

REPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE

Union - Discipline - Travail

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



Institut National Polytechnique

Félix HOUPHOUËT-BOIGNY



THESE DE DOCTORAT

Présentée pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE FELIX HOUPHOUËT-
BOIGNY

Spécialité : SCIENCES AGRONOMIQUES ET GENIE RURAL

Option: Zootechnie et Productions Animales

par TIHO Tagouèlbè

VALORISATION DE LA PULPE DU FRUIT MÛR DE *BORASSUS AETHIOPUM*
EN AVICULTURE

Soutenue publiquement le 24 Mai 2019 devant le jury composé de :

ZEZE Adolphe	Professeur Titulaire, INP-HB	Président
ADIMA Amissa Augustin	Maître de Conférences, INP-HB	Co-Directeur de thèse
BROU Yao Casimir	Maître de Conférences, INP-HB	Co-Directeur de thèse
NEUBA Danho Fursy-Rodelec	Maître de Conférences, UNA	Rapporteur
BIEGO Godi Henri Marius	Maître de Conférences, UFHB	Rapporteur
KIMSE Moussa	Maître de Conférences, UNA	Examineur

RESUME

Les objectifs du travail étaient de déterminer la valeur nutritive de la pulpe séchée des fruits mûrs du rônier (*Borassus aethiopum*), d'évaluer son effet sur les performances des poulets de chair (*Gallus gallus domesticus*, souche Cobb 500) et la coloration du jaune de l'œuf, et finalement d'évaluer son impact sur la qualité nutritive des produits issus. Ainsi, des fruits mûrs ont été ramassés, triés, pesés, épluchés et éclatés en leurs différents composants dont la peau, la pulpe et les graines. Ensuite, la pulpe a été séchée à 40, 50, 60, 70 et 80°C et les valeurs nutritives correspondantes ont été étudiées. Trois solvants dont l'eau distillée, une solution aqueuse de 70% d'acétone et une autre de 70% de méthanol ont été couplés avec 2 modes d'extraction dont la macération et la décoction. Au premier essai, un aliment test (T1) a été formulé avec 20% de la pulpe séchée à 70°C. Son effet sur les performances des poulets de chair a été comparé à celui d'un aliment témoin (T0). Au second test, la pulpe séchée a été incorporée à 10 et 20% dans 2 régimes de poules pondeuses à base de maïs blanc. L'effet de la pulpe a été comparé à ceux de 2 régimes dont 1 témoin à base de maïs jaune et l'autre à base de maïs blanc. En résultats, les fruits ont pesé en moyenne 1496,02 g et contenaient 516,73 et 677,82 g de pulpe et graines, respectivement. Au regard des analyses, de la couleur des poudres et le temps de séchage, 70°C a été retenue. Le taux de matières grasses a été de 8,89% ; celui des protéines de 8,84% ; celui des sucres réducteurs de 5,02%, et l'énergie métabolisable a été de 3667,03 kcal/kg (MS). L'analyse du profil en acides gras a révélé 77,67% d'insaturés dont 67,59% monoinsaturés. Le ratio $\omega 6/\omega 3$ a été de 0,38. Le meilleur pouvoir antioxydant a été 0,5624 $\mu\text{mol E. Trolox/g}$ avec la solution aqueuse de 70% de méthanol en décoction. A 7 semaines d'âge, les coqs alimentés avec T0 pesaient 590,12 g plus que ceux qui recevaient T1, soit une perte significative de 18,49% ($p < 0,05$). De même, les poules nourries avec T0 pesaient 198,46 g plus que celles qui avaient reçu T1, soit une perte significative de 7,91% ($p < 0,05$). Quant à la viande, de T0 à T1, les concentrations en cholestérol total du plasma sanguin ont chuté de 14,71% ($p < 0,01$). Aussi, les concentrations en cholestérol HDL ont baissé de 15% ($p < 0,01$). De même, les concentrations du cholestérol LDL ont diminué de 17,19%, mais cette baisse n'était pas significative ($p > 0,01$). En fin, la couleur jaune des jaunes des œufs du régime de 10% de pulpe ($b^* = 52,29$) a été similaire à celle du maïs jaune ($b^* = 52,22$) ($p > 0,01$) ; et a été mieux colorée que celle du régime à base de maïs blanc ($b^* = 20,70$) ($p < 0,01$). En conclusion, pour avoir un effet positif sur la croissance des poulets de chair, la pulpe séchée de *B. aethiopum* devrait être incorporée dans un aliment granulé. Finalement, lorsqu'elle est utilisée dans l'aliment des poules pondeuses, elle est une source d'énergie, de caroténoïdes et colore intensément le jaune d'œuf.

Mots clefs : Activité antioxydante, *Borassus aethiopum*, cholestérol, jaune d'œuf, acides gras

ABSTRACT

The work objectives were to determine the Palmira palm (*Borassus aethiopum*) ripe fruits' dried pulp nutritional value, to evaluate its effect on the broilers' growth performance (*Gallus gallus*, strain Cobb 500), and on egg yolk coloration, and finally to assess its impact on the nutritional quality of the derived products. Thus, some ripe fruits were collected, sorted, weighed, peeled and split into their various components including the skin, the pulp and the seeds. Then, the pulp was dried at 40, 50, 60, 70 and 80°C and the corresponding nutritional values were assessed. In addition, 3 solvents including distilled water, 70% acetone and 70% methanol aqueous solutions were coupled with 2 extraction methods including maceration and decoction. During a first investigation, an experimental diet (T1) was formulated with 20% *B. aethiopum* pulp dried at 70°C. Its effect on broilers' performances was compared to that of a control diet (T0). In a second test, 10 and 20% dried pulp were incorporated into laying hens' white corn-based diet. The dried pulp effect was compared to those of the 2 diets including a control yellow corn-based diet and the white corn-based diet. As a result, on average the fruits weighed 1,496.02 g and contained 516.73 g and 677.82 g of pulp and seeds, respectively. Based on the analyzes' outcomes, dried pulp powders' color and the drying time, 70°C was admitted as the best drying temperature. The fat, proteins and reducing sugars contents were 8.89%; 8.84% and 5.02%, respectively. Also, the metabolizable energy was 3667.03 kcal/kg (DM). The fatty acid profile revealed 77.67% unsaturated, within which 67.59% monounsaturated. The $\omega 6/\omega 3$ ratio was 0.38. The best antioxidant activity was 0.5624 $\mu\text{mol Trolox E./g}$ with 70% methanol aqueous solution through decoction. At day 49, the roosters fed on T0 weighed 590.12 g more than those fed on T1, 18.49% weight loss was significant ($p < 0.05$). Similarly, hens fed on T0 weighed 198.46 g more than those fed on T1, and this 7.91% gap was significant ($p < 0.05$). Looking at blood plasma cholesterol contents, from T0 to T1, total cholesterol levels fell significantly by 14.71% ($p < 0.01$). Also, 15% HDL cholesterol decrease was observed ($p < 0.01$). Likewise, LDL cholesterol concentrations dropped by 17.19%, but this decrease was not significant ($p > 0.01$). Finally, the yolk yellow colors from 10% pulp diet ($b^* = 52.29$) were similar to those of yellow corn-based diet ($b^* = 52.22$) ($p > 0.01$); and were significantly higher than those of the white corn-based diets ($b^* = 20.70$) ($p < 0.01$). In conclusion, to achieve a positive effect on broilers' growth, *B. aethiopum* mature fruits' dried pulp should be incorporated into a granulated feed. When it's used in laying hens feed, it's an energy and carotenoids source, and it intensely colors the egg yolk.

Keywords: Antioxidant activity, *Borassus aethiopum*, cholesterol, egg yolk, fatty acids

REMERCIEMENTS

Je souhaiterais remercier les personnes qui ont participé aux travaux de ce mémoire de thèse.

Je tiens à témoigner ma gratitude à mes Co-directeurs de thèse dont Dr ADIMA Amissa Augustin (Maître de Conférences) et Dr BROU Yao Casimir (Maître de Conférences) qui ont accepté de m'encadrer pour l'accomplissement de ce projet de thèse. Merci pour l'excellent encadrement scientifique et les encouragements pendant les moments les plus difficiles lors de l'exécution des travaux. Merci également pour avoir assuré d'excellentes conditions matérielles de travail qui m'ont permis d'atteindre les objectifs de cette étude. Chers encadreurs, je vous prie de trouver en ces lignes la marque de vos orientations, vos observations et vos efforts.

Je remercie également Dr NEUBA Danho Fursy-Rodelec (Maître de Conférences) et Dr BIEGO Godi Henri Marius (Maître de Conférences) qui m'ont fait l'honneur d'être les rapporteurs de ma thèse. Merci pour votre précieux temps accordé pour la lecture de ce mémoire, et vos instructives remarques qui ont contribué à relever le niveau scientifique du rapport. Mes remerciements sont adressés à Dr KIMSE Moussa (Maître de Conférences) qui, par ses importantes et singulières observations, a contribué à relever le niveau scientifique du document. Dans la même dynamique, j'adresse mes remerciements au Professeur ZEZE Adolphe, qui a consacré du temps pour apprécier ce travail.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit du personnel du Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèse de l'Environnement et des Energies Nouvelles (LAPISEN). Ma sincère reconnaissance est formulée à l'endroit de Monsieur YAO N'guessan Jean Claude, Doctorant dudit laboratoire, et promotionnaire à l'EDP. Cher Yao, je te remercie pour tout le temps accordé et les efforts consentis pour les si nombreuses analyses chimiques.

Avec une considération singulière, je remercie l'ainé Ingénieur agronome zootechnicien KOUADIO Kouamé Bertin. Tu as contribué aux protocoles et aux essais par tes idées, donné des orientations sur la conduite des essais et tu m'as donné les poules pondeuses et leurs œufs pour l'expérimentation sur la coloration du jaune d'œuf. Cher KOUADIO, je te prie de recevoir mes sincères remerciements et ma profonde reconnaissance. Au laboratoire de Zootechnie et Productions Animales, tu restes notre référence sur les questions de recherche-appliquée. Comme tu le sais bien, même quand tu seras à la retraite, nous tes enlèves et apprenants serons toujours à ta porte.

Je dis un grand merci à tous mes collaborateurs au laboratoire de Zootechnie et Productions Animales ; Messieurs TRAORE Nabayo, étudiant BTS en chimie Alimentaire et KOUASSI Goua Firmin, Doctorant à l'EDP, pour leurs immenses aides lors des manipulations et travaux d'analyses chimiques. Aux frères, amis et collègues, Dr KOUAKOU N'Goran David-Vincent (Maître de Conférences), Dr YAPI Yapo Magloire (Maître Assistant), M. KONE Gningnini Alain, M. KONAN Koffi Mathurin et M. N'GUESSAN Konan Raphael ; je vous remercie pour vos idées et points de vue scientifiques.

Je tiens à remercier mes amis M. TRAORE Lacina de la Côte d'Ivoire, Doctorant à l'université Agricole de Huazhong de Wuhan (华中农业大学) ; et M. GANDEKA Mamadou de la Guinée Conakry, Doctorant à l'Université Agricole et Forestière de Fujian (福建农林大学), tous deux en Chine. Je vous remercie pour tous les efforts consentis en m'envoyant les articles scientifiques auxquels je n'avais pas accès. Je vous prie de trouver dans ce mémoire votre énorme contribution.

Je ne saurais terminer ces remerciements sans penser à ma famille. Je remercie mon épouse SOW Maty qui a veillé continuellement sur la famille à Abidjan pendant que je passais beaucoup plus de temps et travaillais sur ce projet de thèse à Yamoussoukro. Je fais un coucou à nos enfants Gnimeta, Lagnime, Tamhni et Ladome.

TABLE DES MATIERES

RESUME.....	I
ABSTRACT	II
REMERCIEMENTS	III
TABLE DES MATIERES.....	V
LISTE DES TABLEAUX	VIII
LISTE DES FIGURES	X
LISTE DES ABREVIATIONS	XI
INTRODUCTION.....	1
I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
1.1. <i>Borassus aethiopum</i>	4
1.1.1. Systématique de <i>Borassus aethiopum</i>	4
1.1.2. Vin de palme.....	6
1.1.3. Valeur nutritive des fruits de <i>Borassus aethiopum</i>	8
1.1.4. Hypocotyles de <i>Borassus aethiopum</i>	10
1.2. Aviculture.....	13
1.2.1. Conduite des élevages de poulets	13
1.2.2. Importance du maïs dans les régimes alimentaires des poulets.....	16
1.2.3. Besoins nutritionnels des poulets de chair.....	18
1.2.3.1. Besoins nutritionnels du poulet de chair.....	19
1.2.3.2. Besoins nutritionnels de la poule pondeuse.....	19
1.2.4. Formation de l'œuf de la poule.....	21
1.2.5. Coloration du jaune de l'œuf et mesure de la couleur	23
1.3. Cholestérol.....	25
1.4. Pouvoir antioxydant des extraits des végétaux.....	28
1.5. Conclusion sur la bibliographie.....	29
II: MATERIEL ET METHODES.....	31
2.1. Collecte des fruits mûrs et séchage de la pulpe	31
2.2. Valeur nutritive de la pulpe séchée.....	33
2.2.1. Matière sèche.....	33
2.2.2. Minéraux	33
2.2.3. Protéine.....	34
2.2.4. Matière grasse et profil en acides gras.....	34
2.2.4.1. Matière grasse.....	34
2.2.4.2. Profils des acides gras	35
2.2.5. Energie métabolisable des pulpes séchées.....	35

2.2.5.1. Glucides totaux.....	36
2.2.5.2. Sucres réducteurs.....	36
2.3. Polyphénols totaux et pouvoir antioxydant des extraits	38
2.3.1. Solvants et extractions des échantillons	38
2.3.2. Polyphénols totaux	38
2.3.3. Flavonoïdes totaux.....	39
2.3.4. Activité antioxydante des extraits.....	40
2.4. Pulpe séchée de <i>B. aethiopum</i> dans l'aliment des poulets de chair	41
2.4.1. Régimes des poulets de chair	42
2.4.2. Conduite des poulets de chair.....	43
2.4.2.1. Aménagement du poulailler.....	43
2.4.2.2. Démarrage des poussins	43
2.4.2.3. Transition, finition et rations des poulets de chair.....	43
2.4.2.4. Pesées des poulets de chair.....	44
2.4.2.5. Plan de prophylaxie des poulets de chair.....	45
2.4.3. Numération de la formule sanguine (NFS) des poulets de chair	45
2.4.4. Profile lipidique du plasma sanguin des poulets de chair.....	46
2.5. Pulpe séchée de <i>B. aethiopum</i> dans l'aliment des poules pondeuses	47
2.5.1. Composition des régimes des poules pondeuses	48
2.5.2. Conduite des poules pondeuses	48
2.5.3. Effet de la pulpe séchée de <i>B. aethiopum</i> sur les œufs.....	49
2.5.3.1. Cholestérol total dans le jaune d'œuf	49
2.5.3.2. Evaluation de la couleur des jaunes d'œuf	50
2.6. Analyses statistiques.....	51
III. RESULTATS ET DISCUSSION	52
3.1. Composition des fruits mûrs de <i>B. aethiopum</i>	52
3.2. Analyses bromatologiques.....	54
3.2.1. Effet de la température sur le temps de séchage.....	54
3.2.2. Cendre (minéraux).....	54
3.2.3. Effet du séchage sur les minéraux et le rapport Ca/P	55
3.2.4. Effet du séchage sur la protéine brute	57
3.2.5. Effet du séchage sur la matière grasse.....	58
3.2.5.1. Effet du séchage sur le taux de la matière grasse	58
3.2.5.2. Effet du séchage sur le profil des acides gras et le ratio n-6/n-3	60
3.2.6. Détermination de l'énergie métabolisable	62
3.2.6.1. Effet de la température sur la teneur en sucres réducteurs	63
3.2.6.2. Effet du séchage sur l'énergie métabolisable	64

3.2.7. Conclusion partielle sur les nutriments	66
3.3. Activité antioxydante des extraits de la pulpe de <i>Borassus aethiopum</i>	67
3.3.1. Teneur en polyphénols totaux des extraits de la pulpe séchée de <i>B. aethiopum</i>	67
Différentes lettres à l'intérieur d'un même produit donné signifient une différence statistique	
significative selon le classement des moyennes multiples par la méthode de Duncan ($\alpha=0,01$) (Figure	
17. b, d); (Product=Produit).....	
3.3.2. Flavonoïdes totaux des extraits de la pulpe séchée de <i>Borassus aethiopum</i>	72
Différentes lettres à l'intérieur d'un produit donné signifient une différence statistique significative	
selon le classement des moyennes multiples par la méthode de Duncan ($\alpha=0,01$), (Figure 18. f, h).	
(Product=Produit).....	
3.3.3. Activité antioxydante (ABTS ⁺) des extraits de la pulpe de <i>B. aethiopum</i>	75
Pour un produit donné, différentes lettres signifient une différence statistique significative selon le	
classement des moyennes multiples par la méthode de Duncan ($\alpha = 0,01$), (Figure 19. j, L).	
(Product=Produit).....	
3.3.4. Relation entre les extraits de polyphénols totaux et activité antioxydante	79
3.3.5: Conclusion partielle sur l'activité antioxydante	80
3.4. Pulpe séchée de <i>B. aethiopum</i> dans l'aliment des poulets de chair	82
3.4.1. Teneur en polyphénols et flavonoïdes totaux des régimes alimentaires.....	82
3.4.2. Croissance des poulets de chair	83
3.4.3. Numération de la formule sanguine (NFS) des poulets de chair	87
3.4.4. Cholestérols, triglycérides et protéine du sérum sanguin des poulets de chair.....	90
3.4.5. Ratios Tot.C/HDL.C, TG/HDL.C et LDL.C/HDL.C du sérum sanguin	92
3.4.6. Conclusion partielle sur l'introduction de la pulpe dans l'aliment des poulets	94
3.5. Pulpe séchée de <i>Borassus aethiopum</i> dans l'aliment des poules pondeuses	96
3.5.1. Poids des jaunes et des blancs des œufs	96
3.5.2. Proportions des constituants des œufs.....	98
3.5.3. Teneur en cholestérol total (Tot.C) des jaunes d'œufs.....	99
3.5.4. Triglycérides des jaunes des œufs	102
3.5.5. Effet de la pulpe séchée de <i>Borassus aethiopum</i> sur la coloration du jaune d'œuf.....	104
3.5.5.1. Appréciation des couleurs des jaunes d'œufs avec l'éventail de couleur Roche.....	104
3.5.5.2. Appréciation des couleurs des jaunes d'œufs avec le spectrophotomètre	106
3.5.6. Conclusion partielle sur la coloration du jaune d'œuf.....	108
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	109
IV. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	112

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Systématique du <i>Borassus aethiopum</i> Mart.....	5
Tableau 2. Aperçu de la valeur nutritive du vin de palme.....	8
Tableau 3. Composition de la pulpe fraîche de fruits mûrs de <i>Borassus aethiopum</i>	9
Tableau 4. Minéraux, nutriments et énergie métabolisable de la pulpe de fruits mûrs de <i>Borassus aethiopum</i>	10
Tableau 5. Conduite alimentaire des élevages de poulets, et quelques formules alimentaires.....	15
Tableau 6. Teneurs en matière grasse, en protéine, en glucides totaux et énergie métabolisable de quelques hybrides de maïs jaune.....	17
Tableau 7. Ratios idéaux d'acides aminés (aa) dans les régimes des poulets de chairs par rapport à Lys pour les Ross 308 TM	19
Tableau 8. Subdivision en élevage de pondeuse, exigence en protéine brute et en énergie métabolisable.....	20
Tableau 9. Exigence pour la protéine brute et les acides aminés les plus limitants pour les poules pondeuses.....	20
Tableau 10. Régimes alimentaires des poulets de chair.....	42
Tableau 11. Prophylaxie médicale appliquée.....	45
Tableau 12. Prémix ponte Koudijs et régimes alimentaires des pondeuses.....	48
Tableau 13. Poids des fruits, peaux, pulpes, des graines et leurs pourcentages (a) et matrice de corrélation de Pearson (b).....	53
Tableau 14. Taux de la matière minérale en fonction de la température de séchage.....	55
Tableau 15. Concentrations en Phosphore (P), Potassium (K), Calcium (Ca), Magnésium (Mg), Fer (Fe), Sodium (Na) de la pulpe séchée de <i>Borassus aethiopum</i> (%MS) et le ratio Ca/P.....	56
Tableau 16. Effet de la température de séchage sur le profil des acides gras (% acides gras totaux)....	61
Tableau 17. Poids des poulets de chair en fonction (a) des régimes, (b) des sexes, (c) des jours, (d) de l'interaction régime*sexes, (e) de l'interaction jours*régimes et (f) de l'interaction jours*sexes.....	84
Tableau 18. Numération de la formule sanguine (NFS) et ses caractéristiques des poulets de chair.....	88
Tableau 19. Concentrations en cholestérols (C), triglycérides (TG) et protéine du plasma sanguin des poulets de chair au jour 49.....	91
Tableau 20. Ratios cholestérol total sur cholestérol HDL (Tot.C/HDL.C), triglycérides sur cholestérol HDL (TG/HDL.C) et cholestérol LDL sur cholestérol HDL (LDL.C/HDL.C) dans le plasma sanguin.....	93
Tableau 21. Poids des jaunes et des blancs d'œufs en fonction des régimes, des jours et de l'interaction régimes*jours.....	97
Tableau 22. Poids et proportions des jaunes, blancs et coquilles.....	99
Tableau 23. Concentrations en cholestérol total (mg/dL) des jaunes d'œufs en fonction des jours, des régimes et de l'interaction entre les régimes et les jours.....	100

Tableau 24. Teneurs en triglycérides (mg/dL) des jaunes d'œufs en fonction des jours, des régimes et de l'interaction entre les régimes et les jours	102
Tableau 25. Effet d'une source alimentaire riche en lipides sur le ratio triglycéride (TG) et cholestérol total (Tot.C) dans le jaune d'œuf et le sérum sanguin.....	103
Tableau 26. Effet des régimes, des jours et leurs interactions sur L*, a*, b*, C*, Ho et h	107

