus distribué de tous; il se rencontre dans presque toutes les graisses végétales et animales et peut représenter plus de 50 % des acides gras totaux. Des sources importantes d'acide oléique sont l'huile d'olive (65 à 85 %) (Sonntag, 1979c), l'huile d'arachide (45 %) (National Research Council, 2001) et l'huile de pécan (85 %) (Sonntag, 1979a). Peu de graisses contiennent moins de 10 % d'acide oléique. L'acide trans vaccénique (C18: 1 (trans 11)) et l'acide élaïdique (C18: 1 (trans 9)) ne se rencontrent pas dans les graisses d'origine végétale, mais constitueraient entre 5 et 10 % de la graisse de bœuf (Sonntag, 1979a).

Les acides gras polyinsaturés les plus importants et les plus répandus sont l'acide linoléique (C18: 2 (9,12)) et l'acide α -linoléique (C18: 3 (9, 12, 15)). Ils appartiennent respectivement à la famille des oméga-3 et des oméga-6. L'acide linoléique est l'acide gras polyinsaturé le plus distribué et le plus abondant. Il est également un acide gras essentiel. Présent dans les huiles végétales, sa teneur moyenne varie: 40 % dans l'huile de tournesol, 52 % dans l'huile de coton, 51 % dans l'huile de soja, 58 % dans l'huile de maïs, 41 % dans l'huile de sésame (National Research Council, 2001). L'acide α -linoléique est également largement rencontré dans la nature, surtout comme composant majeur des huiles végétales hautement insaturées.

Les huiles extraites des amandes de *S. birrea* disposent d'une qualité unique et d'une richesse énorme en acides gras. Elles sont conformes à la composition en acide gras donnée par l'INCI (2019) à l'exception de l'acide myristique non décelée par nos analyses. Néanmoins, les applications de l'huile, compte tenu de sa richesse, peuvent être dans les domaines de la cosmétique, dans la formulation de produits tel que produits pour le bain, préparation pour le corps et les mains, produit de nettoyage, de maquillage, du vernis, soins de la peau et des cheveux. Les applications dans le domaine alimentaire offrent également plusieurs possibilités.

4 CONCLUSION

Les travaux de recherche ont démontré que l'espèce de *Sclerocarya birrea* possède des potentialités remarquables tant au point de vue alimentaire que cosmétique. Les expérimentations effectuées démontrent que les fruits se prêtent à la transformation grâce à la pulpe sucrée qui donne un jus avec des bonnes caractéristiques sur le plan physico-chimique et une composition nutritionnelle qui n'a rien à envier aux jus de fruits ordinaires. Ce jus procure de l'énergie (calories), des minéraux et certainement des vitamines. L'huile des amandes est fine et peut avoir des utilisations dans les domaines alimentaires, cosmétiques et pharmacologiques certaines avec sa composition en acide gras surtout insaturés. Les fruits de *S. birrea* peuvent apporter des nutriments à l'organisme de la même manière que les fruits conventionnels. Cependant, il n'existe pas encore au Niger des procédés d'extraction efficace du jus des pulpes car faible par rapport au poids du fruit mais également l'obtention des amandes par le concassage qui demeure pénible à cause de la dureté de la noix qui ne possède pas encore de concasseur fiable pour son obtention facile.

REFERENCES

- [1] Abdourahmane H., Rabiou H., Diouf A., Morou B., Mahamane A. et Bellefontaine R., 2017. Structure démographique et répartition spatiale des populations de *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. Du secteur Sahélien du Niger. Bois et Forêts des Tropiques, 333 (3): 55-66.
- [2] Abdourahmane H., Morou B., Larwanou M., Mahamane A., Saadou M., Bellefontaine R., 2015. Uses and preferences of woody species in two protected forests of Dan Kada Dodo and Dan Gado in Niger. Journal of Horticulture and Forestry, 7 (6): 149-159.