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Plantes de <i>Borassus aethiopum</i>	5
Figure 2. Fruits mûrs de <i>Borassus aethiopum</i> et la pulpe jaune-orangée	9
Figure 3. Production d'hypocotyles et leur commercialisation	11
Figure 4. Processus de formation de l'ovule (œuf, en cas de fécondation) (Hy-Line, 2017)	22
Figure 5. Couleurs selon le système L*, a* b* (CIE, 1976).....	24
Figure 6. Cholestérol et son cycle (Ma et Shieh, 2006; Bitzur et al., 2009).....	26
Figure 7. Fruits et ses composants, méthode de séchage et pulpe séchée	32
Figure 8. Courbe standard pour l'évaluation des sucres réducteurs établie avec des solutions de glucose	37
Figure 9. Courbe d'étalonnage avec l'acide gallique à différentes concentrations pour la détermination de la concentration en polyphénols totaux	39
Figure 10. Courbe d'étalonnage avec la Quercétine à différentes concentrations, pour la détermination de la teneur en flavonoïdes totaux	40
Figure 11. Courbe d'étalonnage du pourcentage d'inhibition lié à la concentration de Trolox (10-4 mM) pour la détermination de l'activité de l'antioxydant	41
Figure 12. Effet de la température sur la durée de séchage en jour (J).....	55
Figure 13. Effet de la température de séchage (T-°C) sur les teneurs en protéine brute	57
Figure 14. Effet de la température de séchage sur les teneurs en matière grasse	59
Figure 15. Effet de la température de séchage sur la teneur en sucres réducteurs.....	63
Figure 16. Effet de la température de séchage sur l'énergie métabolisable (EM) selon les modèles de FAO (2003) et Fisher et McNab (1987)	65
Figure 17. Facteurs d'interaction entre les modes d'extraction (macération, décoction), les solvants (DW, DW+Meth, DW+Aceto) et les produits (Frais (0), séchés à 40, 50, 60, 70, 80°C) sur la teneur en polyphénols totaux (g/L EAG) des extraits de pulpe séchée.....	68
Figure 18. Analyse d'interaction des facteurs entre les modes d'extraction (macération, décoction), solvants (DW, DW+Meth, DW+Aceto) et produits (frais (0), 40, 50, 60, 70, 80°C) sur la teneur en flavonoïdes (gL-1 EQ).....	73
Figure 19. Analyse des interactions entre les modes d'extraction (macération, décoction), solvants (DW, DW+Meth, DW+Aceto) et produits (frais(0), 40, 50, 60, 70, 80°C) sur l'activité antioxydante (µmol/L E.Trolox).	76
Figure 20. Relation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante	79
Figure 21. Teneurs en phénols et flavonoïdes totaux dans T0 et T1	82
Figure 22. Poids vifs des poulets de chair (Cobb 500), Interaction régimes* jours*sexes	86
Figure 23. Evaluation des couleurs des jaunes d'œufs à l'aide de l'éventail de couleur Roche	105

LISTE DES ABREVIATIONS

AAO:	Activité antioxydante
ABTS:	Acide 2,2'-azinobis-3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique
AGMI:	Acides gras monoinsaturés
AGPI:	Acides gras polyinsaturés
AGS:	Acides gras saturés
<i>B. aethiopum</i>	<i>Borassus aethiopum</i>
Ca:	Calcium
Cu:	Cuivre
DPPH:	2, 2-diphényl-1-picrylhydrazyle
E.Trolox:	Equivalent Trolox
EAG:	Equivalent Acide Gallique
ED:	Eau distillée
EDTA:	Acide éthylène diamine tétra-acétique
EM:	Energie métabolisable
EQ:	Equivalent quercétine
FAO:	Food and Agriculture Organization
Fe:	Fer
HDL.C:	Cholestérol des lipoprotéines de haute densité
K:	Potassium
kcal:	Kilocalorie
LDL.C:	Cholestérol des lipoprotéines de basse densité
Mg:	Magnésium
MG:	Matière grasse
MS:	Matière sèche
Na:	Sodium
PB:	Protéine brute
TFT:	Teneur en flavonoïdes totaux
TG:	Triglycérides
Tot.C:	Cholestérol total
TPT:	Teneur en phénols totaux
Zn:	Zinc

INTRODUCTION

L'industrie du jaune d'œuf est très diversifiée et la coloration du jaune de l'œuf reste l'un des meilleurs paramètres de la qualité de l'œuf pour les consommateurs (Hasin *et al.*, 2006, Spada *et al.*, 2016). Puisque celle-ci dépend fortement des caroténoïdes contenus dans l'aliment de la poule (Hy-line 2017, Lokaewmanee *et al.*, 2010, 2011), beaucoup de pigments dont des synthétiques et des naturels sont utilisés par les producteurs d'œufs (Hammershøj *et al.*, 2010 ; Spada *et al.*, 2016). Parmi les synthétiques, l'éthyle ester de β -apo-8'-caroténal et l'acide β -apo-8'-caroténoïque font partie des plus utilisés pour la coloration du jaune d'œuf et de la chair des poulets (EFSA, 2009). Même s'ils ne présentent pas a priori d'effets néfastes sur la santé humaine ; compte tenu des taux de 40 mg de β -apo-8'-caroténal par kg d'aliment comme seule source de colorant et de 10 mg par kg lorsqu'un caroténoïde à pigmentation rouge comme la canthaxanthine est également utilisé, l'autorité européenne de la sécurité alimentaire préconise l'incorporation de doses minimales possibles (EFSA, 2009). Le maïs jaune constitue ainsi plus de 50% (voire plus) des régimes alimentaires des volailles pondeuses. Il est la principale source de pigments naturels (Kljak, 2012). En plus de ses pigments, le maïs jaune apporte de l'énergie pour 3.650 kcal/kg (MS) (IPBO, 2017).

Dans plusieurs pays, le maïs est l'une des céréales les plus cultivées au monde cultivé pour l'alimentation humaine et animale (Scrob *et al.*, 2014 ; IPBO, 2017). Ces grains secs sont de couleurs orange, jaune, violet, rouge, noir et bleu (Scrob *et al.*, 2014). Au niveau des rendements à l'hectare, à l'exception de l'Égypte qui produit environ 7,7 t/ha/an, la productivité moyenne est 2 t/ha/an en Afrique est faible, contre 10,7 t/ha/an aux États Unis d'Amérique (USA). Cette faible productivité est due à la non maîtrise de l'eau, les attaques des divers ennemis de la culture et les sécheresses répétées. Ainsi, beaucoup de pays Africains sont contraints d'importer du maïs (IPBO, 2017). Dans ces conditions de rareté du maïs en général et du maïs jaune en particulier, une compétition naît entre l'alimentation humaine et animale pour le maïs jaune.

Les poules pondeuses assimilent bien les pigments contenus dans les aliments et les stockent dans le jaune de l'œuf. Les pigments naturels autre que ceux du maïs jaune sont de plus en plus utilisés (Lokaewmanee *et al.*, 2011 ; Spada *et al.*, 2016). C'est ainsi que les carottes (*Daucus carota*), les poivrons jaunes (*Capsicum annuum*), les peaux d'orange (*Citrus sinensis*), les fleurs de souci (*Calendula officinalis*), les boues d'huile rouge de palme (*Elaeis guineensis*) et bien d'autres fruits riches en caroténoïdes sont et utilisés en alimentation aviaire pour améliorer la

qualité des œufs (Hosseini-Vashan et Afzali, 2008 ; Lokaewmanee *et al.*, 2009, 2011 ; Spada *et al.*, 2016).

A l'instars des fruits du palmier *Elaeis guineensis* qui fournissent une pulpe rouge-orangée (FAO, 2002), ceux du rônier (*Borassus aethiopum*) contiennent une abondante pulpe de couleur jaune-orangée à la maturité (Ali *et al.*, 2010a). Si le palmier *Elaeis guineensis* est industriellement cultivé ; le rônier qui est caractéristique du paysage du centre de la Côte d'Ivoire ne l'est pas. Pire, il fait l'objet d'exploitations non durables par l'extraction du vin, et celles-ci conduisent à la mort des pieds (Mollet, 1999 ; Sambou *et al.*, 2002 ; Onuche *et al.*, 2012). Pourtant, les fruits offrent bien plus d'opportunités, car les albumens frais des fruits immatures de *B. aethiopum* sont consommables (Giffard, 1967 ; Sambou *et al.*, 1992). Lorsque le fruit mûr, la pulpe fibreuse jaune-orangée est cuisinée et consommée (Mollet, 1999). En plus, les fruits mûrs sont cultivés pour la production d'hypocotyles et cette activité pérenne tenue en grande partie par des femmes est très lucrative (Jatau, 2008 ; Kansole, 2016).

Ainsi, le rônier qui est l'une des plantes les plus caractéristiques du centre de la Côte d'Ivoire fait l'objet de diverses utilisations. Cependant, à ma connaissance, à ce jour, aucune utilisation de la pulpe séchée de son fruit mûr dans l'alimentation des volailles n'est connue. Etant donné que les fruits mûrs de *B. aethiopum* pèsent plus 1200 g en moyenne et offrent au moins 35% de pulpe fraîche (Ali *et al.*, 2010a), son utilisation en aviculture est envisageable. En effet, l'énergie métabolisable de 3.670 kcal/kg (MS) de la pulpe séchée de *B. aethiopum* et ses teneurs en caroténoïdes de 2723 µg dans 100 g de matière sèche (Oryema et Oryem-Origa, 2016), prédisposent cette pulpe à une incorporation dans l'alimentation des volailles. En fait ; elle fournirait de l'énergie aux poulets de chair et les poules pondeuses dans un premier temps et serait une source de caroténoïdes pour la coloration de la chair des poulets et du jaune des œufs dans un second temps.

C'est ainsi que le présent travail est axé sur la "valorisation de la pulpe du fruit mûr de *Borassus aethiopum* en aviculture". L'hypothèse était "les poulets picoreraient la pulpe séchée des fruits mûrs de *B. aethiopum*". Quant aux hypothèses spécifiques, (a) la température de séchage influencerait la valeur nutritive de la pulpe, (b) la pulpe séchée et incorporée à l'aliment des poulets de chair (*Gallus gallus domesticus*, souche Cobb 500) influencerait la croissance des poulets et la qualité nutritive de la viande, et (c) elle colorerait le jaune des œufs et influencerait les teneurs en cholestérols et triglycérides. L'objectif principal est de valoriser le fruit mûr de *B. aethiopum* dans l'alimentation des volailles. Les objectifs spécifiques sont de ressortir une

température de séchage qui permettrait d'une part une conservation du produit et d'autre part de garder la meilleure valeur nutritive possible. Ensuite, afin de faire des régimes alimentaires contenant la pulpe séchée, les objectifs spécifiques s'étendent à la détermination de certains paramètres nutritionnels. Le mémoire est construit autour quatre grands axes. Dans un premier temps, une revue de littérature qui se limite aux aspects alimentaires des produits du palmier *B. aethiopum* nous permet de comprendre l'importance socio-économique de cette plante. En seconde partie, une expérimentation a porté sur l'appréciation des constituants des fruits mûrs et des analyses chimiques ont été effectuées pour déterminer l'effet de la température de séchage sur les teneurs en protéine, matière grasse, sucres réducteurs, énergie métabolisable, le profil des acides gras, les teneurs en polyphénols totaux, flavonoïdes totaux et l'activité antioxydante. Dans un troisième temps, un essai a été conduit en incorporant 20% de la pulpe séchée dans l'aliment des poulets de chair, suivi de l'étude de l'effet sur la croissance des poulets et le profil des lipides du plasma sanguin. En quatrième essor, un second essai a été réalisé en incorporant 10 et 20% de la pulpe séchée dans l'aliment des poules pondeuses nourries à base de maïs blanc, suivi de l'observation de l'effet sur la couleur, les teneurs en cholestérols et en triglycérides du jaune des œufs.

I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Après un bref aperçu de la systématique du palmier *Borassus aethiopum*, un rappel de quelques usages des produits tels que le vin, les feuilles et les fruits a été fait. Puisque des parties de végétaux sont déjà utilisées pour colorer les jaunes d'œufs, et compte tenu de la quantité et la qualité du cholestérol alimentaire que pourrait apporter la pulpe séchée dans l'alimentation des poulets, le cholestérol alimentaire et l'appréciation des couleurs ont été révisés. Un bref rappel sur les valeurs nutritives du maïs blanc et du maïs jaune a été fait pour ressortir leurs apports en énergie métabolisable et en caroténoïdes dans les régimes des volailles. Finalement, les besoins alimentaires des poulets de chair et des poules pondeuses ont été résumés.

1.1. *Borassus aethiopum*

La systématique de l'espèce *Borassus aethiopum* a été rappelée. Ensuite, les valeurs nutritives du vin et la pulpe du fruit mûr ont été révisées. Enfin, l'importance de la culture des fruits mûrs pour la production des hypocotyles a été rapportée.

1.1.1. Systématique de *Borassus aethiopum*

On rencontre le genre *Borassus* en Afrique tropicale, au Sud de l'Asie, dans les îles du pacifique et de l'Océan indien (Giffard, 1967). Le botaniste Adanson fit la première description de l'arbre en Afrique au Sénégal vers 1750 et emprunta le terme "Ron" du Wolof (une langue Sénégalaise) (Giffard, 1967). Selon cet auteur, en 1804 Lamarck fit le lien entre les *Borassus* de l'Asie et ceux de l'Afrique. Ensuite, en 1838 Martius releva des différences entre l'espèce de l'Afrique et celle de l'Asie, et baptisa l'Africaine *Borassus aethiopum*, d'où le nom *Borassus aethiopum* Mart, alors que l'Asiatique reste *Borassus flabellifer* (Sambou *et al.*, 1992).

Au niveau de la position taxonomique, la plante de *Borassus aethiopum* est de l'embranchement des Trachéophyte (Tableau 1, Ruggiero *et al.*, 2015). Elle appartient au sous embranchement des Spermatophytes car les graines sont enfermées dans le fruit (Figure 1A). Puisqu'une graine contient un seul cotylédon et les feuilles portent une nervure centrale, alors le *Borassus* est de la classe des *Liliopsides*. En fin, c'est un palmier, le *Borassus* appartient à l'ordre des *Arécales* et de la famille des *Arecaceae*. Le palmier *B. aethiopum* se retrouve de manière endémique dans les régions semi-arides et subhumides d'Afrique et la densité de ses peuplements varie avec l'exploitation des populations riveraines (Mollet, 1999).

Tableau 1. Systématique du *Borassus aethiopum* Mart

Eléments du classement	Descriptif
Règne	Végétal
Embranchement	Trachéophytes
Sous-Embranchement	Spermatophytes
Classe	Liliopsides
Ordre	Arécales
Famille	Arecaceae
Genre	<i>Borassus</i>
Espèce	<i>Borassus aethiopum</i> <u>Mart</u>

Source : Ruggiero *et al.*, 2015



Figure 1. Plantes de *Borassus aethiopum*

(A: Femelle ayant des fruits mûrs, B: Mâle portant des épis de fleurs mâles)

En effet, selon cet auteur, l'absence relative vieux plants de *B. aethiopum* par rapport à la réserve de LAMTO et la présence enlevée de jeunes plants à Bendressou témoigne de leur surexploitation pour l'extraction du vin de palme, avec un indice statique de durabilité inférieur à 1. Malgré qu'en 1935 le législation Sénégalaise ait classé le palmier *B. aethiopum* parmi les espèces forestières protégées (Giffard, 1967), les fortes exploitations avaient conduit à une réduction de ses peuplements. Au niveau de la reproduction, à l'inverse du palmier à huile (*Elaeis guineensis*) qui est monoïque, le palmier rônier (*B. aethiopum*) est dioïque. C'est-à-dire qu'un pied est soit mâle, soit femelle. Au niveau des pieds mâles, les fleurs mâles sont des épis, les loges des grains de pollen (Figure 1B). Pour que la fécondation ait lieu, le pollen est transporté et déposé sur le stigmate de l'ovaire par le vent (anémophile), les insectes (entomophile), les chauves-souris (chéiroptérophile) ou les oiseaux (ornithophile). Les pieds femelles portent de gros et ovoïdes fruits de couleur jaune-orangée à la maturité (Ali *et al.*, 2010a) (Figure 1A).

1.1.2. Vin de palme

Le vin extrait des plantes de *Borassus aethiopum*, *Elaeis guineensis* et *Raphia hookeri* est très apprécié en Côte d'Ivoire (Mollet, 1999). Dans le V-Baoulé en Côte d'Ivoire, selon Béhi *et al.* (2002), 83,6% des hommes et 73,2% des femmes consomment le vin de *Elaeis guineensis* ; 85,4% des hommes et 76,25% des femmes boivent le vin de *B. aethiopum* ; et finalement 85,4% des hommes et 64,2% des femmes consomment le vin de *Raphia hookeri*. En Guinée-Conakry, les peuples Bassari pratiquent les saignées pendant 7 mois au cours d'une année sur les pieds de *B. aethiopum* (Sambou *et al.*, 2002).

Les collectes du vin dépendent de l'expertise du saigneur, l'âge du palmier et la saison (Giffard, 1967; Mollet, 1999). Sambou *et al.* (2002) ont rapporté que l'exploitation du vin d'un rônier dure entre 35 et 45 jours. La quantité de jus collectée par jour et par plant varie entre 1 et 6 litres (Giffard, 1967), voire 12 litres au vingtième jour d'exploitation (Sambou *et al.*, 2002). Si le vin récolté est autoconsommé ou servi au cours de cérémonies traditionnelles, sa vente procure des ressources financières aux populations riveraines des palmeraies (Giffard, 1967; Mollet, 1999; Sambou *et al.*, 2002; Béhi *et al.*, 2002). En effet, Béhi *et al.* (2002) ont annoncé un gain annuel de 237000 fr CFA pour un exploitant semi-professionnel. Mieux, Mollet (1999) a établi l'importance du vin de palme en rapportant qu'un exploitant professionnel gagnait environ 250000 fr CFA par an.

Malgré l'importante contribution du vin de palme au bien-être des familles en milieu rural, l'extraction du vin occasionne la mort des pieds de palmiers (Mollet, 1999; Béhi *et al.*, 2002). En Côte d'Ivoire, la mortalité est certaine pour les pieds de *Elaeis guineensis* qui sont abattus avant l'extraction du vin (Béhi *et al.*, 2002). Aléatoirement, quelques pieds de *Borassus aethiopum* survivent, alors que la majorité meurt (Sambou *et al.*, 1992, 2002; Mollet, 1999). Quand les peuplements de rôniers exploitables diminuent dans les lieux facilement accessibles suite aux mortalités, la pénibilité de la collecte de vin s'accroît et l'activité s'atténue (Béhi *et al.*, 2002). C'est ainsi que les populations de Bringakro en Côte d'Ivoire qui préféraient le vin de *Borassus aethiopum* consomment du vin de *Elaeis guineensis* après que les pieds de *B. aethiopum* aient été fortement décimés (Mollet, 1999). Ces pratiques non durables qui affectent sévèrement les densités des rôniers ont conduit à une réduction de la densité de 50 ± 15 dans la réserve forestière de Abrimasu à 32 ± 19 pieds par hectare hors de celle-ci au Ghana (Siaw *et al.*, 2014). Heureusement, certains peuples au Cameroun, au Ghana et au Nigeria exploitent le vin sur les inflorescences sans abattre l'arbre, pérennisant ainsi l'activité commerciale (Onuche *et al.*, 2012).

En plus de l'exploitation non durable du vin de palme, l'intégrité physique du grimpeur aux arbres pour collecter le vin est menacée, car il y a parfois des chutes. En effet, Barss *et al.* (1984) ont rapporté que les chutes des collecteurs de vin des grands rôniers (*B. aethiopum*) et les cueilleurs des fruits de grands cocotiers sont accrues après les pluies et en temps très ensoleillé. Les traumatismes majeurs encourus sont les cassures de pieds, de bras et les chocs au niveau de la tête (Barss *et al.*, 1984). Malheureusement, dans certains cas, ces traumatismes sont mortels (Barss *et al.*, 1984).

Le vin de palme est très nutritif (Tableau 2). Surement, du fait de sa teneur élevée en sucre (Naknean *et al.*, 2010; Ikegwu *et al.*, 2014; Makhoulouf-Gafsi *et al.*, 2016); il est très énergétique (Akpabio *et al.*, 2012). Cette saveur sucrée est due aux teneurs de 3,4 g de glucose et de 4,5 g de saccharose dans 100 mL de boisson fraîche (Edem, 2002). En effet, Akpabio *et al.* (2012) ont découvert que le vin de *Raphia hookeri* contient 85,4% de glucides et a un pouvoir calorifique de 3750 kcal/L. De surcroît, cet auteur annonce que le vin est une bonne source de minéraux, car il contient 55,31 mg de Calcium; 26,60 mg de Magnésium; 23,63 mg de Sodium; 20,95 mg de Potassium; 8,54 mg de Manganèse; 4,77 mg de Cobalt et 4,57 mg de fer dans 100 mL de boisson. Selon Thabet *et al.* (2009), l'analyse des propriétés physicochimiques du vin du dattier (*Phoenix dactylifera*) a révélé aussi une teneur élevée en glucides (94,98%). De plus, la

sève de *P. dactylifera* contient 7,64 mg E.AG de polyphénols totaux dans 100 mL de boisson (Thabet *et al.*, 2009). Les teneurs en sucres réducteurs sont de 8,24 à 19,90% de saccharose ; 0,50 à 1,85% de glucose et 0,50-1,81% à fructose pour le vin de *Borassus flabellifer* (Giffard, 1967; Naknean *et al.*, 2010; Zongo *et al.*, 2019;).

Tableau 2. Aperçu de la valeur nutritive du vin de palme

Palmiers	Auteurs	Ingrédients (teneurs)
<i>Elaeis guineensis</i>	Edem (2002)	Glucose (3,4 g/100 mL) Saccharose (4,5 g/100 mL)
	Ikegwu <i>et al.</i> (2014)	Protéine (1,95± 0,09%), Sucres totaux (11.79 ± 0.20%) Glucides (85,4%), Energie métabolisable (3750 kcal/L)
<i>Raphia hookeri</i>	Akpabio <i>et al.</i> (2012)	Dans 100 mL de boisson fraîche : Ca (55,31 mg), Mg (26,60 mg), Na (23,63 mg), K (20,95 mg), Mn (8,54 mg), Co (4,77 mg), Fe (4,57 mg)
<i>Borassus aethiopum</i>	Zongo <i>et al.</i> (2019)	Arabinose (0,005±0,01 g/L), Glucose (4,92±3,41g/L), Fructose (6,72±3,58 g/L). Polyphénols totaux (0,08±0,04 g/L), Ca (0,79±0,16 g/L), Mg (0,40±0,22 g/L), K (14,58±4,88 g/L)
<i>Borassus flabellifer</i>	Naknean <i>et al.</i> (2010)	Saccharose (9,29-17,44%), Glucose (0,50-1,85%) Fructose (0,50-1,81%)
<i>Phoenix dactylifera</i>	Makhlouf-Gafsi <i>et al.</i> (2016)	Glucose (16,88 – 33,45% MS) Fructose (1,14-1,42% MS) Saccharose (35,54-63,38% MS)

1.1.3. Valeur nutritive des fruits de *Borassus aethiopum*

Avant la maturité des fruits, les tendres albumens des graines de *B. aethiopum* sont comestibles et l'endosperme gélatineux en formation est hautement nutritif et bien apprécié des populations (Giffard, 1967; Sambou *et al.*, 1992). Selon ces auteurs, le fruit immature de *B. aethiopum* est cueilli, la pulpe fibreuse encore verte est épluchée et l'albumen en formation peut être consommé frais. A la maturité, les fruits ont un épicarpe lisse qui couvre un mésocarpe fibreux de couleur jaune-orangée (Figure 2. H1, H2). Au Cameroun, dans les régions de Kousséri et Ngaoundere les fruits de *B. aethiopum* ont un poids moyen de 1,3 kg et fournissent 35% de pulpe fraîche (Ali *et al.*, 2010a). Les populations rurales sèchent la pulpe, font de la farine et cuisinent des plats de pâte (Ali *et al.*, 2010c). Les analyses chimiques de la matière fraîche ont révélé qu'elles sont très riches en sucres totaux avec un taux fluctuant entre 4,47±1,07 et 5,62±1,13% dont 3,76±1,03 et 4,58±1,12% de sucres réducteurs, respectivement à Ngaoundere et Kousséri (Ali *et al.*, 2010a) (Tableau 3).



H.1: Fruits mûrs de *Borassus aethiopum* à l'INP-HB Centre



H.2: Pulpe de fruits mûrs de *B. aethiopum*, au laboratoire de Zootechnie et Productions animales (INP-HB)

Figure 2. Fruits mûrs de *Borassus aethiopum* et la pulpe jaune-orangée

Tableau 3. Composition de la pulpe fraîche de fruits mûrs de *Borassus aethiopum*

Paramètres	Lieux de collecte des fruits	
	Kousséri	Ngaoundere
Teneur en eau (%)	79,13±0,64	81,38±1,94
Sucres totaux (%)	5,62±1,13	4,47±1,07
Sucres réducteurs (%)	4,58±1,12	3,76±1,03
Protéine brute (%)	0,85±0,13	0,73±0,10
Caroténoïdes (mg /100 g)	27,42±0,90	26,61±0,83
Polyphénols totaux (mg /100 g)	274,20±0,19	274,56±0,20

Source : Ali *et al.*, 2010a

La pulpe fraîche contient $27,42 \pm 0,90$ et $26,61 \pm 0,83$ mg de caroténoïdes dans 100 g, respectivement à Kousséri et Ngaoundere (Ali *et al.*, 2010a). En plus, ces auteurs ont annoncé des teneurs en polyphénols totaux de 274 mg dans 100 g de pulpe fraîche.

La pulpe fraîche est parfois cuite sous forme de purée dans laquelle est ajouté du riz, du maïs ou du mil (Siaw *et al.*, 2014; Kansole, 2016). En plus, les pulpes fraîches de *B. aethiopum* ont d'importantes teneurs en vitamines A ($2269,2 \mu\text{g}$) et C ($89,9 \pm 1,2$ mg) et de caroténoïdes ($27230 \pm 0,7 \mu\text{g MS}$) (Oryema et Oryem-Origa, 2016) (Tableau 4). Les travaux d'Oryema et Oryem-Origa (2016) ont révélé que les pulpes fraîches des fruits mûrs de *B. aethiopum* sont riches en minéraux tels que le potassium ($142,4 \pm 19,1\%$ MS), le calcium ($41,81 \pm 1,0\%$ MS), le magnésium ($64,77 \pm 0,2\%$ MS), le sodium ($17,8 \pm 0,7\%$ MS) et le fer ($3,15 \pm 0,27\%$ MS). Les taux de matières grasses et protéines sont respectivement $2,6 \pm 0,1$ et $4,24 \pm 0,2$ de matière sèche (Oryema et Oryem-Origa, 2016). La consommation de ces pulpes peut être conseillée car elles devraient avoir un important pouvoir antioxydant. En effet, des taux élevés de polyphénols totaux ($274,20 \pm 0,19$ mg à Kousséri et $274,56 \pm 0,20$ mg à Ngaoundere) dans 100 g de pulpe fraîche y ont été retrouvés (Ali *et al.*, 2010a).

Tableau 4. Minéraux, nutriments et énergie métabolisable de la pulpe de fruits mûrs de *Borassus aethiopum*

Minéraux (mg/100 g de Matière sèche)			
K : $142,4 \pm 19,1$	Mg : $64,77 \pm 0,2$	Fe : $3,15 \pm 0,27$	Cu : $1,3 \pm 0,0$
Na : $17,8 \pm 0,7$	Ca : $41,81 \pm 1,0$	Zn : $0,82$	
Nutriments (/100 g de Matière sèche)			
Caroténoïdes : $27230 \pm 0,7 \mu\text{g}$	Cendre : $3,30 \pm 0,5$ g	Glucides : $43,5 \pm 5,7$ g	Fibre: $4,50 \pm 0,6$ g
Matière grasse : $2,60 \pm 0,1$ g	Protéine : $4,24 \pm 0,2$ g	Energie : $367 \pm 9,7$ kcal	
Nutriments (/100 g de Matière fraîche)			
Vitamine C : $134,82 \pm 3,94$ à $171,33 \pm 2,62$ mg ; Glucides totaux (%) : $5,62 \pm 1,13$ à $4,47 \pm 1,07$			
Sucres solubles (%) : $3,75 \pm 1,05$ à $4,58 \pm 1,12$			

Source : Ali *et al.*, 2010a; Oryema et Oryem-Origa, 2016

1.1.4. Hypocotyles de *Borassus aethiopum*

Une exploitation des fruits mûrs consiste à les semer (Figure 3.I₁ et I₂), attendre 8 à 10 mois et récolter les plantules dont les bulbes souterrains sont encore tendres, les hypocotyles (Jatau, 2008). Dans la zone intertropicale africaine, la culture des fruits dans un sol ameubli et la récolte des hypocotyles est une activité courante (Jatau, 2008; Siaw *et al.*, 2014; Kansole, 2016).



I₁: Parcelle en vue de la production d'hypocotyles



I₂. Parcelle de production d'hypocotyles de *Borassus aethiopum*



J: Tas d'hypocotyles de *Borassus aethiopum* en vente à Yamoussoukro

Figure 3. Production d'hypocotyles et leur commercialisation

Les paysans défrichent une parcelle, labourent le sol, et juxtaposent les fruits les uns à côté des autres en mettant les apex des fruits contre le sol et les sépales en haut. Parfois, ils recouvrent les fruits avec de la paille. Après la sortie des premières feuilles des jeunes pousses de terre, la récolte des hypocotyles peut commencer. Quand elles ne pratiquent pas la culture, les populations riveraines des palmeraies de *B. aethiopum* parcourent la brousse et récoltent les hypocotyles des jeunes pousses, mettant ainsi en péril le renouvellement naturel dans les aires protégées (Siaw *et al.*, 2014).

Si chez certains peuples, les hypocotyles sont consommés en périodes de disettes, leur culture est une activité agricole lucrative (Figure 3.J) (Jatau, 2008; Siaw *et al.*, 2014; Kansole, 2016). Notamment, Onen et Oryem-Origa (2017) ont mentionné que 28% des populations riveraines des peuplements de *B. aethiopum* pratiquent la culture des hypocotyles. Pourtant, 100% des personnes de ces lieux consomment les hypocotyles fraîches, cuites à la vapeur ou sur des braises ardentes d'un feu (Kansole, 2016; Onen et Oryem-Origa, 2017). Ainsi, ces habitudes alimentaires ont engendré un business dont la rentabilité fluctue entre 288,6 et 318,1% (Jatau, 2008). Selon Gbesso *et al.* (2013), les producteurs d'hypocotyles réalisent mensuellement des marges bénéficiaires entre 34500 et 54660 fr CFA, et les vendeurs gagnent entre 25000 et 120000 fr CFA. Ces taux de rentabilité élevés s'expliquent par le fait que les paysans labourent les parcelles, ramassent des fruits mûrs tombés et les déposent la face contre le sol et les sépales vers le haut. Les champs ne reçoivent ni engrais, ni pesticides et ni arrosage. Un ou deux désherbages manuels sont requis. Les hypocotyles produits sont autoconsommés et les suppléments sont vendus (Figure 3.J). Pour terminer, les teneurs en polyphénols totaux ($275,75 \pm 53,54$ mg dans 100 g de poudre) de ces hypocotyles en font des aliments fonctionnels dont la consommation est à encourager (Ali *et al.*, 2010b).

En résumé, cette revue bibliographique a été orientée sur les produits alimentaires de *Borassus aethiopum*. Elle montre que le vin et les fruits ont des usages multiples. L'exploitation du vin cause la mort des palmiers donc ne garantit pas la pérennité de l'activité commerciale. Pire, cette activité cause parfois la mort des extracteurs suite à des chutes. Tandis que, l'exploitation des fruits frais pour la consommation de l'amende frais, celle des fruits mûrs pour l'utilisation de sa pulpe jaune-orangée, ou la production des hypocotyles garantissent l'activité économique.

1.2. Aviculture

L'aviculture commerciale comprend plusieurs espèces de volailles dont les majeures sont les autruches (*Struthio camelus*), les pintades (*Numida meleagris*), les oies (*Anser*), les canards (*Cairina moschata* - le canard de barbarie ; *Anas platyrhynchos* - le canard de Pékin), les dindes (*Meleagris gallopavo*) et le poulet (*Gallus gallus domesticus*). Aux côtés de ces espèces dominantes, se trouvent les cailles (*Coturnix coturnix*), les paons (*Pavo cristatus*), les faisans (*Phasianus colchicus*), les pigeons (*Columba livia*) et bien d'autres espèces. De plus en plus, l'élevage des perdrix (*Perdix perdix*) devient important. Ici, nous nous intéressons singulièrement à l'espèce *Gallus gallus domesticus*.

Quand le marché est maîtrisé, l'élevage des poulets (*Gallus gallus domesticus*) est une activité rentable qui occupe beaucoup de femmes en Afrique de l'Ouest (Ume *et al.*, 2016). De manière générale, du petit élevage de basse-cour à l'industriel, la structure des aviculteurs est très variée, incluant des personnes jeunes et des âgées, des femmes et des hommes, des scolarisés et des déscolarisés (Ume *et al.*, 2016). La rentabilité d'un élevage de poulets dépend fortement de l'alimentation (Anang *et al.*, 2013). Dans un élevage de poules pondeuses, la part du coût de l'aliment dans le coût total de production varie entre 88,84 et 88,90% (Anang *et al.*, 2013). Dans le même ordre, dans un élevage de poulets de chair, le coût de l'aliment couvre 67,07 à 67,18% des charges de production (Anang *et al.*, 2013).

L'aviculture est faite avec des animaux spécialisés de très bonnes performances (Applegate et Angle, 2014). Pour l'expression de leurs potentiels zootechniques, les exigences qualitatives et quantitatives en nutriments des animaux sont fonction de la génétique, du sexe, de l'âge des oiseaux et des conditions de logement (Wecke et Liebert, 2013). La compétitivité du marché exige que les formulations alimentaires prennent en compte les coûts unitaires et les valeurs nutritionnelles intrinsèques des intrants pour atteindre un objectif de production dans un intervalle de temps (Applegate et Angle, 2014).

1.2.1. Conduite des élevages de poulets

L'élevage des poulets suit deux axes majeurs dont celui des poules pondeuses et celui des poulets de chair. Le premier fournit des œufs de table (ovules) et le second met sur le marché de la chair blanche.

L'élevage des poules pondeuses peut être subdivisé en quatre étapes selon l'état physiologique des animaux. En suivant les subdivisions indiquées par Cesari *et al.* (2014) et Panaite *et al.* (2015), du poussin d'un jour à la fin de la semaine 3, cette étape correspond au démarrage. (Tableau 5). Ensuite, la période de la semaine 4 à la semaine 8 correspond à la croissance des poulettes. En poursuivant, de la semaine 9 à la semaine 16, c'est le stade de poulettes. Finalement, de la semaine 17 à la réforme, c'est la période de ponte. Le produit commercialisé est l'ovule qui est couramment appelé œuf de table.

Quand l'élevage est bien tenu, la ponte commence dès le début du cinquième mois (Cesari *et al.*, 2014). Les souches de poules hybrides sélectionnées peuvent produire jusqu'à 300 œufs par an et atteindre 500 œufs durant leur vie économique (Kaspers, 2016; Hy-Line, 2017). A ce jour les bonnes souches de pondeuses hybrides comprennent entre autres les Harco, les Warren, les Shaver, les Isa Brown, les Bovans, les Hy-line, les Lohman blancs et les Lohmann rousse. Les ovaires de ces poulettes ont au départ environ 12000 ovocytes, desquels 250 à 500 se développeront en follicules pour aboutir à la formation d'ovules (Kaspers, 2016; Hy-Line, 2017).

Au niveau des poulets de chair, les étapes d'élevage dépendent de l'objectif de production. Zhao et Kim (2017) estiment qu'il est économiquement bon de passer de la phase de démarrage à la croissance-finition avec deux formules alimentaires dont une de la S1 à la S2 et la seconde de la S3 à la sortie des poulets. Cependant, Roush *et al.* (2004) préconisent un aliment intermédiaire de croissance. En fait, l'âge d'abattage des oiseaux varie selon les marchés. Cet âge d'abattage se situe majoritairement entre la quatrième et la dixième semaine et les poids des carcasses varient entre 1,2 et 3,5 kg (Roush *et al.*, 2004 ; Zhao et Kim, 2017). De manière générale, plus le poids des carcasses est lourd, par exemple lorsqu'elle est supérieure à 2,5 kg, il est recommandé de faire un élevage ayant trois étapes (Saleh *et al.*, 1997 ; Roush *et al.*, 2004), mais quand la carcasse recherchée est moindre, la conduite peut être limitée à deux régimes (Roush *et al.*, 2004 ; Zhao et Kim, 2017).

Tableau 5. Conduite alimentaire des élevages de poulets, et quelques formules alimentaires

Ingrédients	Poules pondeuses				Poulets de chair		
	Panaite <i>et al.</i> , 2015			Cesari <i>et al.</i> , 2014	Zhao et Kim, 2017	Roush <i>et al.</i> , 2004	Zhao et Kim, 2017
	Démarrage S1-S3	Croissance S4-S8	Préonte S9-S16	Ponte S16 et +	Démarrage S1-S2	Croissance S3-S4	Finition S3 et +
Maïs jaune	53,52	48,48	42,60	56,60	56,15	60,97	59,94
Farine de Soja	34,44	27,53	24,83	21,00	31,49	22,72	25,45
Sorgho	5,77	20,00	25,00				
Huile de Soja	2,00			2,45			
(1) PBM						5,00	
Farine de Lucerne						4,38	
(2) Huile de volaille						4,30	
Farine basse de maïs				3,10	4,64		5,03
Carbonate de Calcium	1,63	1,57	1,56	9,95			
Son de blé			4,26	5,00			
Bicarbonate de Sodium				0,13			
MG de ruminants					3,50		5,50
Coquillage					1,00	1,24	1,00
Phosphate dicalcique	1,39	1,31	0,72	0,60	2,07	0,73	1,93
DL-Méthionine	0,27	0,09	0,06	0,08	0,20	0,08	0,20
Lysine HCL	0,09	0,12	0,11	0,09	0,20		0,20
Sel	0,40	0,40	0,37	0,18	0,40	0,25	0,40
Thréonine (98,5%)		0,01			0,15		0,15
Premix vitaminé ^A	0,40	0,40	0,40	0,73	0,10	0,25	0,10
Cobalt						0,08	
Phytase	0,02	0,02	0,02	0,09			
Traces de minéraux ^B					0,10		0,10
Beta glucanase	0,02	0,02	0,02				
Inactivateur de Mycotoxine	0,05	0,05	0,05				
Total	100	100	100	100	100	100	100
Valeurs calculées							
EM (kcal/kg)	3.050	2.950	2.800	2.861	3.050	3.200	3.200
PB (%)					22,10	20,00	20,02
MG (%)					6,30		8,30
Calcium (%)				4,00	0,95		0,90
Phosphate (%)					0,75		0,70
Lysine (%)				0,91	1,19		1,04
Méthionine (%)				0,38	0,57		0,5
Valeurs d'analyse							
PB (%)	21,00	18,50	16,50	18,7	22,05	20,00	19,99
MG (%)	4,00	2,19	2,26	5,77	6,25		8,26
Fibre brutes (%)	3,67	3,86	5,39	3,09			
Cendre (%)				10,80			
Ca (%)	1,05	1,00	0,90	4,27	0,93	0,90	0,88
P (%)	0,70	0,67	0,61	0,21	0,72	0,35	0,67
Lysine (%)	1,20	1,00	0,70		1,17	1,10	1,04
Méthionine (%)	0,60	0,39	0,35		0,59		0,55
Méthionine - Cystéine	0,95	0,70	0,60			0,72	

(1) Sous-produits de volaille (PBM: *Poultry By-products Meal*) est un produit à haute teneur en protéines utilisé comme composant majeur dans certains aliments pour animaux de compagnie. Il est fabriqué à partir de parties de

carcasses de volaille propres et rendues molles et peut contenir des os, des abats et des œufs non développés, (2) L'huile de volaille est dérivée des déchets de volailles (dans les abattoirs) et est utilisée dans les rations alimentaires comme source d'énergie. Cette huile est utilisée comme additif dans l'industrie de la production d'aliments pour les animaux de compagnie et comme ingrédient dans la production d'aliments composés pour l'industrie du porc et de la volaille. **MG** : Matière grasse; **PB**: Protéine brute; **S** : semaine; + : plus; **Premix vitaminé^A**: Dans un kg il y a 7.714 UI vitamine A; 2,204 UI Vitamine D₃; 16,53 UI vitamine E; 0,013 mg vitamine B₁₂; 6,6 mg de riboflavine; 39 mg de niacine; 10 mg d'acide pantothénique; 495 mg de choline; 1,5 mg de vitamine K; 0,9 mg d'acide folique; 1,54 mg de thiamine; 2,76 mg pyridoxine; 0,066 mg d-biotin; 125 mg ethoxyquine; 0,1 mg de sélénium; **Traces minéraux^B**: Dans un kg il y a 100 mg Mn de MnSO₄H₂O; 100 mg Zn de ZnSO₄7H₂O; 50 mg Fe de FeSO₄7H₂O; 10 mg Cu de CuSO₄5H₂O; 1 mg I de Ca(IO₃).

1.2.2. Importance du maïs dans les régimes alimentaires des poulets

Les rappels sur les maïs blancs et jaune sont faits pour connaître leurs teneurs en caroténoïdes et en énergie métabolisable. En effet, le maïs (*Zea mays*) est une céréale d'une importance économique mondiale pour l'alimentation humaine et animale (Farahnaky *et al.*, 2013; Panaite *et al.*, 2015). Les variétés de maïs sont nombreuses (Kljak *et al.*, 2012). Il existe une diversité de couleurs dont les blanche, jaune, violette et orange (Bacchetti *et al.*, 2013; Farahnaky *et al.*, 2013). Les maïs à graines jaunes regroupent diverses variétés (Bacchetti *et al.*, 2013).

A maturité, les teneurs en eau des grains de maïs de 12 à 16% facilitent son transport et sa conservation (Farahnaky *et al.*, 2013). La grande valeur énergétique du maïs est soutenue par des énergies métabolisables (EM) comprises entre 3290 et 3941 kcal/kg MS (Dale et Jackson, 1994; Bellaver *et al.*, 2004; Rodrigues *et al.*, 2015; Tableau 6). Ces valeurs énergétiques trouvent leurs sources dans les importantes proportions de glucides totaux qui fluctuent entre 65 et 78%, les taux de protéine qui oscillent entre 7 et 12% et les taux de matière grasse qui varient entre 3,5 et 5,5% (Maziya-Dixon *et al.*, 2000; Bacchetti *et al.*, 2013; Farahnaky *et al.*, 2013).

Les variations de la concentration des nutriments observées au niveau d'une même désignation telle que le taux de matière grasse, le taux de glucides totaux et celui de protéine sont liées aux sols, aux saisons et à la variété de maïs (Maziya-Dixon *et al.*, 2000; Rios *et al.*, 2014). En plus, la valeur alimentaire varie en fonction du traitement.

Tableau 6. Teneurs en matière grasse, en protéine, en glucides totaux et énergie métabolisable de quelques hybrides de maïs jaune

Désignations	Valeurs	Référence bibliographique
Energie métabolisable (EM) kcal/kg (MS)	3346 - 3516	Dale et Jackson, 1994
	3290 - 3850	Bellaver <i>et al.</i> , 2004
	3927 - 3941	Rodrigues <i>et al.</i> , 2015
Protéine (%)	7,9 - 8,3	Dale et Jackson, 1994
	11,41 - 12,48	Farahnaky <i>et al.</i> , 2013
	7,8 ± 1,1 - 9,01 ± 0,7	Bacchetti <i>et al.</i> , 2013
	7,1 - 7,2	Rodrigues <i>et al.</i> , 2015
Matière grasse (%)	3,3 - 4,1	Dale et Jackson, 1994
	4,55 ± 0,33	Maziya-Dixon <i>et al.</i> , 2000
	2,45 - 3,05	Bellaver <i>et al.</i> , 2004
	4,0 ± 0,4 - 5,5 ± 0,3	Bacchetti <i>et al.</i> , 2013
	4,11 - 4,15	Rodrigues <i>et al.</i> , 2015
Glucides totaux (%)	64,95 ± 0,9 - 72,07 ± 0,8	Farahnaky <i>et al.</i> , 2013
	76 ± 1 - 78 ± 1	Bacchetti <i>et al.</i> , 2013

En effet, le maïs en grains entiers, en grains concassés en grosses particules et en poudre ont différentes valeurs de protéine, de matière grasse et de glucides totaux (Dale et Jackson, 1994). De même, les sous-produits agroindustriels tels que le son de maïs et la farine basse de maïs ont des valeurs alimentaires différentes (Dale et Jackson, 1994; Cesari *et al.*, 2014; Zhao et Kim, 2017).