- [3] Adjou E. S., Amamion H., Tchobo F. P., Aissi V. M. et Soumanou M. M., 2013. Extraction assistée par enzyme du jus de la pulpe fraîche du rônier (*Borassus aethiopum* Mart.) acclimaté au Bénin: caractérisation physico-chimique et microbiologique. *Iny. J. Biol. Chem. Sci.* 7 (3): 1135-1146.
- [4] Adrian J., Potus J., Poiffait A., Dauvillier P., 1998. Introduction à l'analyse nutritionnelle des denrées alimentaires. Techniques & documentation- Lavoisier: P 47-53.
- [5] AFNOR, 1986. Recueil des normes françaises afnor. Ed. Paris-La Défense, 474 p: ill, ISBN: 2-12-177521-8 (Br.): 380 F.
- [6] Alavoine F., Crochon M., Fady C. Jean Fallot., 1988. La qualité gustative des fruits, méthodes pratiques, d'analyse, Méthodes pratiques d'analyses. PP: 7-18.
- [7] Amiour, S.D., 2009. Etude quantitative des composés phénoliques des extraits de trois variétés de dattes (*Phoenix dactylifera* L.) et évaluation in vitro de leur activité biologique.
- [8] AOAC, 1990. Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, 15 th. Edition, Washington D.C.
- [9] Arbonnier M., 2002. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. MNHN, Éditions Quæ, 576 p.
- [10] Armond M., 1998. Digestion et absorption des lipides: acquisitions récentes. *Act. Méd. Int. Métabolismes- Hormones- Nutrition*, 2: 14-18.
- [11] Arohalassi HM, Elhadji Gounga M, Issa Ado R., 2022. Caractérisation socio-économique et identification des usages de *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. au Niger, *Journal of Applied Biosciences* 174: 18113 – 18123, ISSN 1997-5902. DOI: <https://doi.org/10.35759/JABs.174.7>.
- [12] Benaissa A., 2011. Etude de la qualité microbiologique des viandes camelines et ovines conservées selon différents modes. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Biologie, Option Microbiologie Appliquée, Université Kasdi Merbah Ouargla, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Département des Sciences de la Nature et de la Vie, 61p. Bertin., 2002.
- [13] Boukhiar., 2009. Analyse du processus traditionnel d'obtention du vinaigre de dattes tel qu'appliqué au sud algérien: essai d'optimisation. Thèse de magistère. LRTA. Université Boumerdes. p 65.
- [14] Braesco V., Gauthier T., Bellisle F., 2013. Jus de fruits et nectars. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, Volume 48, Issue 5, Pages 248-256.
- [15] Cheong M.W., Liua S.Q., Zhoua W., Curranb P., YU B., 2012. Chemical composition and sensory profile of pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) juice. *Food Chemistry*, 135, 2505–2513.
- [16] Codex Alimentarius., 2009. Normes alimentaires Internationales pour les huiles végétales portant un nom spécifique CODEX STAN 210-1999. Adoptée en 1999. Amendement: 2005, 2011, 2013, 2015. Révision: 2001, 2003, 2009.
- [17] Coussin S., 1948. Les Jus de fruits. I.F.A.C, Fruits d'Outre-Mer, Vol. 3, n°3, 2p.
- [18] Cuvelier C., Cabaraux J.-F., Dufrasne I., Hornick J.-L., and Istasse L., 2004. Acides gras: nomenclature et sources alimentaires.
- [19] Esteve M.J., Frigola A., Rodrigo C., 2005. Effect of storage period under variable conditions on the chemical and physical composition and colour of Spanish refrigerated orange juices. *Food and Chemical Toxicology*, 43, 1413–1422.
- [20] Frappier R et Gosselin D., 1999. Le guide des bons gras. Ed. Maxam. ISBN 10: 2980111554 ISBN 13: 9782980111556. *Food Chem*,; 66: 1–14.
- [21] Gouwakinnou GN, Lykke AM, Assogbadjo AE, Sinsin B., 2011. Local knowledge, pattern and diversity of use of *Sclerocarya birrea*. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 7 (8). DOI: <https://doi.org/10.1186/1746-4269-7-8>.
- [22] Grondin I., Smadja J., Armougon R., 2002. Fiche technique: les triacylglycérols des huiles des graines de Cucurbitacées tropicales des genres lagenaria et Liffa. *Oléagineux, corps gras, lipides*, 9 (2): 169-173.
- [23] Gurak, Poliana & Cabral, Lourdes & Rocha-Leão, Maria Helena & Matta, Virginia & Freitas, Suely., 2010. Quality evaluation of grape juice concentrated by reverse osmosis. *Journal of Food Engineering - J FOOD ENG.* 96. 421-426. 10.1016/j.jfoodeng.2009.08.024.
- [24] Iverson, J.L., Eisner, J. & Firestone, D., (1965). Detection of trace fatty acids in fats and oils by urea fractionation and gas-liquid chromatography. *J Am Oil Chem Soc* 42, 1063–1068. <https://doi.org/10.1007/BF02636908>.
- [25] Kartika I.K., 2005. Nouveau procédé de fractionnement des graines de tournesol: expression et extraction en extrudeur bi-vis, purification par ultrafiltration de l'huile de tournesol. Thèse de Doctorat. Institut polytechnique de Toulouse, 333p.
- [26] Kelebek H., Selli S., Canbas A., Cabaroglu T., 2009. HPLC determination of organic acids, sugars, phenolic compositions and antioxidant capacity of orange juice and orange wine made from a Turkish cv. Kozan. *Microchemical Journal*, 91, 187-192.
- [27] Lehninger A, 1975. *Biochemistry* 2nd Ed. Worth & Co. Publ. New York N.Y., 846.
- [28] Lorente, J., Vegara, S., Martí, N., Ibarz, A., Coll, L., Hernández, J.,... & Saura, D., 2014. Chemical guide parameters for Spanish lemon (*Citrus Limon* (L.) Burm.) Juices. *Food chemistry*, 162, 186-191.
- [29] Muok BO, Khumalo GS, Tadesse W, Alem SH., 2011. *Sclerocarya birrea*, prunier d'Afrique: Conservation et utilisation durable des ressources génétiques des espèces ligneuses alimentaires prioritaires de l'Afrique subsaharienne, Bioersivity International, Rome.: 12.
- [30] National Research Council, 2008. *Lost Crops of Africa: Volume III: Fruits*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11879>.