Les maïs blanc, jaune, violet et orange n'ont pas les mêmes teneurs en caroténoïdes (Rios *et al.*, 2014; Scrob *et al.*, 2014). Rios *et al.* (2014) ont montré que plus la couleur du grain de maïs est vive, plus sa teneur en caroténoïdes totaux est élevée. En effet, en analysant 4 hybrides de maïs jaune-claire et quatre autres jaune-intense, cultivés sur le même sol, au même moment et dans les mêmes conditions naturelles, Rios *et al.* (2014) ont rapporté des teneurs de 24,14±6,77 et 38,65±6,40 µg de caroténoïdes totaux par gramme de matière sèche, respectivement. De même, Scrob *et al.* (2014) ont eu des valeurs croissantes de concentrations de caroténoïdes totaux dans les maïs hybrides de couleur jaune-claire, jaune-foncée et orange. Ainsi, ils ont conclu que la couleur influence la teneur en caroténoïdes totaux des hybrides de maïs (Maziya-Dixon *et al.*, 2000; Scrob *et al.*, 2014). La conclusion de Scrob *et al.* (2014) soutient les travaux de Scott et Eldridge (2005) qui ont rapporté que le maïs blanc n'a que des traces de lutéine et de zéaxanthine, alors que le maïs jaune est très riche en ces deux pigments. Le maïs jaune contient

environ $702,2 \pm 46,6$ μg de caroténoïdes totaux dans 100 g de matière fraîche, alors que le maïs blanc n'en contient que $35,5 \pm 6,3$ μg (Scrob *et al.*, 2014). Conformément à ces hautes teneurs, Maziya-Dixon *et al.* (2000) ont rapporté des concentrations de $200 \pm 3,41$ μg de caroténoïdes totaux par gramme de matière sèche dans certains hybrides de maïs jaune. Dans ces hybrides, les pigments les plus importants sont la lutéine, la zéaxanthine, la α -cryptoxanthine et la β -cryptoxanthine (Scott et Eldridge, 2005; Rios *et al.*, 2014).

Les teneurs de polyphénols totaux qui fluctuent entre $115,4 \pm 9,3$ et $159,9 \pm 4,2$ mg dans 100 g de matière sèche confèrent à ces maïs hybrides une importante activité antioxydante qui fluctue entre 1827 ± 90 et 2429 ± 406 μmol E.Trolox pour 100 g de matière sèche (Bacchetti *et al.*, 2013). De surcroît, le maïs présente des traces d'acides aminés essentiels tels que la lysine, la méthionine, la cystine, la thréonine et le tryptophane pour des valeurs respectives de 0,18; 0,15; 0,151; 0,23 et 0,05% de matière sèche (Rodrigues *et al.*, 2015). Compte tenu de ses avantages sur quelques céréales telles que le mil, le sorgho et le riz, malgré un coût d'achat plus élevé que celui du maïs blanc (Ozor *et al.*, 2018), le maïs jaune est beaucoup utilisé en alimentation de volailles.

En résumé, l'examen des régimes alimentaires (Tableau 5) montre que le maïs reste le composant majeur, car son taux d'incorporation est généralement supérieur ou égal à 40% (Roush *et al.*, 2004; Cesari *et al.*, 2014; Panaite *et al.*, 2015; Zhao et Kim, 2017). Le maïs reste la source essentielle d'énergie (Dale et Jackson, 1994; Bellaver *et al.*, 2004). En plus de l'avantage des caroténoïdes pour la coloration du jaune de l'œuf, comparé au maïs blanc, le maïs jaune contient 16 et 26,21 fois plus de magnésium (Mg) et potassium (K) respectivement (Qamar *et al.*, 2017). Le maïs jaune est plus riche que le maïs blanc en fibre (3% contre 1%) et en protéine (12,5% contre 10%) (Qamar *et al.*, 2017).

1.2.3. Besoins nutritionnels des poulets de chair

L'amélioration génétique par la sélection en vue d'une meilleure expression des gènes a abouti à des performances améliorées. En sept semaines, dans de bonnes conditions hygiéniques, les poulets de chair peuvent peser plus de 2 kg vifs (Wecke et Liebert, 2013). De même, au cours d'une vie économique de douze mois les poules pondeuses, légères ou lourdes, pondent au moins 300 œufs de table (NRC, 1994). Pour atteindre ces performances de croissance et de ponte, l'alimentation doit couvrir les besoins nutritionnels.

1.2.3.1. Besoins nutritionnels du poulet de chair

L'élevage d'une souche lourde de poulets de chair à croissance rapide telles que les RossTM, CobbTM et ArborTM (liste non exhaustive) requiert un équilibre entre les acides aminés (Wecke et Liebert, 2013). Selon ces auteurs, les déséquilibres en manque et en excès du ratio des acides aminés par rapport à la lysine conduisent à une mauvaise valorisation de la protéine disponible dans le régime. Parmi les acides aminés, le crucial facteur limitant est la Lysine (Roush *et al.*, 2004; Wecke et Liebert, 2013; Panaite *et al.*, 2015). Ce constat fait qu'il reste la référence dans la recherche de l'équilibre des régimes alimentaires des volailles. La teneur de la lysine peut fluctuer entre 0,7 et 1,2% sans effet néfaste sur les performances des animaux (Roush *et al.*, 2004; Zhao et Kim, 2017). Cependant, Wecke et Liebert (2013) soutiennent que les acides aminés majeures sont la lysine, la thréonine, le tryptophane, l'arginine, l'isoleucine et la valine.

En vue d'une optimisation de l'effet des acides aminés, Wecke et Liebert (2013) indiquent que les ratios de thréonine, tryptophane, arginine, isoleucine et valine par rapport à la lysine devraient être de 60 et 62, 17, 105, 55 et 65, et 63 et 79, respectivement au démarrage et la croissance pour les Ross 308TM (Tableau 7). NRC (1994) spécifie que du premier jour à la fin de la semaine 3 (1 à 21 jours), de la quatrième à la semaine 6 (22 à 42 jours) et de la semaine 7 à l'abattage (43 à l'abattage), la teneur en protéine brute peut être progressivement diminuée de 23 à 20 et 18%, respectivement.

Tableau 7. Ratios idéaux d'acides aminés (aa) dans les régimes des poulets de chairs par rapport à Lys pour les Ross 308TM

Acides aminés	Lys	Met	Met+Cys	Thr	Trp	Arg	His	Ile	Val	Leu	Phe	Phe+Tyr
Démarrage	100	40	74	60	17	105	34	55	63	110	66	120
Croissance	100	40	74	62	17	105	34	65	79	110	66	120

Source: Wecke et Liebert, 2013

RossTM, CobbTM et ArborTM : Ross : Cobb et Arbor sont des noms commerciaux ; Lys : Lysine, Met : Méthionine; Met+Cys : Méthionine +Cystéine; Thr : Thréonine; Trp :Tryptophane ; Arg : Arginine; His : Histidine; Ile : Isoleucine ; Val : Valine ; Leu : Leucine ; Phe : Phénylalanine ; Phe + Tyr : Phénylalanine + Tyrosine

1.2.3.2. Besoins nutritionnels de la poule pondeuse

Les besoins en protéine brute et en énergie métabolisable des poussins pontes aux poulettes sont repartis en trois étapes dont (a) l'aliment de démarrage qui devrait avoir 18 à 20% de protéine brute (PB) et environ 3000 kcal/kg MS de la première à la semaine 6 ; (b) l'aliment de croissance

qui devrait avoir 14-16% de PB et environ 3000 kcal/kg MS de 6 à 12 semaines et (c) l'aliment de la période pré-ponte qui devrait avoir 12 à 14% de PB et environ 3000 kcal EM/kg MS à partir de 12 semaines jusqu'à la ponte effective qui intervient environ à la semaines 20 (Tableau 8; Chiba, 2009). Afin d'optimiser l'utilisation des nutriments disponibles dans les aliments des poulets, la température ambiante devra être comprise entre 20 et 27,8°C (Chiba, 2009). Ensuite, selon cet auteur, après la collecte des 5 premiers œufs dans un bâtiment de 1000 poulettes, le taux de calcium doit être rehaussé de 2% pour augmenter le calcium disponible pour la formation des coquilles.

Tableau 8. Subdivision en élevage de poudeuse, exigence en protéine brute et en énergie métabolisable

	Age en semaine		
	1-6	7-12	13+
	Démarrage	Croissance	Pré-ponte et ponte
Protéine brute (PB) (%)	18-20	14-16	12-14
EM (kcal/kg MS)	3000	3000	3000

Source : Chiba, 2009

En plus de la satisfaction des besoins physiologiques, les régimes alimentaires des poules pondeuses doivent apporter des caroténoïdes dont les xanthophylles, la lutéine, la zéaxanthine et bien d'autres pigments qui sont dans les boues d'huiles de palmes, dans la farine de luzerne et le maïs jaune (Chiba, 2009; Lokaewmanee *et al.*, 2009, 2010).

NRC (1994) estime que même pendant le pic de ponte, le taux de protéine brute peut être maintenu à 15%, et l'attention doit être portée sur huit acides aminés dont la lysine à 0,69%, l'arginine et la valine à 7% chacune (Tableau 9). Les pondeuses ont également besoin d'acides aminés contenant du soufre à 0,58% (NRC, 1994).

Tableau 9. Exigence pour la protéine brute et les acides aminés les plus limitants pour les poules pondeuses

Nutriments	PB	Lys	Met	aas totaux	Thr	Trp	Arg	Ile	Val
Valeurs (%)	15	0,69	0,3	0,58	0,47	0,16	0,70	0,65	0,70

Source : NRC, 1994

PB: Protéine brute ; aas : acides aminés soufrés ; Lys: Lysine; Met: Méthionine ; Thr : Thréonine ;

Trp : Tryptophane ; Arg : Arginine ; Ile : Isoleucine ; Val : Valine

1.2.4. Formation de l'œuf de la poule

A maturité, le follicule se rompt et libère l'ovule dans l'oviducte, c'est l'ovulation. Cette ovulation se produit généralement dans les minutes qui suivent la ponte de l'œuf précédent et le jaune ne subit aucun développement ultérieur (Nys, 2010; Hy-Line, 2017).

Lors de l'ovulation, le jaune de l'œuf est libéré et récupéré par l'oviducte suivi des dépôts successifs des autres constituants dans les différents segments de l'oviducte au cours d'un processus qui durera entre 23 et 25 heures selon les races (Figure 4). La première fonction de l'infundibulum en forme d'entonnoir est de capter le jaune lors de l'ovulation de l'ovaire. La première couche d'albumine épaisse entourant le jaune est sécrétée dans l'infundibulum. Les précurseurs de la chalaze sont également ajoutés dans l'infundibulum. La chalaze est constituée de brins d'albumine tordus à l'un et l'autre pôle de l'œuf et sert à ancrer le jaune au centre de l'œuf. L'œuf ne passe que 15 à 30 minutes dans l'infundibulum avant de passer dans le magnum (Bain et Hall, 1969; Hy-Line, 2017). La chalaze est constituée de glycoprotéines qui s'apparenteraient aux protéines majeures de la zone pellucide (Takeuchi *et al.*, 1999; Mann, 2008).

La plus grande partie de l'oviducte est le magnum, où l'albumine ou blanc d'œuf est ajouté autour du jaune. L'albumine de l'œuf entourant le jaune est faite de quatre couches distinctes dont deux minces aqueuses (externe et interne), une épaisse externe et finalement une épaisse interne (chalazifère). L'albumine épaisse constitue la plus grande proportion de l'albumine.

L'albumine des œufs constitue environ 60% de l'œuf entier et contient plus de 40 différentes protéines (Hy-Line, 2017). Les protéines majeures de l'albumine sont l'ovalbumine, l'ovotransferrine, ovomucoïde et ovoglobulines. L'ovomucine, une protéine fébrile, est importante pour la qualité de l'albumine, car elle maintient fermement l'albumine dans le gel, lui conférant sa forme et sa substance (Etches, 1996; Nys et Sauveur, 2004; Kaspers, 2016).

Par la suite l'œuf arrive dans l'isthme. Cette région de l'oviducte est l'endroit où les membranes de la coquille (internes et externes) sont ajoutées à l'œuf en développement. Dans l'isthme, des structures spécialisées appelées corps mamillaires sont sécrétées sur les membranes de la coquille. Ces structures sont importantes dans la calcification de la coquille (Kaspers, 2016). Environ 5 heures après l'ovulation du jaune l'œuf arrive dans l'utérus. L'utérus est la glande coquillière, le lieu de la formation de la coquille. Lorsque l'œuf quitte l'isthme, les membranes de la coquille sont molles et ridées.

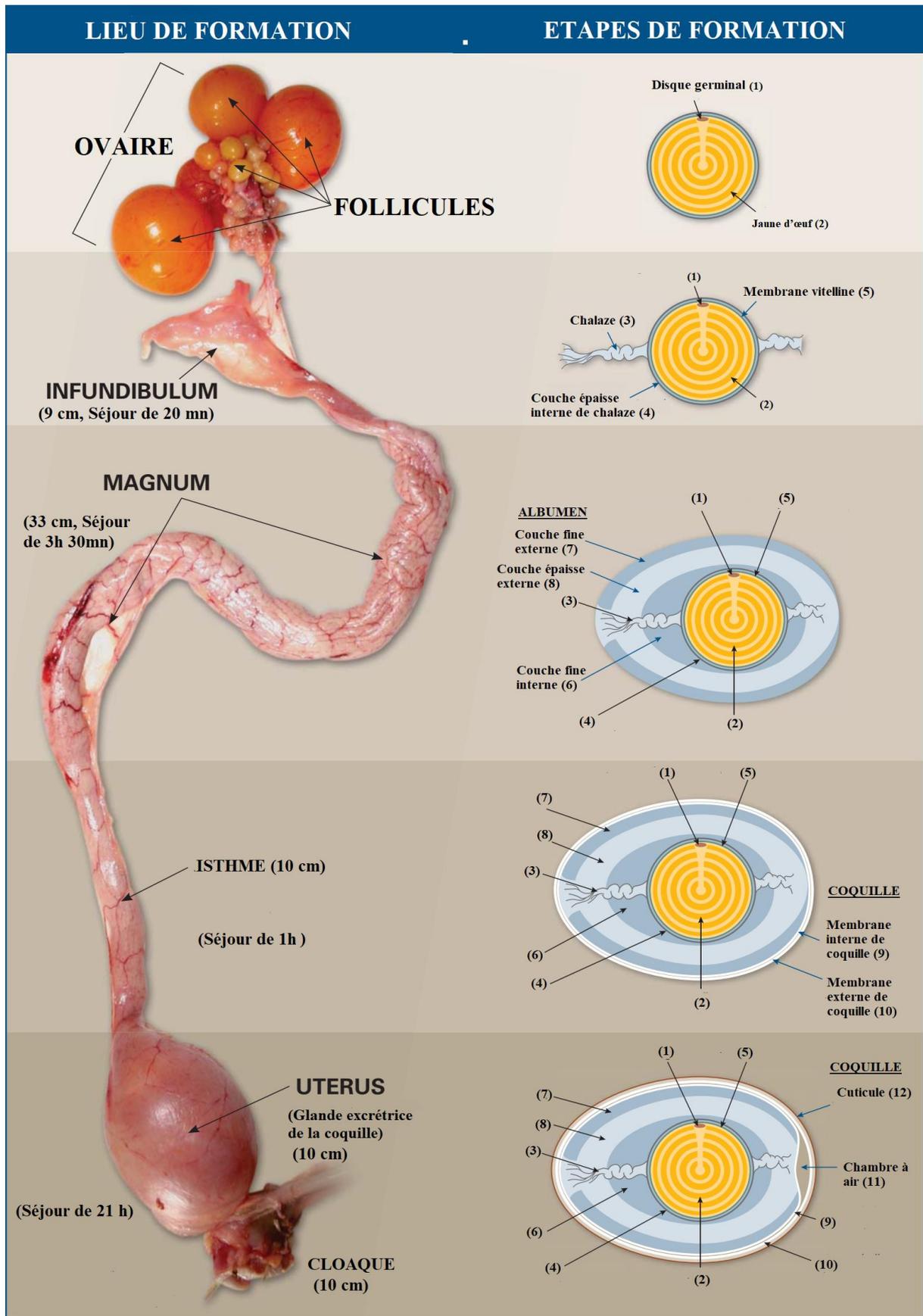


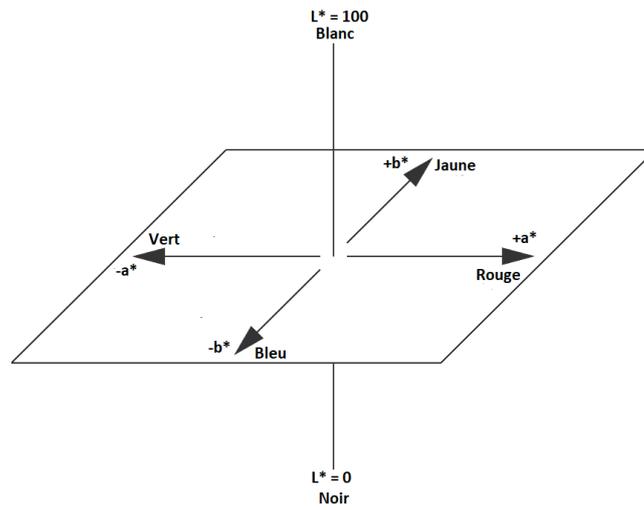
Figure 4. Processus de formation de l'ovule (œuf, en cas de fécondation) (Hy-Line, 2017)

Les membranes de la coquille sont serrées lorsque l'œuf pénètre dans l'utérus par un processus appelé ‘‘plumping’’. L'eau est pompée à travers les membranes d'œuf dans l'albumine. Le volume d'albumine est doublé pendant le processus de ‘‘plumping’’, donnant à l'œuf sa forme finale (Hy-Line, 2017). Tirer la membrane de la coquille et éliminer les rides est essentiel pour une architecture de coquille appropriée et l'optimisation du transfert de calcium pendant la formation de la coquille. Le ‘‘plumping’’ de l'albumine est diminué avec l'âge de la poule et de certaines maladies telle que la bronchite infectieuse (Kaspers, 2016). Le flux sanguin élevé dans l'utérus est essentiel au transfert de grandes quantités de calcium à l'œuf. Typiquement, 2 à 3 grammes de calcium sont ajoutés pendant la formation de la coquille. Les ions calcium et carbonate du sang sont transférés dans le liquide utérin qui baigne la membrane externe de la coquille d'œuf (Nys, 2010). Le calcium est transporté à l'œuf à raison de 300 mg par heure (Sauveur, 1988; Nys, 2010; Kaspers, 2016).

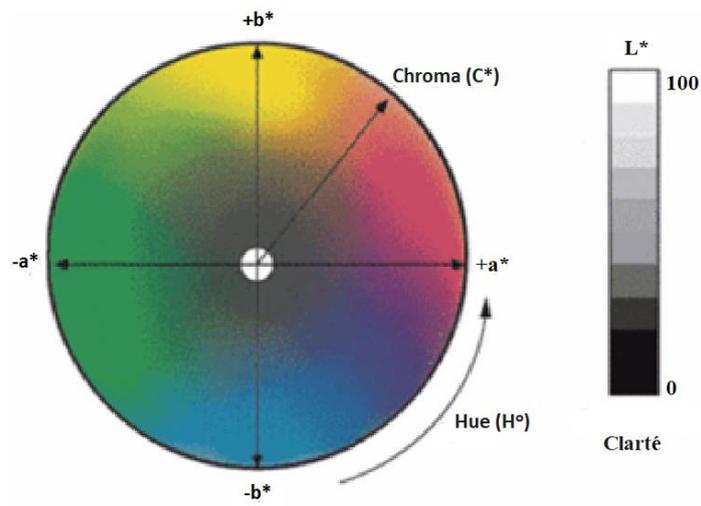
1.2.5. Coloration du jaune de l'œuf et mesure de la couleur

En vue d'améliorer la couleur du jaune des œufs avec des colorants naturels, les industries ont souvent utilisé des poudres de pétales des fleurs de souci (*Calendula officinalis*), de poivron (*Capsicum annuum*), de carottes (*Daucus carota*) et bien d'autres végétaux (Baiao *et al.*, 1999; Hasin *et al.*, 2006; Lokaewmanee *et al.*, 2011). Si l'organisme des poules ne peut pas synthétiser les pigments, il a la capacité de transférer 20 à 60% de ceux-ci des aliments ingérés au jaune d'œuf (Lokaewmanee *et al.*, 2010). La couleur du jaune est entièrement déterminée par les types et les quantités de pigments, naturels ou synthétiques, dans l'alimentation des poules et la capacité de celles-ci à absorber et à assimiler ces pigments (Hasin *et al.*, 2006; Lokaewmanee *et al.*, 2011). Par conséquent, la couleur du jaune n'est pas un trait important pour la sélection (Hy-Line, 2017).

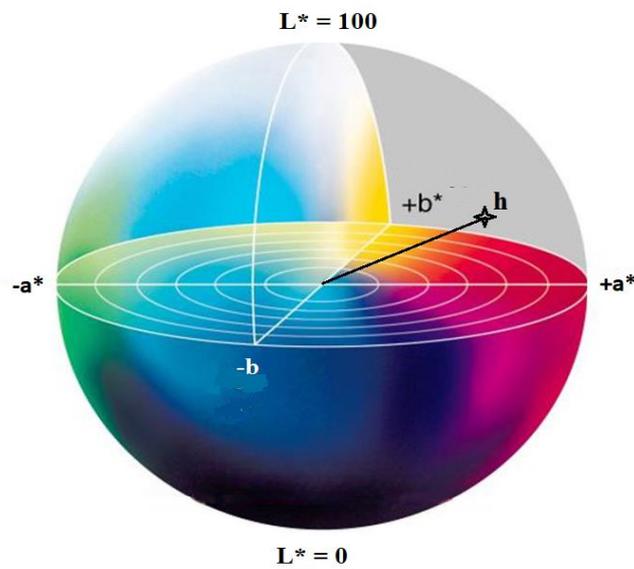
Devant les limites de l'observation à l'œil nu, pour ressortir les différences entre les couleurs, CIE (1976) a instauré le système L*, a* et b* (Figure 5a). L'échelle de couleurs CIELAB est uniforme (CIE, 1976). Dans cette échelle, les différences entre les points dans l'espace colorimétrique correspondent à des différences visuelles entre les couleurs. Cet espace est organisé suivant trois axes dont les axes L*, b* et a*. L'axe L* s'étend de haut en bas, et le maximum 100 correspond à la couleur blanche et le minimum zéro représente la couleur noire. Les axes a* et b* n'ont pas de limites numériques spécifiques. Le positif a* est rouge et le négatif est vert (Figure 5b). Aussi, le positif b* est jaune, tandis que le négatif b* est bleu. Enfin, L* est la brillance, a* est donc la tendance rouge-vert; et b* est la tendance jaune-bleu (CIE, 1976).



a. Repère L^* , a^* , b^*



b. Angle H° dans le repère a^* et b^* , la distance C^* de l'origine (L^*)



c. Sphère des couleurs, distance h de l'origine

Figure 5. Couleurs selon le système L^* , a^* , b^* (CIE, 1976)

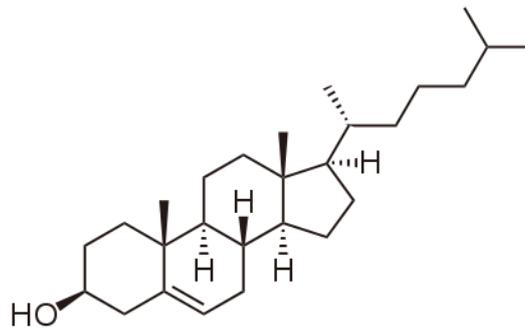
Dans le système de positionnement de chaque point de couleur dans l'espace, aux valeurs L^* , a^* et b^* CIE (1976) associe un angle (H°) par rapport à l'axe rouge-vert ($+a^*$, $-a^*$) dans le sens contraire aux aiguilles d'une montre dans le plan rouge-jaune ($+a^*$, $+b^*$) (Figure 5b). Suivant H° , la distance chroma (C^*) est définie par rapport à l'origine L^* . Quand l'angle H° et la distance C^* sont définis, le positionnement s'achève avec une distance (h) suivant l'axe de la brillance (L^*) (Figure 5C; CIE, 1976).

1.3. Cholestérol

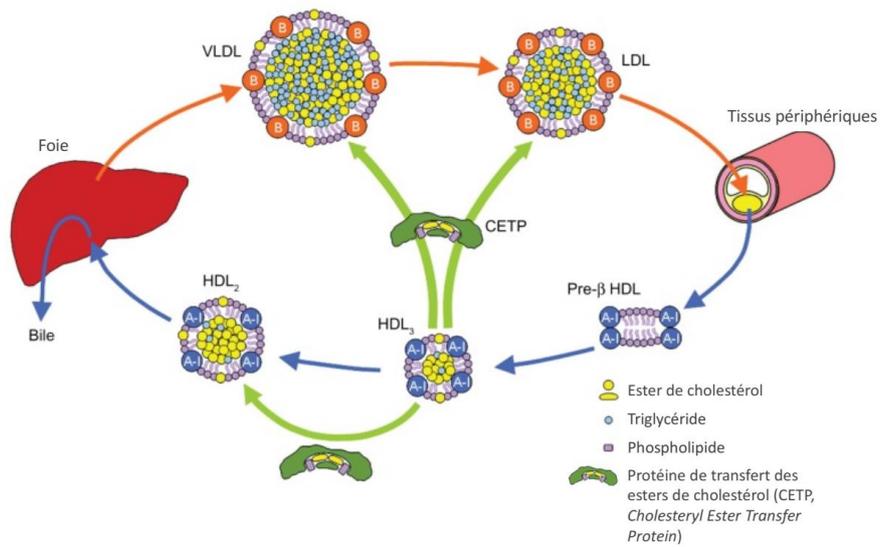
Le cholestérol est produit par le foie et également fourni par l'alimentation (Ma et Shieh, 2006) (figure 6). C'est un lipide dont la structure contient quatre cycles hydrocarbonés liés qui forment la structure volumineuse des stéroïdes (Figure 6a). Il a une queue hydrocarbonée liée à une extrémité du stéroïde et un groupe hydroxyle (OH) lié à l'autre extrémité. Dans l'organisme, le cholestérol est transporté par les lipoprotéines dont celles de très basse densité (VLDL: *Very Low Density Lipoprotein*), de basse densité (LDL: *Low Density Lipoprotein*) et finalement celles de haute densité (HDL: *High Density Lipoprotein*) (Figure 6b).

Une cellule de VLDL est composée d'une couche de phospholipide. Son principal rôle est le transport des triglycérides et du cholestérol sous la forme estérifiée vers des zones de besoins et de stockage. Ces deux molécules sont d'importantes sources d'énergie pour l'organisme (Bitzur *et al.*, 2009). Néanmoins, les VLDL transportent plus de triglycérides que de cholestérol dont la mobilisation est majoritairement réservée aux LDL, des tissus vers le sang. Ainsi au niveau des artères et des veines, sous l'action des VLDL et LDL, les teneurs en triglycérides et en cholestérols s'élèvent dans le sang. Il arrive parfois que le cholestérol transféré par les LDL se retrouve emprisonné entre les couches d'intima et d'épithélium des artères ou des veines (Ma et Shieh, 2006) (Figure 7c). La diminution de la lumière du canal sanguin conduit à une élévation du débit du sang en aval (Ma et Shieh, 2006; Bitzur *et al.*, 2009).

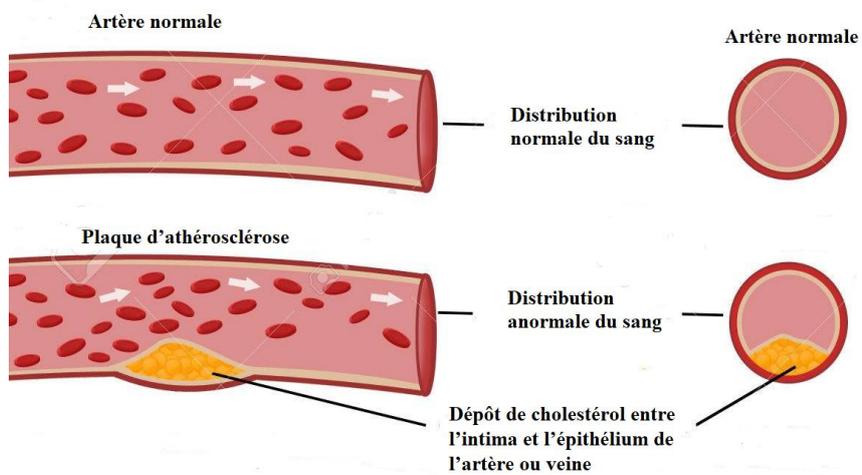
En rétroaction, les lipoprotéines de haute densité (HDL) participent à l'extraction du cholestérol des parois des artères, réduisant ainsi les plaques d'athéroscléroses nées du dépôt du cholestérol par les LDL (Bitzur *et al.*, 2009). Ensuite, elles l'envoient vers le foie et la bile (Ma et Shieh, 2006). En plus, les HDL auraient des propriétés anti-inflammatoires et antioxydantes, en inhibant l'oxydation du cholestérol dans les plaques d'athérosclérose et l'expression des molécules d'adhésion cellulaire (Bitzur *et al.*, 2009).



(a) Cholestérol (Ma et Shieh, 2006)
 $C_{27}H_{46}O$, masse molaire : 386,654 g



(b) Cycle du cholestérol sous l'effet des transporteurs VLDL, LDL et HDL



(c) Formation d'une plaque d'athérosclérose

Figure 6. Cholestérol et son cycle (Ma et Shieh, 2006; Bitzur et al., 2009)

Par ces actions conjuguées, les HDL réduiraient le risque de thrombose en inhibant l'activation et l'agrégation des plaquettes sanguines (Bitzur *et al.*, 2009). Le cholestérol libre ou estérifié et les triglycérides sont les lipides majeurs du plasma sanguin (Chapman *et al.*, 2011). En plus, le cholestérol non estérifié est un composant de nombreuses membranes cellulaires et sert également de précurseur dans la formation des acides biliaires et des hormones stéroïdiennes ; tandis que, les esters de cholestérol sont principalement présents dans le foie, les glandes surrénales et le plasma (Nichols, 1969; Shim *et al.*, 2004).

Selon Ma et Shieh (2006), chez l'homme les teneurs de cholestérol sanguin devraient être maintenues en deçà de 200 mg/dL de plasma sanguin, car des quantités plus importantes pourraient élever la tension artérielle et nuire à la santé du cœur. Le foie synthétiserait suffisamment de cholestérol à telle enseigne que l'apport de cholestérol alimentaire n'est pas nécessaire pour les personnes en bonne santé (Ma et Shieh, 2006).

Comme tous les animaux, les poules régulent les teneurs en cholestérol de leur sang afin de les maintenir dans des intervalles non nuisibles. C'est ainsi que le jaune d'œuf sert de puits de stockage du surplus de cholestérol non nécessaire à l'organisme, et ces teneurs en cholestérol du jaune sont influencées par l'alimentation et la souche (Irandoost et Ahn, 2015). Finalement, avec les humains la recherche a montré que la réponse au taux de cholestérol alimentaire dépend de plusieurs facteurs dont l'ethnie, la génétique, les facteurs hormonaux et l'état nutritionnel du consommateur (Miranda *et al.*, 2015). Le cholestérol est soluble dans les solvants organiques tels que l'éthanol, l'acétone, le chloroforme, l'éther, le méthanol, le benzène, l'hexane et l'isopropyl-myristate.

Les seules concentrations en cholestérol total (Tot.C), en cholestérol HDL (HDL.C), en cholestérol LDL (LDL.C) et en triglycérides (TG) ne permettent pas de prévenir, chez les humains, les accidents vasculaires et cérébraux et ceux des artères coronaires (Lemieux *et al.*, 2001; Fulks *et al.*, 2009). Par contre, les ratios de Cholestérol sur le cholestérol HDL (Tot.C/HDL.C), Triglycérides sur le cholestérol HDL (TG/HDL.C) et Cholestérol LDL sur le cholestérol HDL (LDL.C/HDL.C) donneraient de meilleures indications sur la probabilité d'apparition d'une maladie coronarienne (Lemieux *et al.*, 2001). En effet, Lemieux *et al.* (2001) ont découvert que tous les patients de sexe masculin dont les ratios Tot.C/HDL.C et LDL.C/HDL.C étaient $5,81 \pm 1,68$ et $3,96 \pm 1,35$; respectivement ne souffraient pas de maladie coronarienne. Tandis que tous ceux dont les sérums sanguins présentaient des ratios de

6,67±1,91 et 4,60±1,51 dans le même ordre, souffraient tous de cette maladie. Puisque que la lipoprotéine de haute densité (HDL) collecte le cholestérol dans les vaisseaux sanguins et le ramène au foie, au pancréas et l'excrète hors de l'organisme, son élévation dans l'organisme contribue à éviter les plaques d'athéroscléroses (Ma et Shieh, 2006).

Lemieux *et al.* (2001) ont étendu leurs études aux personnes dites obèses dont l'indice de masse corporelle (IMC) avait une moyenne de 27,6±3,4. Cet IMC est la résultante du poids en kg divisé par le carré de la taille en mètre [$IMC = P_{(kg)} / (Taille_{(mètre)})^2$]. Malheureusement, les sérums de toutes ces 299 personnes obèses avaient d'importantes concentrations en triglycérides et des ratios très élevés de Tot.C/HDL.C et LDL.C/HDL.C de 244±53 mg/dL, 7,98±1,59 et 5,25±1,45 ; respectivement. L'augmentation de 110,34% en triglycérides par rapport aux patients masculins sains (244 contre 116 mg/dL) d'une part, accompagnée d'une chute du cholestérol HDL à 29±4 mg/dL au lieu de 45±9 mg/dL pour les patients sains d'autre part, ont engendré un déséquilibre lipidique au niveau des organismes (Lemieux *et al.*, 2001).

Dans ce même ordre, Fulks *et al.* (2009) sont arrivés à la conclusion que le ratio Tot.C/HDL.C serait le meilleur indicateur de prévention des maladies cardiovasculaires. Leurs études ont porté sur une population de 1488572 personnes possédant toutes une assurance médicale chacune. Après 14 années de suivi, il y a eu 41020 cas de décès. Parmi ces décès, des patients présentaient de faibles concentrations de cholestérol total. D'où l'importance des ratios par rapport aux valeurs intrinsèques des concentrations en cholestérols et en triglycérides.

1.4. Pouvoir antioxydant des extraits des végétaux

Antolovich et al. (2002) définissent un antioxydant comme "toute substance qui, lorsqu'elle est présente à de faibles concentrations, comparée à celles du substrat oxydable, retarde ou inhibe considérablement l'oxydation de ce substrat". L'importance des antioxydants dans le corps humain a été rappelée à plusieurs reprises. En fait, en 1996, à travers une revue, Halliwell (1996) a mentionné que les antioxydants sont nécessaires pour piéger et empêcher la formation des radicaux réactifs de l'oxygène, tels que le superoxyde ($O_2^{\cdot-}$), l'hydroxyle (OH^{\cdot}), le peroxyde (RO_2^{\cdot}), l'alkoxyl (RO^{\cdot}), et beaucoup de radicaux réactifs d'azote comme le cation de nitronium (NO_2^+), l'acide peroxy-nitros ($ONOO^-$) et beaucoup d'autres. Ces anions ou cations peuvent induire des dommages graves dans notre corps. Heureusement, les antioxydants se neutralisent ces systèmes dommageables. Parallèlement au métabolisme de notre corps, de nombreux pièges

d'hydroxyle (OH^-) ont une vitesse d'action élevée, supérieure à 10^{10} Mol/Sec (Halliwell, 1996). Un aliment qui a pouvoir antioxydant élevé est appelé "aliment fonctionnel".

Awika *et al.* (2003) ont mis en évidence le fait que l'acide 2, 2'-azinobis-3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique (ABTS) est peu coûteux et facile à utiliser et par-dessus tout, il est stable face au pH. Prior *et al.* (2005) ont préféré utiliser le radical ABTS^{*+} parce qu'il est intensément coloré, et évaluer la capacité antioxydante devient facile, car la couleur des composés diminue en réagissant directement avec le radical ABTS^{*+} . Au-dessus de ces deux aspects importants (peu coûteux et faciles à utiliser), travaillant sur du sorgho et ses sous-produits, en comparaison avec le 2, 2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH), Awika *et al.* (2003) ont trouvé qu'en utilisant un cation ABTS^{*+} , cela prenait moins de temps pour la préparation de la solution de travail. De plus, l' ABTS^{*+} était plus efficace que la DPPH pour l'évaluation des antioxydants du son de sorgho. Cette efficacité du cation ABTS^{*+} a été observée par Candrawinata *et al.* (2014) qui ont travaillé sur des résidus de pomme, puisqu'au cours de l'extraction à 70°C pendant 60 min, l'activité antioxydante est passée de 746,9 avec DPPH à 1354,45 μg E.Trolox/g avec ABTS^{*+} , cela signifie une augmentation de 81,34%.

Lachman *et al.* (2008) sont arrivés à la conclusion que les aliments colorés tels que les patates douces jaune et violette (*Ipomoea batatas*) sont riches en polyphénols. Dans l'ensemble, plus la couleur de l'aliment est vive, plus sa teneur en polyphénol est élevée (Gil *et al.*, 2002; Albano *et al.*, 2015). Quant à la pulpe séchée de *B. aethiopum*, Ali *et al.* (2010a) ont obtenu $274,38 \pm 0,19$ mg de phénols totaux dans 100 g de matière fraîche. Dans le même ordre, Oryema et Oryem-Origa (2016) ont eu 2723 μg de caroténoïdes dans 100 g de pulpe sèche de *B. aethiopum*. Compte tenu des coefficients de corrélation positifs de 97,1% annoncé par Awika *et al.* (2003) et de 93,07% indiqué par Teow *et al.* (2007) entre la teneur en polyphénol et l'activité antioxydante, l'activité antioxydante des extraits de la pulpe séchée de *B. aethiopum* pourrait être importante, même si Ali *et al.* (2010a), Oryema et Oryem-Origa (2016) ne l'ont pas mesurée.

1.5. Conclusion sur la bibliographie

Malgré son intéressante valeur nutritive, l'exploitation du vin de palme tue les pieds de *B. aethiopum* et conduit à leur éloignement des habitats humains. Alors que, l'utilisation de la pulpe jaune-orangée des fruits mûrs pour faire des pâtes alimentaires ou leur culture pour produire des hypocotyles sont des activités pérennes. Compte tenu de sa valeur énergétique qui

est semblable à celle du maïs jaune et sa teneur élevée en carotènes, l'incorporation de la pulpe séchée des fruits mûrs de *B. aethiopum* dans les régimes de volaille serait envisageable. Son incorporation aiderait à utiliser le maïs de toute couleur en corrigeant la teneur en caroténoïdes. Même si, grâce à ses polyphénols elle a un intéressant pouvoir antioxydant, son incorporation dans les régimes alimentaires devrait être évaluée car elle pourrait être une importante source de cholestérol alimentaire. Si, son calcium s'avère assimilable par l'organisme des poulets, la pulpe séchée serait une importante source de calcium pour l'ossification du squelette des poulets de chair et l'élaboration de la coquille de l'œuf.

II: MATERIEL ET METHODES

Afin de connaître la proportion des composants des fruits mûrs de *Borassus aethiopum* dont la peau, les graines et la pulpe et étudier la valeur nutritive de la pulpe séchée, des fruits ont été collectés. Suite aux analyses bromatologiques, une température optimale a été retenue et des régimes alimentaires ont été formulés pour des poulets de chair et des poules pondeuses. Après leurs nutrition, les cholestérols et les triglycérides du plasma sanguin des poulets de chair (souche Cobb 500) ont été quantifiés. Ensuite, en utilisant des poules pondeuses (Souche Harco, âgées de 42 semaines) un essai de coloration du jaune d'œuf a été conduit. Finalement, les teneurs en cholestérol total et en triglycérides des jaunes d'œuf ont été évaluées. Le matériel végétal, les animaux, les appareils de laboratoire et les méthodes utilisés sont présentés afin de permettre une reprise éventuelle en tout temps et en tous lieux.

2.1. Collecte des fruits mûrs et séchage de la pulpe

Dans le cadre des analyses préliminaires, des fruits mûrs de *B. aethiopum* (Figure 7. K) ont été collectés de façon aléatoire aux pieds des arbres après leurs chutes consécutives à leur maturité physiologique. Puis, ils ont été triés en vue d'éliminer les endommagés. Après le tri, 160 fruits ont été nettoyés à l'aide d'un chiffon sec, pesés avec une bascule de laboratoire (Marque Radwag, portée maximale de 2100 g; portée minimale de 0,5 g; précision 0,01 g), et épluchés à l'aide de couteaux très tranchants. Les différents constituants du fruit et son calice dont la peau, la pulpe les grains et les sépales ont été pesés (Figure 7. L, O, P). Juste après, les pulpes ont été placées dans une étuve, en minces couches (Figure 7. M) et séchées à 40, 50, 60, 70 et 80°C jusqu'à atteindre d'un poids constant.

La pulpe séchée (Figure 7.N) ainsi obtenue a été pilée dans un mortier traditionnel en bois. En dernier essor, la poudre obtenue a été tamisée à l'aide d'un tamis de laboratoire (Iso 3310-1 body36 LMESHs-Steel/RFS/N 04003699, 200mmx50mm). En tenant compte des températures de séchage, les farines ont été mises dans des bouteilles en verre afin d'éviter les échanges d'air avec l'extérieur et celles-ci ont été bien fermées, emballées dans un sac et mises dans un placard à la température ambiante. Ainsi, à l'abri de la lumière et de l'humidité, les échantillons ont été conservés jusqu'aux analyses chimiques. Afin d'enlever toute humidité éventuelle survenue au stockage, avant toute analyse, chaque échantillon a été réchauffé à sa température initiale de séchage pendant 2 heures et refroidi dans un dessiccateur contenant du gel de silice pendant 30 minutes.

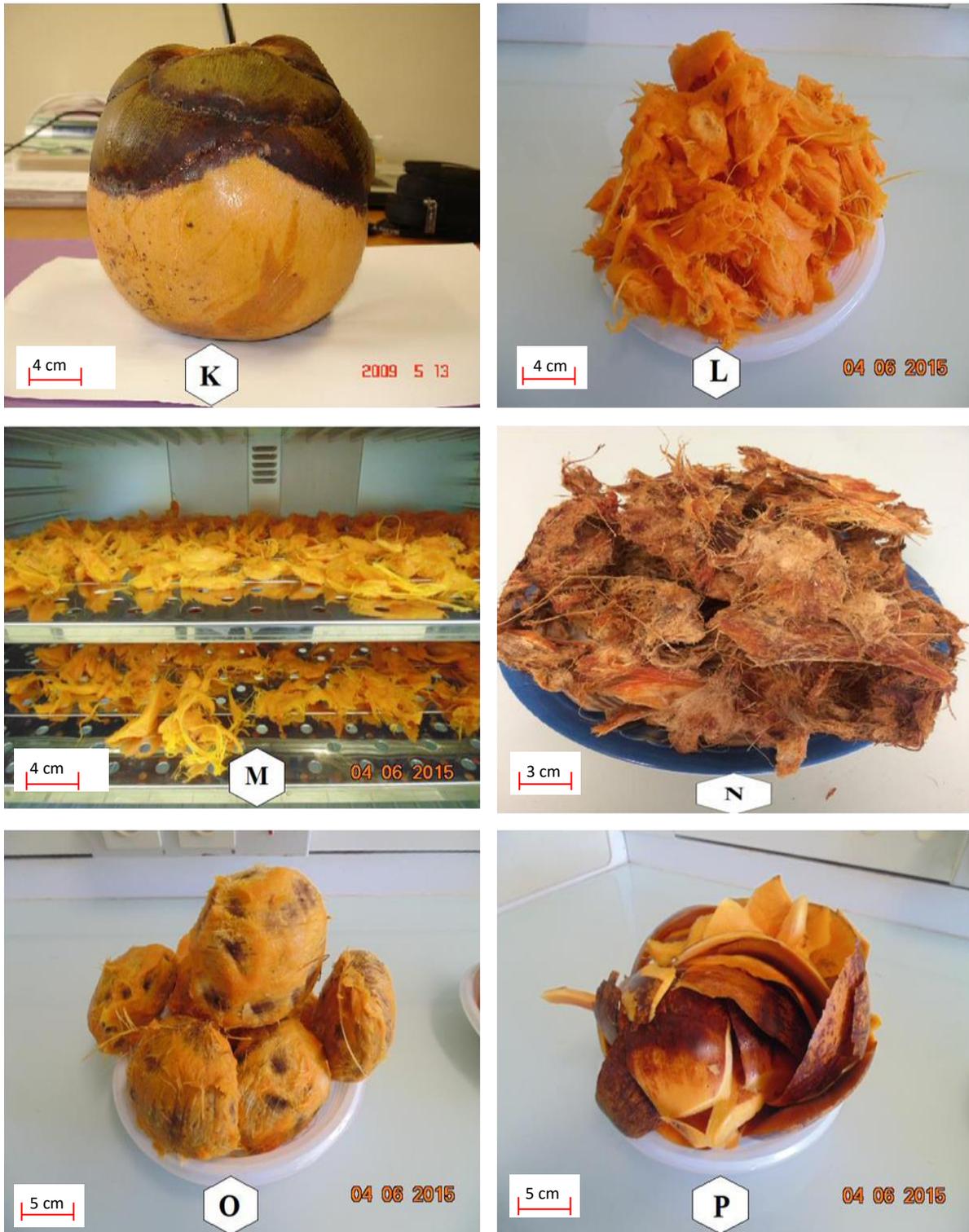


Figure 7. Fruits et ses composants, méthode de séchage et pulpe séchée

(K) Fruit entier, (L) Pulpe fraîche, (M) Pulpe en séchage dans une étuve, (N) Pulpe séchée, (O) Graines fraîches, (P) Peau fraîche

2.2. Valeur nutritive de la pulpe séchée

Afin de calculer l'énergie métabolisable à chaque température de séchage, les analyses usuelles ont concerné le taux de matière sèche, de protéine, des minéraux et de matière grasse. Cette approche a permis d'identifier une température optimale.