- [31] Omeje, K. O., Iroha, O. K., Edeke, A. A., Omeje, H. C., & Apeh, V. O., 2019. Characterization and fatty acid profile analysis of oil extracted from unexploited seed of African star apple (Udara). *OCL*, 26, 10.
- [32] Radunic M., Spika M.J., Goreta Ban S., Gadze J., Díaz-Pérez J.C., Maclean D., 2015. Physical and chemical properties of pomegranate fruit accessions from Croatia. *Food Chemistry*, 177, 53–60.
- [33] Shackleton, S., Sullivan, C., Cunningham, T., Leakey, R., Laird, S., Lombard, C., 2001. An overview of current knowledge on *Sclerocarya bierra* (A. Rich.) Hochst. subsp. *caffra* (Sond.) Kokwaro with particular reference to its importance as a non-timber forest product (NTFP) in southern Africa. 56pp. CEH, Rhodes University, CSIR, CRIAA SA-DC, INR, Ethnoecology Services. UK, South Africa, Namibia. www.ceh-wallingford.ac.uk/research/winners. [Internal report], [Paper]. [Practitioners, Researchers]. (C).
- [34] Sonntag, N. O. V., 1979. New developments in the fatty acid industry. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 56 (11), 861A-864A.
- [35] Sreenivasan, B., 1968. Component fatty acids and composition of some oils and fats. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 45 (4), 259-265.
- [36] Tchiégang, C., Oum, M. N., Dandjouma, A. A., & Kapseu, C., 2004. Qualité et stabilité de l'huile extraite par pressage des amandes de Ricinodendron heudelotii (Bail.) Pierre ex Pax pendant la conservation à température ambiante. *Journal of food engineering*, 62 (1), 69-77.
- [37] Travers I., 2004. Influence des conditions pédoclimatiques du terroir sur le comportement du pommier et la composition des pommes à cidre dans le Pays d'Auge. Thèse de Doctorat. Université de Caen. Basse-Normandie. PP124.
- [38] Vegara, S., Martí, N., Lorente, J., Coll, L., Streitenberger, S., Valero, M., & Saura, D., 2014. Chemical guide parameters for Punica granatum cv. 'Mollar' fruit juices processed at industrial scale. *Food chemistry*, 147, 203-208.