2.2.1. Matière sèche

Des creusets en porcelaine ont été préparés et mis à l'étuve à 105°C pendant 20 minutes. Après ce séjour, ils ont été refroidis au dessiccateur pendant 15 minutes et identifiés chacun par un numéro. Chaque creuset a été pesé et son poids a été notée P_{cr} . Immédiatement après, 2 g d'échantillon en poudre ont été mis dans le creuset, le tout (creuset + échantillon) a été pesé et le poids a été notée P_1 . Dans un troisième temps, le creuset contenant l'échantillon a été mis à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. Finalement, quand le creuset a été retiré de l'étuve, il a été refroidi à nouveau au dessiccateur pendant 20 à 30 minutes et repesé. Le nouveau poids enregistré a été notée P_2 . Ainsi, la perte de poids entre P_1 et P_2 représente les vapeurs d'eau restantes dans l'échantillon après le premier séchage. En effectuant les opérations $P_1 - P_{cr}$ d'une part et $P_2 - P_{cr}$ d'autre part, les poids de l'échantillon avant le séchage et celle de l'échantillon après le séchage à 105°C ont été déterminées (AOAC, 1990). D'où la relation donnant le taux de la matière sèche (MS) de l'échantillon est l'équation 1.

$$MS = \frac{P_2 - P_{cr}}{P_1 - P_{cr}} * 100\% \quad (\text{Eq. 1})$$

2.2.2. Minéraux

Après la détermination du taux de la matière sèche (MS), les creusets contenant les échantillons séchés à 105°C pendant 24 heures ont été placés dans un four à moufle à 550°C pendant 6 à 8 heures afin d'obtenir les matières minérales (MM). Après l'incinération des échantillons, les creusets ont été de nouveau refroidis dans le dessiccateur et pesés. La poids obtenue (creuset + cendre) a été notée P_3 . Comme précédemment, le taux des cendres est donné par l'équation 2.

$$MM = \frac{P_3 - P_{cr}}{P_2 - P_{cr}} * 100\% \quad (\text{Eq. 2})$$

Les concentrations en Ca, Mg, K et P ont été déterminées selon l'approche de AOAC (1990). En tenant compte des températures initiales de séchage (40, 50, 60, 70 et 80°C), un échantillon de 0,4 g de pulpe séchée finement broyée a été placé dans un creuset en porcelaine. Cette prise

d'essai a été placée dans un four à moufle à 550°C pendant 6h. Après la calcination, les cendres ont été refroidies pendant 30 mn dans un dessiccateur à gel de silice. Une solution de 2 mL de HCl concentrée 37% diluée au demi a été ajoutée aux cendres. Ainsi, le creuset contenant les cendres et l'acide a été chauffé dans un bain de sable chauffé à 120°C jusqu'à l'évaporation complète du liquide. Dans la continuité, le creuset a été remplacé dans une étuve à 105°C pendant 1 h. Après ce chauffage, l'ensemble a été refroidi et encore 2 mL d'une solution de HCl concentré à 37% dilué au demi ont été ajoutés et le contenu a été ensuite filtré dans une fiole de 100 mL. Le creuset a été rincé plusieurs fois à l'eau distillée jusqu'au remplissage de la fiole au trait de jauge. Ainsi, les concentrations de Ca, Mg, K, Fe et Na ont été obtenues par la spectrométrie à absorption atomique, et celle de P a été évaluée par la méthode de colorimétrie.

2.2.3. Protéine

Pour doser l'azote, chaque échantillon séché (40, 50, 60, 70 et 80°C) a été chauffé avec de l'acide sulfurique concentré qui, à l'ébullition, détruit les matières organiques par son action oxydante. Le carbone et l'hydrogène se dégagent à l'état de dioxyde de carbone (CO₂) et d'eau (H₂O). L'azote transformé en ammoniac est fixé par l'acide sulfurique à l'état de sulfate d'ammoniaque. Du sulfate de cuivre en poudre a été utilisé comme catalyseur. La température d'ébullition de l'acide sulfurique est augmentée en ajoutant du sulfate de potassium. Enfin, le gaz ammoniac formé est déplacé de ses combinaisons par la soude caustique, distillé et recueilli dans une solution d'acide sulfurique (1N), puis dosé par une solution d'hydroxyde de sodium NaOH (1N). La teneur en azote (N) est déterminée à l'aide de l'équation 3, où M_{éch} est le poids de l'échantillon. La valeur de l'azote ainsi obtenue a été multipliée par 6,25 pour déterminer le taux de protéine, la matière azotée totale (MAT), (AOAC, 1990).

$$N = \frac{N(H_2SO_4) * V(H_2SO_4) * 1,40067}{M_{éch} * MS} \quad (\text{Eq. 3})$$

2.2.4. Matière grasse et profil en acides gras

La matière grasse (MG) contenue dans chaque échantillon déjà séché (40, 50, 60, 70 et 80°C) a été déterminée. Ensuite des échantillons ont été envoyés en France pour le diagnostic du profil en acides gras.

2.2.4.1. Matière grasse

L'extraction de la matière grasse a été faite avec l'hexane pendant 2 heures, selon la méthode de AOAC (1990). Ainsi, 0,5 g d'échantillon a été pesé, puis emballé dans du papier buvard qui

a été ensuite mis dans l'extracteur. Nous avons noté M_0 et M_1 les poids du papier buvard seul et celle du papier buvard contenant l'échantillon, respectivement. En dessous de l'extracteur se trouvait un ballon rempli avec 250 mL d'hexane et au-dessus un dispositif réfrigérant. Le chauffage a été effectué pendant 2 heures à 400°C. Pendant cette durée, l'hexane montait du ballon vers l'extracteur pour être en contact avec l'échantillon afin d'extraire la matière grasse. Dès que l'extracteur est rempli, l'hexane redescend par siphonage. A la fin de la seconde heure d'extraction, l'échantillon emballé a été récupéré et mis à l'étuve pendant 2 heures. Il a ensuite été refroidi dans le dessiccateur et pesé. Le poids du papier buvard contenant l'échantillon extrait a été notée M_2 . Analogiquement, l'équation 4 donne le pourcentage de la matière grasse.

$$MG = \frac{M_1 - M_2}{(M_1 - M_0) * MS} * 100\% \quad (\text{Eq. 4})$$

- M_0 : Poids du papier buvard ;

- M_1 : Poids du papier buvard + échantillon avant l'extraction ;

- M_2 : Poids du papier buvard + échantillon après l'extraction.

2.2.4.2. Profils des acides gras

Les profils des acides gras ont été réalisés sur des échantillons secs écrasés et tamisés à l'Institut National de Recherches Agronomiques (INRA), Unité Mixte de Recherche 1348, 35590 Saint-Gilles, Rennes, France. Ils ont été déterminés par chromatographie en phase gazeuse (CPG, Agilent 6890N, Bios Analytic, Toulouse, France), équipé avec un injecteur modèle 7683. Une colonne capillaire en silice fondue a été utilisée (BPX 70, 60m x 0,25mm; SGE, Villeneuve-St Georges, France) avec une phase polaire stationnaire de 70% cyanopropyl polysilphenylene - siloxane (0,25 μm film d'épaisseur), à l'université de Renne, France. La température du détecteur à ionisation de flamme était maintenue à 260°C et celle de l'injecteur à 250°C avec un rapport de split de 1:10. Le gaz vecteur était l'hélium avec un débit constant de 1,5 mL/min. La température initiale du four était de 150°C, puis augmentée de 1,3°C/min jusqu'à 220°C, augmentée de 40°C/min jusqu'à 260°C, maintenue à 260°C pendant 5 min (Legrand *et al.*, 2010). L'identification des esters méthyliques d'acide gras a été basée sur les temps de rétention obtenus pour des méthyl-ester préparés à partir de standards commerciaux (Sigma, St. Louis, USA).

2.2.5. Energie métabolisable des pulpes séchées

Les calculs des énergies métabolisables (EM) des différents produits séchés à 40, 50, 60, 70 et 80°C ont été possibles après les évaluations des taux de matière sèche, de protéine, de matière

grasse, des cendres et des glucides totaux. L'appréciation de la valeur énergétique des aliments de volailles peut être faite suivant la méthode Fisher et McNab (1987) qui est spécifique à l'EM des volailles. Cette méthode tient compte du taux des sucres réducteurs totaux et de celui de l'amidon qui résulte de la différence entre les glucides totaux et les sucres réducteurs totaux. En plus, l'EM peut être appréciée par la méthode de FAO (2003) qui donne l'EM de l'aliment sans tenir compte de l'animal qui le mangerait. Ces deux méthodes ont été utilisées à titre comparatif.

2.2.5.1. Glucides totaux

Par la méthode de la différence (FAO, 2003), les extractifs non azotés (ENA) ou encore les glucides totaux (G_T) ont été déterminés selon l'équation 5.

$$G_T = 1 - (PB + MM + MG + EAU) \quad (\text{Eq. 5})$$

Où **PB**: Protéine brute; **MM**: Matière minérale; **MG**: Matière grasse; **EAU**=1-MS (matière sèche)

2.2.5.2. Sucres réducteurs

La méthodologie de Dubois *et al.* (1956) a été légèrement modifiée pour se conformer à la haute capacité d'absorption d'eau de la poudre de la pulpe séchée de *Borassus aethiopum* (Ali *et al.*, 2010c). Ainsi, à 5 grammes d'échantillon introduits dans un flacon de 200 mL, 50 mL d'eau distillée chauffée à 60°C ont été ajoutés. Le mélange a ensuite été agité jusqu'à refroidissement. Après cette infusion, le mélange a été centrifugé et le surnageant a été filtré à l'aide d'un papier filtre (Prat Dumas France, ϕ 190 mm, lot no 106-12-0315, réf: j019106-100 unités). Le filtrat a été placé dans une fiole jaugée de 100 mL et celle-ci a été remplie d'eau distillée jusqu'à la ligne de jauge. En raison de la forte saveur sucrée de la pulpe, de nouveau, 1 mL du milieu a été recueilli, placé dans une fiole jaugée de 50 mL et ensuite remplie avec de l'eau distillée jusqu'à la ligne de jauge. Par la suite, 100 μ l de l'extrait ont été recueillis et introduits dans un tube à essai. Puis, 0,9 mL d'eau distillée, 1 mL de phénol (5%, masse/volume) et 5 mL d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré (95%) ont été ajoutés successivement. Le mélange a été laissé reposer pendant 8 heures à la température ambiante à l'abri de la lumière. Enfin, les lectures ont été effectuées au spectrophotomètre Jasco V530 UV-visible à 490 nm avec de l'eau distillée comme blanc.

Les concentrations des sucres réducteurs (S_R) sont données en microgrammes par millilitre ($\mu gS_R/mL$) (Dubois *et al.*, 1956). Le résultat peut être converti en microgrammes de sucres

réducteurs totaux par milligramme d'échantillon ($\mu\text{gS}_R/\text{mgEch}$) en multipliant par un facteur de 70 (7mL/0,1mg), où 7 mL est le volume final du mélange utilisé pour les lectures à 490 nm et 0,1mg est le poids correspondant de l'échantillon dans ce milieu final. Une courbe d'étalonnage a été précédemment établie, sur la base d'une gamme de 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ de solutions mères de glucose préparées dans les mêmes conditions que le test (Figure 8). Enfin, cette concentration est rapportée à la matière sèche (Eq. 6).

$$[\text{Sucres reducteurs}] = 70 * \mu\text{g} * \frac{S_R}{\text{mL}} * \frac{\text{mL}}{\text{mgEch} * \text{MS}} = 70 * \mu\text{g} * \frac{S_R}{\text{mgEch} * \text{MS}} \quad (\text{Eq. 6})$$

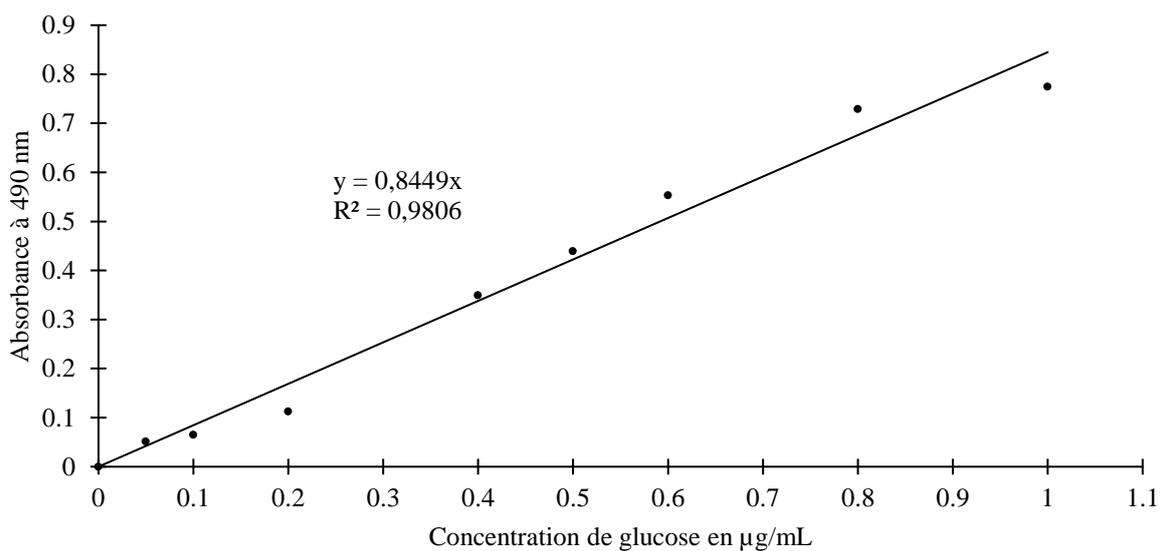


Figure 8. Courbe standard pour l'évaluation des sucres réducteurs établie avec des solutions de glucose

En affectant des coefficients au taux de protéine, de matière grasse, de sucres réducteurs et d'amidon (Eq. 7) Fisher et McNab (1987) obtiennent l'énergie métabolisable en mégajoule par kilogramme (MJ/kg) de matière sèche suivant l'équation 8.

$$\text{Amidon} = 0,9 * (G_T - S_R) \quad (\text{Eq. 7})$$

$$EM_{(\text{MJ}/\text{kg})} = 0,155 * PB + 0,343 * MG + 0,13 * S_R + 0,167 * \text{Amidon} \quad (\text{Eq. 8})$$

Où G_T : Glucides totaux, S_R : Sucres réducteurs, PB : Protéine brute, MG : Matière grasse.

Après avoir déduit le taux des glucides totaux suivant l'équation 6' (équation 5 pour 100 g), le modèle FAO (2003) prend en compte les protéines brutes, les glucides totaux et la matière grasse (équation 9). FAO (2003) estime l'énergie métabolisable en kilocalorie par gramme (kcal/g) de matière.

$$G_T(\%) = 100 - (PB + MG + EAU + MM)\% \quad (\text{Eq. 5'})$$

$$EM_{(\text{kcal/g})} = 3,36 * PB + 8,37 * MG + 3,6 * G_T \quad (\text{Eq. 9})$$

Où **G_T** : Glucides totaux, **MM** : Minéraux (cendres), **PB** : Protéine brute,
MG : Matière grasse, **EAU** : 1-MS (matière sèche)

2.3. Polyphénols totaux et pouvoir antioxydant des extraits

A l'entame du séchage de la pulpe à différentes températures, la première hypothèse était " la température de séchage influencerait la valeur nutritive de la pulpe". C'est ainsi que lors de la caractérisation des pulpes séchées, le pouvoir antioxydant des extraits des pulpes séchées a été étudié. Enfin, cette caractérisation a été achevée avec la composition en acides gras.

2.3.1. Solvants et extractions des échantillons

Trois solvants dont l'eau distillée (DW), une solution aqueuse de méthanol (DW+Meth, 30/70, v/v) et une solution analytique d'acétone (DW+Aceto) formulée de la même manière ont été préparées (Jeong *et al.*, 2004). En ce qui concerne les méthodes d'extraction des échantillons, la décoction et la macération ont été effectuées. Tout d'abord, la macération a été effectuée en mettant 1 g de l'échantillon farineux de la pulpe séchée de *B. aethiopum* dans un flacon de 50 mL. Juste après, nous avons ajouté 20 mL de solvant dans le ballon. Un agitateur magnétique a été immergé dans la solution mélange. Le ballon a été placé sur un agitateur électrique. Le ballon a été fermé avec du papier aluminium pour éviter les évaporations. L'extraction a duré 8 h. La solution a été filtrée à l'aide d'un coton propre.

Quant à la décoction, suivant la méthode de Dénigès (1931), un système en circuit fermé comprenant un système de chauffage surmonté d'un système de refroidissement a été monté. La plaque chauffante a été chauffée à 100°C pendant 30 mn, et la solution a été filtrée. Les solutions ainsi obtenues après les filtrages sont les "extraits".

2.3.2. Polyphénols totaux

La méthode de Wood *et al.* (2002) a été utilisée pour le dosage des polyphénols totaux. Un volume de 2,5 mL de réactif de Folin-Ciocalteu dilué au dixième a été ajouté à 30 µL d'extrait. Le mélange a été maintenu pendant 2 minutes à l'obscurité à température ambiante, puis 2 mL de solution de carbonate de sodium (75 g.L⁻¹) ont été ajoutés. Ensuite, le mélange a été incubé pendant 15 minutes au bain-marie à 50°C, puis refroidi rapidement à l'aide d'une eau de robinet.

L'absorbance a été lue à 760 nm au spectrophotomètre (Shimadzu UV-1601 PC, Kyoto, Japan), avec de l'eau distillée comme blanc. Une droite d'étalonnage a été réalisée avec l'acide gallique à différentes concentrations (Figure 9).

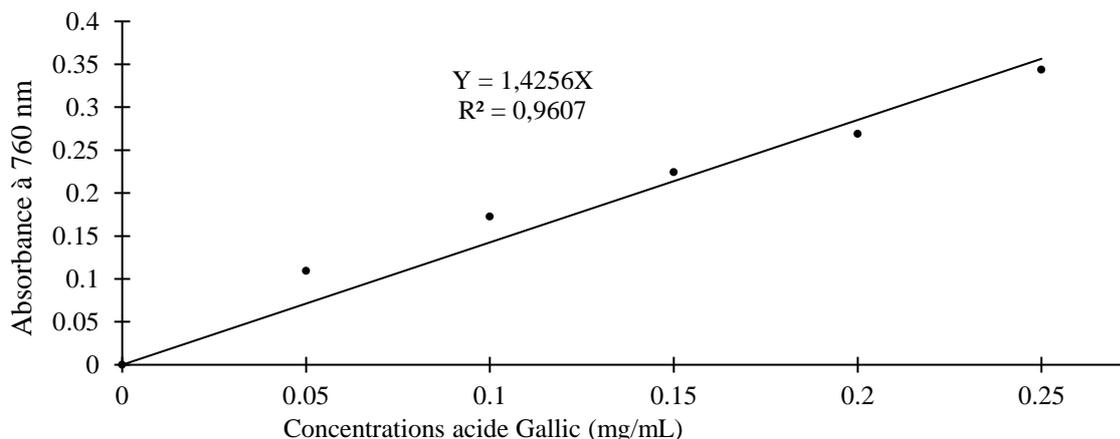


Figure 9. Courbe d'étalonnage avec l'acide gallique à différentes concentrations pour la détermination de la concentration en polyphénols totaux

La concentration en polyphénols a été exprimée en g par litre d'extrait équivalent acide gallique (g.L⁻¹, EAG). Cette concentration peut être convertie en g.EAG/g (g GAE/g) en multipliant par un factor de 3,02 (4,53 mL/1,5 mg), où 4,53ml est le volume final du mélange utilisé pour les lectures et 1,5 mg est le poids correspondant de l'échantillon dans ce volume final du mélange.

2.3.3. Flavonoïdes totaux

Le dosage des flavonoïdes totaux a été réalisé selon la méthode décrite par Marinova *et al.* (2005). Dans une fiole de 25 mL; 0,75 mL de nitrite de sodium (NaNO₂) à 5% (m/v) a été ajouté à 2,5 mL d'extrait. Au mélange, 0,75 mL de chlorure d'aluminium (AlCl₃) à 10% (m/v) a été additionné, puis l'ensemble a été incubé pendant 6 minutes à l'obscurité. Une fois ce temps écoulé, 5 mL de soude (NaOH, 1N) y ont été ajoutés et le volume a été complété à 25 mL. La préparation a été vigoureusement agitée avant le dosage des flavonoïdes totaux à 510 nm au spectrophotomètre UV-visible. Une courbe d'étalonnage a été établie (Figure 10), et les teneurs en flavonoïdes totaux des extraits ont été exprimées en gramme par litre d'extrait équivalent quercétine (g.L⁻¹ EQ). Ce résultat peut être converti en g EQ/g en multipliant par un factor de 0,2 (25 mL/125 mg), où 25 ml est le volume final du mélange utilisé pour les lectures et 125 mg est le poids correspondant de l'échantillon dans ce volume final du mélange.

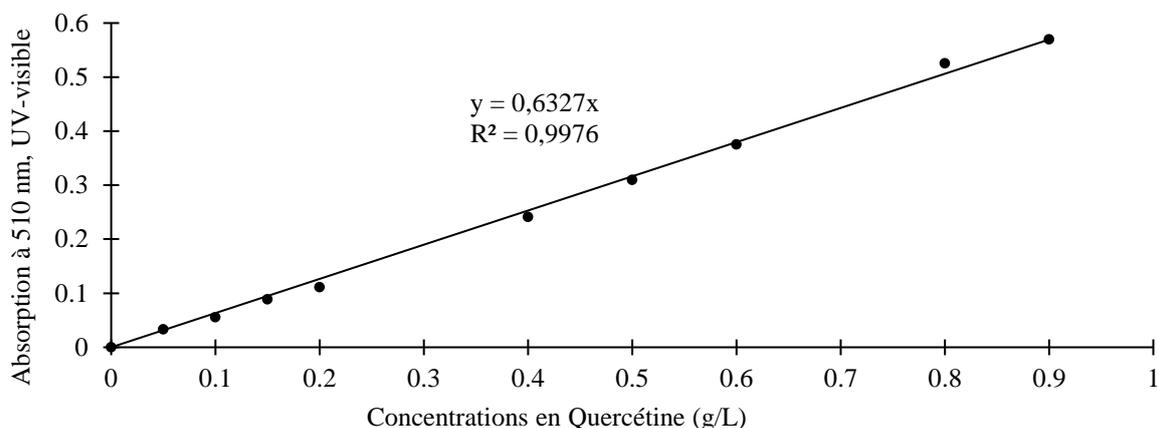


Figure 10. Courbe d'étalonnage avec la Quercétine à différentes concentrations, pour la détermination de la teneur en flavonoïdes totaux

2.3.4. Activité antioxydante des extraits

Cette méthode est basée sur la capacité des composés à réduire le radical-cation $ABTS^{*+}$ (acide 2,2'-azinobis-3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique) (Figure 11). Le test a été réalisé selon la méthode décrite par Teow *et al.* (2007). Le radical-cation $ABTS^{*+}$ a été produit par réaction de 8 mM ABTS (87,7 mg dans 20 mL d'eau distillée) et 3 mM de persulfate de potassium (0,0162 g dans 20 mL eau distillée) dans un ratio 1:1 (v/v). Le mélange a été ensuite incubé à l'obscurité à température ambiante pendant 12 à 16 heures. Cette solution d' $ABTS^{*+}$ a été diluée avec du méthanol de sorte à obtenir une solution dont l'absorbance se situait dans l'intervalle $0,7 \pm 0,02$ à 734 nm. Ainsi, une prise d'essai de 3,9 mL de cette solution diluée d' $ABTS^{*+}$ ont été ajoutés à 100 μ l du composé à tester. Après agitation, le mélange a été incubé pendant 6 minutes à l'obscurité à $30 \pm 2^\circ C$.

L'absorbance résiduelle du radical $ABTS^{*+}$ a été ensuite mesurée à 734 nm en UV-visible au spectrophotomètre et devrait être comprise entre 20 et 80% de l'absorbance du blanc. Les essais ont été réalisés en triple et les résultats ont été exprimés en μ mol équivalent Trolox par litre d'extrait (μ mol E.Trolox/L). L'activité des composés est exprimée en Equivalent Trolox (E.Trolox) qui correspond à la concentration de Trolox. Ainsi, plus la valeur E.Trolox est élevée, plus l'antioxydant est efficace. Les concentrations suivantes de Trolox, 0,375 μ M; 0,5 μ M; 0,625 μ M; 1 μ M; 1,125 μ M; 1,375 μ M et 1,5 μ M ont été préparées et le taux d'inhibition (I(%)) de l' $ABTS^{*+}$ a été exprimé suivant l'équation 10. La concentration en Trolox de l'extrait a été obtenue avec l'équation 11.

$$I(\%) = \frac{Abs_{Contrôle} - Abs_{Extrait}}{Abs_{Contrôle}} * 100 \quad (\text{Eq. 10})$$

$Abs_{contrôle}$ est l'absorbance de la solution de $ABTS^{*+}$ diluée,

$Abs_{extrait}$ est l'absorbance de la solution de $ABTS^{*+}$ diluée + échantillon

$$\text{Concentration de l'extrait} = \frac{I(\%)*Fd}{4,9901} \quad (\text{Eq. 11})$$

4,9901 est le coefficient directeur de la droite d'étalonnage de Trolox, Fd est le facteur de dilution.

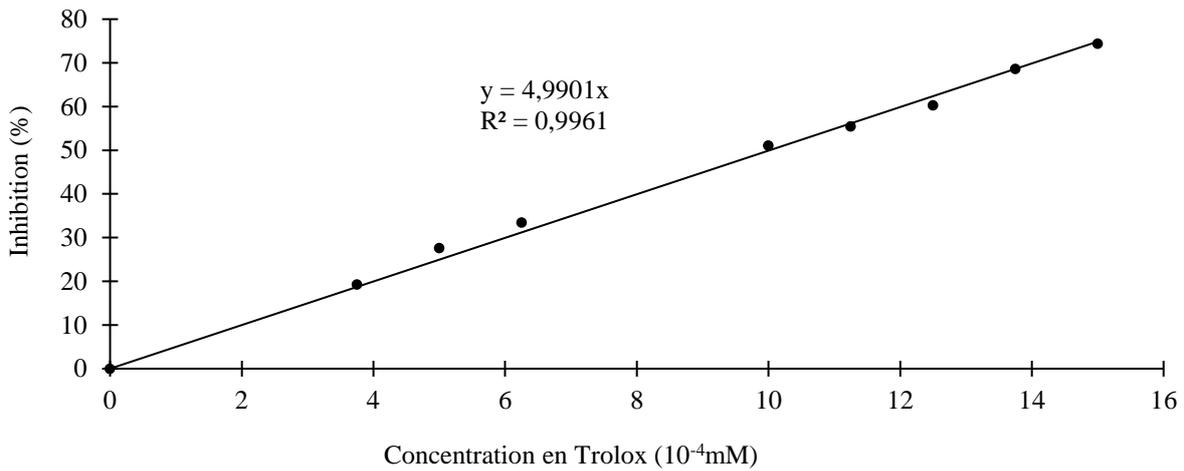


Figure 11. Courbe d'étalonnage du pourcentage d'inhibition lié à la concentration de Trolox (10⁻⁴ mM) pour la détermination de l'activité de l'antioxydant

2.4. Pulpe séchée de *B. aethiopum* dans l'aliment des poulets de chair

Cette section vise élucider l'hypothèse selon laquelle ‘ la pulpe séchée et incorporée dans l'aliment des poulets de chair (*Gallus gallus domesticus*, souche Cobb 500) influencerait la croissance des poulets et la qualité nutritive de la viande. Cet essai a concerné l'incorporation de la pulpe séchée de fruits mûrs de *B. aethiopum* dans l'alimentation des poulets de chair. L'objectif spécifique était de vérifier l'acceptation de celle-ci par les poulets de chair et évaluer son effet sur les lipides du plasma sanguin. Une grande quantité de pulpe a été séchée à 70°C à l'étuve (marque memmert, UL 80,) et broyée dans un broyeur artisanal de maïs. Ainsi, la croissance des poulets, la numération de la formule sanguine (NFS) et les teneurs en cholestérols et triglycérides du sérum sanguin ont été évaluées.

2.4.1. Régimes des poulets de chair

Trois matières premières ont été utilisées. Ce sont la pulpe de *B. aethiopum* séchée à 70°C, du maïs jaune séché au soleil acheté avec des agriculteurs et un prémix commercial de croissance pour poulets de chair (Koudijs, *Advanced Nutritional Products, De Heus Animal Nutrition*, NL 14841, Pays-Bas, Tableau 10.a) acquis auprès d'un vendeur agréé d'aliments pour volailles. Pendant les 3 premières semaines de démarrage, les poussins ont été nourris avec un aliment fabriqué au laboratoire. Ensuite, ils ont été répartis en 2 groupes et soumis aux régimes expérimentaux T0 et T1 (Tableau 10.b), qui été conçus iso protéiques et iso énergétiques.

Tableau 10. Régimes alimentaires des poulets de chair

a. Notes sur le sac de prémix commercial de croissance pour les poulets de chair (Koudijs, *Advanced Nutritional Products, Producteur KBC de De Heus Animal Nutrition 96.0013-CI*, NL 14841, Pays-Bas)

Variable	Valeur	Variable	Valeur
Energie métabolisable (kcal/kg)	2250	Sodium (%)	0,45
Protéine brute (%)	42	Phosphore (%)	1,16
Matière grasse (%)	4,4	Antioxydant	Ajouté
Fibres (%)	5	Phytase	Ajouté
Lysine (%)	8	Inhibiteur d'humidité	Ajouté
Méthionine (%)	1,2	Vitamines	Ajouté
Méthionine+Cystéine (%)	1,8	Salinomycine	Ajouté
Calcium (%)	2,5		

b. Régimes alimentaires et valeurs nutritives

Ingrédients	Semaine 1 à 3 Démarrage	Semaine 4 à 7	
		T0	T1
Premix (Nutrix A)	4		
Premix Koudijs croissance chair		35,71	35,71
Maïs jaune	60	64,29	44,29
Farine de poisson (62% PB)	10		
Tourteau de soja	20		
Tourteau de coton	6		
Pulpe séchée (<i>Borassus aethiopum</i>)			20
Total	100	100	100
Matière sèche (%)	90,67	90,17	90,17
EM (kcal/kg MS)	3097,20	3450,00	3450,00
Matière grasse (%MS)	5,68	7,33	8,33
Lysine (%), calculé	3,02	3,02	3,02
Protéine brute (%MS)	20	16,00	16,00
Sucres réducteurs (Sr) (%MS)	nd	0,30	0,38

kcal : kilo calorie , MS: Matière sèche; nd : non déterminé

2.4.2. Conduite des poulets de chair

L'expérimentation a été conduite à la station expérimentale de l'Ecole Supérieure d'Agronomie de l'Institut polytechnique national Félix Houphouët Boigny (INP-HB) de Yamoussoukro. L'expérience a été subdivisée en 2 parties dont le démarrage lors des 3 premières semaines et la croissance de la semaine 4 à la semaine 7.

2.4.2.1. Aménagement du poulailler

Deux semaines avant l'arrivée des poussins, le poulailler a été aménagé. Après avoir nettoyé le bâtiment d'élevage, 4 litres d'eau de javel à 8% ont été utilisés pour asperger les murs et les grilles aux fins de les aseptiser. A l'intérieur du bâtiment de 32,25m² (8,5mx5m), une poussinière de 15m² (5 mx3 m) a été aménagée à l'aide de plastiques noirs sur les bordures afin d'éviter l'entrée de l'air. Puis, le sol a été recouvert de copeaux de bois blanc. Enfin, le système de chauffage a été installé en connectant 3 lampes électriques de 200 Watts chacune.

2.4.2.2. Démarrage des poussins

Quatre jours après l'aménagement de la poussinière, 150 poussins chair Cobb-500 d'un jour d'âge ont été acquis dans une écloserie agréée à Abengourou (Côte d'Ivoire). Avant de sortir les poussins des cartons, le chauffage a été mis en marche. Ensuite, à raison de 5 g d'aliment par poussin, 750 g d'aliment démarrage ont été servis dans 6 plateaux plastiques de 30 cm de diamètre chacun, soit 125 g par plateau. A l'installation des poussins, un à un, le bec de chaque poussin a été trempé dans de l'eau sucrée à 5%. Dans le but d'éviter le gaspillage des aliments, les poussins ont été nourris 2 fois par jour dont 8h et 16h, dans des proportions respectives de 1/3 et 2/3 de la ration journalière. Lorsque les quantités d'aliments de la veille ont été complètement consommées, celles du jour ont été augmentées par paliers de 5 g par poussin. Pendant les journées, les plastiques noirs ont été relevés afin que l'air de l'extérieur puisse circuler. Dans ces conditions, la période de chauffage et la distribution de l'aliment démarrage ont duré 21 jours.

2.4.2.3. Transition, finition et rations des poulets de chair

A la fin de la semaine 3 (jour 21), nous avons sexé les poulets par la méthode des plumes des ailes. En effet, les femelles étaient bien en plumes. En plus, comparées à celles des femelles les crêtes des mâles étaient plus développées. Lors du sexage, les poulets ont été pesés individuellement. Cinq poulets hors de l'intervalle de la moyenne plus ou moins l'écart type ont été sortis du groupe expérimental. Par la suite, les restants ont été répartis aléatoirement en

2 groupes de 70 poulets chacun pour la période de finition de 4 semaines. Un groupe était le contrôle (T0) et le second était le groupe test (T1). Durant la semaine 4, une transition alimentaire a été conduite. L'aliment de croissance (T0 ou T1) a été mélangé à celui de démarrage suivant les ratios de 1/5 pendant 2 jours, 2/5 durant 2 jours, 3/5 en 2 jours et 4/5 au dernier jour. Dans chaque groupe, les mâles et les femelles étaient alimentés ensemble. Cependant, au cours des pesées, les données ont été enregistrées en tenant compte du sexe. L'espace d'élevage était de 20,24 mètres carrés (4,6 m*4,4 m) pour chaque groupe, donc il y avait moins de 4 poulets au mètre carré. Quand l'aliment de la veille ont été complètement consommé, la ration du jour a été augmentée de 5 g par poulet. Du jour 35 au jour 42, la ration a été de 120 g par poulet et du jour 43 au jour 49 elle a été de 150 g. De la semaine 4 à la semaine 7, les poulets ont été nourris une seule fois par jour à 16 heures. L'eau potable a été servie à volonté.

2.4.2.4. Pesées des poulets de chair

Dans l'optique d'apprécier le gain moyen quotidien (GMQ) des animaux, des pesées hebdomadaires ont été réalisées. Une grille a été utilisée pour séparer chaque loge en 2 espaces. Ainsi, les animaux déjà pesés étaient séparés de ceux qui ne l'étaient pas encore. A l'exercice, un peson à aiguille équipé d'une trémie a été utilisé (marque Terrailon, portée maximale de 5 kg, portée minimale 200 g, précision de 2 g). Pendant la pesée, les pattes et les ailes du poulet ont été maintenues avec une agrafe plastique afin d'éviter qu'il se débatte. Ensuite, il a été mis dans la trémie et le poids a été lu sur le cadran à aiguille. Ainsi, les poulets ont été pesés individuellement le jour 29 à 14h pour enregistrer le poids du jour 28. Similairement, l'opération a été répétée les jours 36, 43 et 50 pour avoir les poids des jours 35, 42 et 49. Une courbe de régression linéaire du gain de poids moyen hebdomadaire (PMH) a été générée automatiquement avec le logiciel Excel. Le gain moyen quotidien (GMQ) de poids a été déduit avec la première dérivée par rapport au jour de cette équation de PMH et en divisant le résultat par 7, pour passer de la semaine au jour (Eq. 12)

$$\frac{PMH_{\text{sexe} \times \text{régime}(g)}}{7 \times \Delta(\text{Jour})} = \frac{\Delta f(\text{fonction de la courbe de croissance})}{7 \times \Delta(\text{Jour})} \quad (\text{Eq.12})$$

2.4.2.5. Plan de prophylaxie des poulets de chair

Un thermomètre et un hygromètre ont été utilisés pour relever la température et l'humidité quotidiennes, respectivement. La température ambiante au sein du bâtiment a varié de 22 à 29 °C; l'hygrométrie a fluctué entre 61 et 84%. En fait, les mois de mai, juin et juillet 2017 ont été pluvieux. Un plan de prophylaxie a été rigoureusement suivi afin de minimiser l'effet des pathologies sur les performances des poulets (Tableau 11).

Tableau 11. Prophylaxie médicale appliquée

Age (jour)	Produits utilisés	Soins
1	Eau sucrée à 5%	Prévention du stress
3	Amin'total	Prévention du stress
	Oxytetracycline 50%	Lutte contre la colibacillose et la salmonellose
8	H120 + HB1	Vaccination contre la maladie de Newcastle et de Bronchite
10	Gumboro	Vaccination contre la maladie de Gumboro
10	Amin'total	Prévention du stress
14	Gumboro	Rappel du vaccin contre la maladie de Gumboro
14	Amin'total	Prévention du stress
16	Oxytetracycline 50%	Lutte contre la colibacillose et la salmonellose
18	Amprolium 20%	Prévention de la coccidiose
18	Amin'total	Vitaminothérapie
23	Amin total+ Oxytetracycline 50%	Lutte contre la colibacillose et la salmonellose
24	Lasota + H120	Rappel du vaccin contre la maladie de Newcastle et de bronchite
25	Colivet solution (1 ml/l)	Lutte contre la colibacillose et la salmonellose
27	Virunet	Désinfectant
30	Amin'total	Prévention du stress
33	Heparenol	Hépatoprotecteur
33	Amin'total	Vitaminothérapie
+	Vésonyl et l'Albendazol ou Levamisol	Déparasitant contre les ascaridioses (à l'observation)

2.4.3. Numération de la formule sanguine (NFS) des poulets de chair

Le jour 50 la dernière pesée exhaustive a été effectuée. Dans chaque groupe, les 2 coqs et les poules ont été considérés séparément. Ensuite, 6 poulets de poids non significativement différents ($\alpha=0,05$) ont été sélectionnés dans chaque lot (T0 et T1). Par exemple, dans le lot du régime T0, 3 femelles et 3 mâles ont été pris. Soit au total, 12 poulets ont été utilisés. Les poulets ont été ensuite transportés au laboratoire.

Afin d'évaluer l'effet de la pulpe séchée de *B. aethiopum* sur les éléments figurés du sang que sont les globules rouges, les globules blancs et les plaquettes sanguines dans le sang des poulets de chair, les 12 poulets ont été euthanasiés à 15 heures après les pesées, soit 23 heures après la dernière distribution d'aliment. Du sang de chaque oiseau a été recueilli dans des tubes contenant de l'acide éthylène diamine tétra-acétique (EDTA) comme anticoagulant (Kuttappan *et al.*, 2013). Juste après, les tubes ont été manuellement agités pour éviter la formation de caillots. Au cours de l'heure suivante, la numération sanguine a été réalisée avec un robot d'hématologie SYSMEX KX 21N, au centre national de transfusion sanguine de Yamoussoukro. L'analyse des paramètres hématologiques tels que l'hémoglobine (HGB), le volume cellulaire globulaire (PCV), les globules rouges (RBC), le volume corpusculaire moyen (MCV), l'hémoglobine corpusculaire moyenne (MCH), la concentration corpusculaire moyenne d'hémoglobine (MCHC), les globules blancs (WBC), plaquettes (PLT) et les pourcentages de lymphocytes (LYM%), monocytes (MON%), granulocytes (GRAN%) a été faite.

2.4.4. Profile lipidique du plasma sanguin des poulets de chair

Afin d'apprécier l'effet de la pulpe séchée de *B. aethiopum* sur les lipides du plasma sanguin des poulets de chair, une seconde collecte de sang a été conduite. Au même moment que la collecte de sang pour les analyses NFS, du sang a été recueilli dans des tubes secs contenant un agent coagulant (microparticules de silice) et gardé à la température ambiante pendant 20 minutes en vue de sa précipitation (Friedewald *et al.*, 1972). Ensuite, il a été centrifugé à la vitesse de 4.000 tours par minute pendant 5 minutes et le plasma recueilli a été stocké dans un réfrigérateur à 4°C pendant 24 heures avant de lire ses teneurs en cholestérol.

Pour l'évaluation du cholestérol total (Tot.C), le réactif *Cypress Diagnostics*, Réf: HB 006 Lot: 191 de Belgique a été utilisé. Le réactif 2 a été versé dans le réactif 1, pour obtenir la solution de travail selon le guide de travail de *Cypress Diagnostics*. Ensuite, 1 mL de cette solution de travail a été placé dans chaque tube gradué à utiliser. Par la suite, la solution étalon a été préparée en versant 10 µL de la solution étalon de *Cypress Diagnostics* dans chaque tube contenant 1 mL de la solution de travail. De même, 10 µL d'eau distillée ont été mis dans chaque tube. Enfin, 10 µL de plasma ont été versés dans chaque tube gradué, sauf dans le blanc et l'étalon. Ensuite, nous avons procédé aux lectures des densités optiques.

Quant à l'évaluation du cholestérol des lipoprotéines de haute densité (HDL.C.), le réactif de *Cypress Diagnostics*, référence HB 07, Lot : 322, Belgique a été encore utilisé. Ensuite, 1 mL

du plasma obtenu en premier a été mélangé à 100 µL de réactif HDL.C. Le liquide nouvellement acquis a été centrifugé. Ensuite, 10 µL ont été recueillis, et les mêmes étapes que pour le Tot.C ont été suivies. Finalement, la teneur en cholestérol total a été calculée selon l'équation 13. Celle de HDL.C est a été calculée à l'aide de l'équation 14. Pour la détermination des triglycérides (Eq. 15), le contenu du réactif 2 a été dissout dans la bouteille de réactif 1. Après avoir préparé la solution de travail correspondante, le processus est resté le même que dans l'évaluation du Tot.C.

Ainsi, les absorptions du Tot.C, HDL.C et des triglycérides ont été lues avec un spectrophotomètre UV-visible (Shimadzu UV-1601 PC, Kyoto, Japon) réglé à la longueur d'onde 505 nm. Pour chaque oiseau, 2 échantillons ont été préparés. Ainsi, 6 données ont été obtenues pour chaque combinaison (régime*sexe). L'équation de Friedewald *et al.* (1972) a été utilisée pour calculer la teneur en cholestérol des lipoprotéines de basse densité (LDL.C) et le rapport des triglycérides (TG) sur 5 est également connu sous le nom de cholestérol des lipoprotéines de très basse densité (VLDL.C) (Eq. 16). Les résultats sont exprimés en mg/dL.

$$\text{Tot. C}_{(mg/dL)} = \frac{\text{Abs}_{Ech} - \text{Abs}_{Blanc}}{\text{Abs}_{Stand} - \text{Abs}_{Blanc}} * 200 \quad (\text{Eq. 13})$$

$$\text{HDL. C}_{(mg/dL)} = \frac{\text{Abs}_{Ech}}{\text{Abs}_{Stand}} * 50 \quad (\text{Eq. 14})$$

$$\text{Triglycérides}_{(mg/dL)} = \frac{\text{Abs}_{Ech}}{\text{Abs}_{Stand}} * 200 \quad (\text{Eq. 15})$$

Où

Abs_{Ech} est l'absorbance de l'échantillon, **Abs_{Stand}** est l'absorbance du standard,

Abs_{Blanc} est l'absorbance du blanc, **50 et 200** sont les concentrations des standards correspondants.

$$\text{LDL. C} = \text{Tot. C} - \text{HDL. C} - \frac{\text{TG}}{5} \quad (\text{Eq. 16})$$

2.5. Pulpe séchée de *B. aethiopum* dans l'aliment des poules pondeuses

L'hypothèse formulée était ‘‘ la pulpe de fruits mûrs de *B. aethiopum* séchée et incorporée à l'aliment des poules pondeuses (*Gallus gallus domesticus*, souche Harco) colorerait le jaune des œufs et influencerait les teneurs en cholestérols et triglycérides. C'est ainsi que de la pulpe séchée a été incorporée dans des régimes de poules pondeuses à base de maïs blanc. Ensuite, les effets induits sur la coloration des jaunes d'œuf et leurs teneurs en cholestérols et triglycérides ont été évalués.

2.5.1. Composition des régimes des poules pondeuses

Un prémix commercial “ Koudijs ” concentré pour les poules pondeuses a été acheté auprès d'un vendeur agréé d'aliments de volailles (Koudijs, *Advanced Nutritional Products, De Heus Animal Nutrition*, NL 14841, Pays-Bas) (Tableau 12). Quatre régimes alimentaires ont été composés dont un à base de maïs jaune (YC) qui constitue le témoin, un à base de maïs blanc (WC), un à base de maïs blanc et contenant 10% de pulpe eschée de *B. aethiopum* (WC+10%B.a) et un dernier à base de maïs blanc et contenant 20% de pulpe eschée de *B. aethiopum* (WC+20%B.a) (Tableau 13).

Tableau 12. Prémix ponte Koudijs et régimes alimentaires des pondeuses

a. Notes sur le sac donnant la composition du concentré commercial pour poules pondeuses (*Koudijs, Advanced Nutritional Products, De Heus Animal Nutrition*, NL 14841, Pays-Bas)

Désignation	Valeur	Désignation	Valeur
Energie métabolisable (kcal/kg)	2.230	Sodium	0,70%
Protéine brute	43,00%	Phosphore	1,05%
Matière grasse	4,40%		
Fibres	5,00%	Antioxydant	Ajouté
Lysine	2,95%	Phytase	Ajouté
Méthionine	1,40%	Inhibiteur d'humidité	Ajouté
Méth+Cystéine	2,00%	Vitamines	Ajouté
Calcium	1,00%	Carophylle	Ajouté

b. Régimes alimentaires des pondeuses

Désignation	YC	WC	WC+10B.a	WC+20B.a
Prémix <i>Koudijs</i> ponte	44,8	44,8	44,8	44,8
Maïs jaune (YC)	55,2			
Maïs blanc (WC)		55,2	45,2	35,2
Pulpe séchée (<i>Borassus aethiopum</i>) (B.a)			10	20
Totaux	100	100	100	100
Matière sèche (%)	93,36	93,13	93,87	94,83
EM (kcal/kg MS)	2000	1990	2200	2250
Matière grasse (%MS)	5,21	6,16	8,74	10,44
Lysine (%), calculé	1,32	1,32	1,32	1,32
Protéine brute (%MS)	14,30	14,00	13,70	13,50

YC: maïs jaune (*Yellow Corn*),

WC: maïs blanc (*White Corn*),

B.a: pulpe séchée de *Borassus aethiopum*

2.5.2. Conduite des poules pondeuses

Prises dans un cheptel de 500 poules pondeuses Harco âgées de 42 semaines, 44 poules ont été retenues pour le test. Pendant une semaine, les poules ont été progressivement à la pulpe séchée. Durant 4 jours, toutes les poules ont reçu le régime témoin à base de maïs jaune. Les 3 jours suivants, 5% du maïs jaune a été remplacée par la pulpe séchée de *B. aethiopum*. Le jour 8 à 8

heures, 36 poules de poids similaires ($\alpha=0,05$) ont été mises par groupe de 3 dans des cages horizontales (70cm x 50cm x 45cm, respectivement pour longueur x hauteur x largeur). Ainsi, 12 cages équipées de mangeoires et d'abreuvoirs ont été occupées. Ensuite, les 4 régimes (YC, WC, WC+10*B.a* et WC+20*B.a*) ont été affectés aléatoirement, aboutissant ainsi à un bloc complètement randomisé de 4 régimes, 3 poules par régime et 3 répétitions. Le jour 8 a été retenu comme le jour 1 de l'essai de la coloration des jaunes d'œufs et cette phase a duré 21 jours. Durant cette période, une ration de 120 g d'aliment a été servie par jour et par poule.

2.5.3. Effet de la pulpe séchée de *B. aethiopum* sur les œufs

Les œufs ont été collectés et pesés quotidiennement à l'aide d'une bascule de laboratoire (Marque Radwag, portée maximale de 2100 g; portée minimale de 0,5 g; précision 0,01 g). Ensuite, les œufs du jour 13 au jour 18 ont été conservés au réfrigérateur à 4°C. Au jour 19, 3 œufs de poids similaires ($\alpha=0,05$) de chaque régime ont été pris au hasard. Au niveau de l'évaluation des teneurs en cholestérols et triglycérides, ainsi qu'à celle des couleurs des jaunes d'œufs, chaque fois qu'un œuf a été cassé, ses constituants (jaune, blanc et coquille) ont été pesés.

2.5.3.1. Cholestérol total dans le jaune d'œuf

Les teneurs en cholestérol total (Tot.C) des jaunes des œufs ont été évaluées suivant le protocole de Pasin *et al.* (1998). A cet effet, un échantillon de 3 œufs des jours 14, 16 et 18 ont été cassés, soit 9 œufs au total. De chaque d'œuf, 1 g de jaune d'œuf a été prélevé dans un tube à essai de 10 mL. Ensuite, une solution de NaCl (2%) a été ajoutée jusqu'à la ligne de jauge de 9 mL. Le tube a été agité manuellement pour avoir une solution homogène. Ensuite, 1 mL de la solution préparée (jaune d'œuf et NaCl à 2%) a été prélevé et mis dans un autre tube à essai de 10 mL. Encore, avec la même solution de NaCl à 2%, le tube a été complété à la ligne de jauge (10 mL). Un kit de cholestérol (*Cypress diagnostics*, Code HB006 Cholestérol Test enzymatique-colorimétrique (CHOD-POD)) a été utilisé pour la détermination enzymatique par la Cholestérol Estérase (CHE), la Cholestérol Oxydase (CHOD), Peroxydase (POD) et 4-Aminophenazone (4-AP).

Les lectures des densités optiques ont été faites à 505 nm, en utilisant un spectrophotomètre (Shimadzu UV-1601 PC, Kyoto, Japan). Pour aller à la lecture, 10 µL de l'échantillon (après la deuxième dilution) ont été mis dans 1 mL de la solution de travail, d'où le volume final a été 1,001 mL. Les résultats sont exprimés en mg de cholestérol total (Tot.C) par dL (mg/dL). Ils

peuvent être convertis en g de cholestérol par g de jaune d'œuf en multipliant par un facteur de conversion de 0,09009; soit $[1,001/(1/9)]$ (Eq. 17).

$$\text{Facteur de conversion} = \frac{1,001}{\frac{1}{9}} * \frac{mg_{Tot.c}}{dL} * \frac{mL}{mg_{Jaune}} = 0,09009 g_{Tot.c}/g_{Jaune} \quad (\text{Eq. 17})$$

Où

1,001 mL est le volume final du mélange pour aller à la lecture ; et 1/9 est la quantité de matière (mg) de jaune d'œuf correspondant dans ce volume final.

2.5.3.2. Evaluation de la couleur des jaunes d'œuf

Les couleurs des jaunes d'œufs ont été évaluées, en utilisant un échantillon de 3 œufs des jours 13, 15 et 17, soit 9 œufs au total. Les œufs ont été cassés et la couleur du jaune de chaque œuf a été évaluée suivant 2 méthodes dont une subjective et une objective. La méthode subjective a été faite avec l'éventail de couleur Roche. L'échelle Roche (*Yolk Colour Fan*) présente un éventail de 15 différents jaunes. Ces couleurs partent du jaune pâle au jaune foncé. Ces bandes de couleur ont été utilisées pour déterminer la couleur du jaune des 9 œufs. Ensuite, après les quantifications à vue d'œil, ces couleurs ont été réévaluées par la méthode objective de réflectance à l'aide d'un spectrophotomètre (Shimadzu UV-1601 PC, Kyoto, Japan) équipé d'un système 'D65' pour déterminer les composantes L^* , a^* et b^* (CIE, 1976). Ses faisceaux lumineux sont normalisés à une valeur de 100 à 560 nm, et le temps d'intégration est de 10 millisecondes. Les jaunes d'œuf purs ont été mis dans la cuve de lecture et les valeurs L^* , a^* et b^* ont été lues. Pour finir, quelques paramètres sont calculés, tels que :

C^* est la distance dans le plan a^* , b^* et la ligne verticale L^* passe par l'origine 0;

$$C^*(\text{Chroma}) = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

H^0 est l'angle en degré dans le plan a^* , b^* ,

$$H^0(\text{hue}) = \frac{[\text{Acot}(a^*/b^*)]*180}{\pi}$$

h est la distance dans la sphère L^* , a^* , b^* ;

$$h = \sqrt{L^{*2} + a^{*2} + b^{*2}}$$

2.6. Analyses statistiques

Au niveau de chaque analyse, les données ont été générées en triple et ont été soumises à une analyse de variance en utilisant XLSTAT version 2014. La méthode des moindres carrés a été utilisée pour discriminer les moyennes des résultats suivant la méthode de Duncan. Lors des essais d'incorporation de la pulpe séchée de *B. aethiopum* dans l'aliment des poulets de chair et des poules pondeuses, chaque animal a été considéré comme une unité expérimentale (Kuttappan *et al.*, 2013). L'intervalle de confiance a été pris à 99% ($\alpha=0,01$) pour les analyses chimiques telles que les teneurs en cholestérols, les activités antioxydantes et les lectures des composantes L*, a* et b* de l'évaluation de la couleur. Par contre, l'intervalle de confiance a été pris à 95% ($\alpha=0,05$) pour les travaux de ferme tels que les pesées des poulets de chair et des œufs. Pendant la caractérisation des pulpes séchées, en plus des moyennes individuelles, les interactions 2 à 2, puis à 3 niveaux ont été faites entre les facteurs température de séchage (40, 50, 60, 70 et 80°C), modes d'extractions (décoction ou macération) et les solvants (eau distillée, 70% acétone, 70% méthanol). Au test de l'effet de la pulpe séchée sur les performances des poulets de chair, une ANOVA 2 a aussi été conduite. Elle a pris en compte d'abord les facteurs 2 à 2, puis les 3 composantes. Ces facteurs ont été les régimes alimentaires (T0 et T1), le genre (coqs et poules) et l'âge en jours. Finalement, à l'essai de la coloration des jaunes des œufs, une ANOVA 2 a été aussi faite. En plus des moyennes des composantes individuelles dont le jour et les régimes alimentaires, leurs interactions ont été également observées.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

Dans l'optique de valoriser la pulpe des fruits mûrs de *Borassus aethiopum* en l'incorporant dans l'aliment de volaille, nous avons analysé 160 fruits afin de déterminer les proportions de ses constituants et leurs annexes que sont la peau, la pulpe, les grains et les sépales. Quand les fruits ont révélé leur constitution, nous avons séché la pulpe à différentes températures pour déterminer la température de séchage qui permettrait la meilleure valeur nutritive en termes de polyphénols totaux, de flavonoïdes totaux, d'activité antioxydante, d'énergie métabolisable et de profile en acides gras.

3.1. Composition des fruits mûrs de *B. aethiopum*

Le poids moyen des fruits a été de $1496,02 \pm 434,42$ g avec un coefficient de variation de 29,04% (Tableau 13). Ali *et al.* (2010b) ont annoncé un poids de $1324,55 \pm 85,99$ g dans la zone de Kousséri au Cameroun. Les poids des fruits ont été distribués dans un large intervalle par rapport aux données de ces auteurs. En effet, comparés à nos résultats les leurs ont été moins dispersés ($\pm 85,99$ contre $\pm 434,42$). Le large intervalle de dispersion à Yamoussoukro dont l'erreur standard a été 434,42 g peut être dû à plusieurs facteurs.

Premièrement, l'action humaine sur le milieu affecte les poids des fruits. En effet, hors des zones brûlées par les feux de brousse, les arbres ont tendance à porter de nombreux gros fruits (2872,94 g), tandis que dans les aires subissant les feux de brousse, les fruits sont moins nombreux et sont généralement de petit poids (730,12 g). En effet, lorsque la savane brûle, les feux détruisent les feuilles vertes, réduisant ainsi la capacité de photosynthèse des arbres. Puisque les fruits sont des puits de réserves de la matière organique synthétisée, lorsque le métabolisme des arbres est réduit, les réserves résultantes sont réduites. C'est pourquoi, les plus gros fruits ont été collectés dans des jardins ou des champs, tandis que ceux collectés dans les lieux où ont lieu les feux de brousse avaient des poids relativement petits ou moyens.

Deuxièmement, l'écart sur le poids moyen des fruits de Kousséri et Yamoussoukro peut être dû à la différence entre les précipitations de ces zones. Puisque la zone de Kousséri est sahélo-soudanienne (latitude 12°04' Nord), alors que Yamoussoukro est dans une zone de transition entre la forêt et la savane (latitude 6°49' Nord), il pleut plus à Yamoussoukro qu'à Kousséri. Ainsi les fruits ont tendance à être plus gros à Yamoussoukro.

Tableau 13. Poids des fruits, peaux, pulpes, des graines et leurs pourcentages (a) et matrice de corrélation de Pearson (b)

a. Composition des fruits

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Cv (%)
Fruit	730,12	2872,94	1496,02	434,42	29,04
Peaux	101,06	624,40	276,54	83,70	30,27
Pulpes	197,04	1207,41	516,73	182,99	35,41
Graines	262,04	1277,35	677,82	215,57	31,80
Peaux (%)	5,35	30,96	18,93	4,34	22,92
Pulpes (%)	23,49	66,79	34,74	5,45	15,87
Graines (%)	29,21	58,03	45,06	5,11	11,35

b. Matrice de corrélation de Pearson

Variabes	Fruits	Peaux	Pulpes	Graines
Fruits	100			
Peaux	73,80	100		
Pulpes	90,54	57,55	100	
Graines	94,72	64,71	78,26	100,00

Notes: n=160 fruits, Cv: Coefficient de variation, intervalle de confiance 95% ($\alpha=0,05$)

En effet, de 1979 à 2011, soit 33 ans, les précipitations moyennes annuelles à Kousséri ont été de 559,5 mm pendant 33 jours (Bouba *et al.*, 2017). Alors qu'à Yamoussoukro, de 1971-2001, soit 30 ans, elles ont été de 1173 mm pendant 113 jours (Yao *et al.*, 2013). Cet écart de précipitation de 613,5 mm (559,5 contre 1173 mm) et les nombres de jours de pluie de 80 jours (33 contre 113 jours) favorisent une meilleure activité photosynthétique à Yamoussoukro.

Lorsque la peau a été enlevée, la pulpe a été séparée des graines. Les résultats ont montré une moyenne de poids de pulpe par fruit de $516,73 \pm 183$ g, avec un coefficient de variation de 35,41% (Tableau 13.a). Ce résultat indique qu'en moyenne plus d'un demi kg de pulpe a été extraite d'un fruit. De plus, cette pulpe a représenté $34,74 \pm 5,45$ g du poids total du fruit. Le Tableau 13.b révèle un bon coefficient de corrélation entre le poids du fruit et celui de sa pulpe. En effet, le coefficient de corrélation R^2 est égal à 90,54% ($p < 0,01$) ; alors que le poids du fruit prédit mieux celui des graines avec un coefficient de corrélation R^2 de 94,72%. Par conséquent, un gros fruit permettrait un important poids de pulpe et de lourdes graines.

3.2. Analyses bromatologiques

En séchant les échantillons de la pulpe de fruits mûrs de *B. aethiopum* à 40, 50, 60 70 et 80°C; l'objectif était de déterminer l'effet de la température de séchage sur la valeur nutritive de la pulpe. Ici, une température ou un intervalle de température de séchage qui permettrait de conserver la meilleure valeur nutritive du produit sec devait être retenu. Ainsi, plusieurs analyses chimiques ont été effectuées. Après l'examen de l'effet de la température de séchage sur le temps de séchage, la protéine et de la matière grasse des pulpes séchées ont été examinées. Ensuite, des analyses plus approfondies ont concerné l'activité antioxydante des extraits et les profils en acides gras.

3.2.1. Effet de la température sur le temps de séchage

L'augmentation progressive de la température de séchage de 40, 50, 60, 70 et 80°C réduit considérablement le temps de séchage de 7, 6, 5 à 3 jours, respectivement (Figure 12). Ces observations de corrélations positives entre la vitesse de séchage et l'augmentation de la température ont été rapportées par Diamante *et al.* (2010) lorsqu'ils ont séché des poids identiques de fruits de kiwi (*Actinidia deliciosa*) à 60, 80 et 100°C. López *et al.* (2013) ont observé les mêmes tendances en séchant des groseilles (*Physalis peruviana*) de 50 à 90°C par palier de 10°C. Aux faibles températures, le séchage dure plus avant d'atteindre un poids constant. C'est ainsi qu'il a fallu 7 jours à 40°C pour atteindre un poids constant, alors que 3 jours ont suffi à 80°C.

Le poids frais 267,37 g mis à sécher à 40°C , 247,71 g mis à sécher à 60°C et 235,71g mis à sécher à 50°C n'étaient pas statistiquement différents ($p=0,41$). Tandis que le poids de 330,72 g de pulpe fraîche mise à sécher à 70°C était significativement lourd et celui de 207,71 g de pulpe fraîche mise à sécher à 80°C était significativement léger ($p<0,05$) que le précédent groupe (Figure 12). Les pulpes séchées à 40, 50 et 60°C ont fourni 15,68; 20,17 et 22,97% de matière sèche de production, respectivement. Puisque ces températures étaient inférieures à 105°C qui est utilisée pour la détermination de la matière sèche analytique, ces échantillons contenaient des vapeurs d'eau.

3.2.2. Cendre (minéraux)

Les moyennes des taux des cendres obtenues n'ont pas été significativement différentes les unes des autres ($p>0,01$). Ainsi, le taux moyen a été $3\pm 0,73\%$ (Tableau 14). Ce taux de cendre est similaire à celui de $3,3\pm 0,5$ annoncé par Oryema et Oryem-Origa (2016).

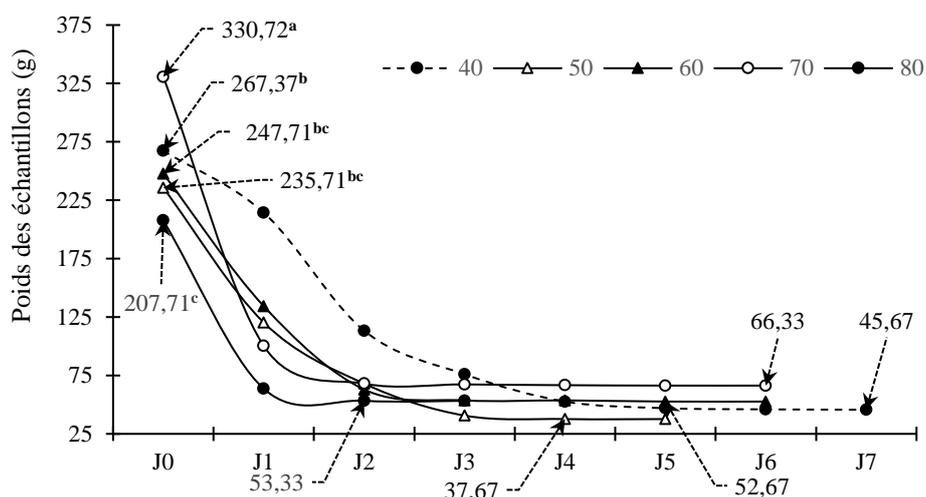


Figure 12. Effet de la température sur la durée de séchage en jour (J)

Différents exposants sur les moyennes indiquent une différence significative selon le classement des moyennes multiples par la méthode de Duncan ($\alpha=0,05$) ; n = 6 échantillons

Tableau 14. Taux de la matière minérale en fonction de la température de séchage

T (°C)	40	50	60	70	80	$\mu \pm ES$
$\mu \pm ES$ (%)	2,38 \pm 0,73	2,51 \pm 0,73	3,79 \pm 0,73	2,40 \pm 0,73	3,91 \pm 0,73	3,00\pm0,73

T (°C) : température de séchage en °C; μ : Moyenne; ES: Erreur standard

3.2.3. Effet du séchage sur les minéraux et le rapport Ca/P

L'analyse chimique des cendres a révélé les concentrations des minéraux. Le séchage consiste à réduire l'humidité. Ainsi, les concentrations des minéraux qui ne sont pas influencés par la chaleur ont augmenté (Tableau 15). De 40 à 80°C, le taux de calcium (C) est passé de 0,51 à 0,81% soit une hausse de 58,82%. Cette élévation était significative ($p<0,01$). Celui de magnésium (Mg) s'est accru de 0,18 à 0,40%, soit une augmentation de 122,22%, et cette différence était hautement significative ($p<0,01$). Comme annoncé par Ali *et al.* (2010a), la pulpe de *B. aethiopum* est riche en calcium et en magnésium pour 107,61 \pm 0,2 à 108,25 \pm 0,24 et 20,61 \pm 0,25 à 21,01 \pm 0,31 mg dans 100 g de matière fraîche, respectivement. Ce résultat est en accord avec celui de Rojas-Molina *et al.* (2009) lorsqu'ils ont travaillé sur du maïs à différentes températures de séchage.

Contrairement à la dépression que Rojas-Molina *et al.* (2009) ont eu sur les teneurs en phosphore avec des températures de séchage de plus en plus élevées, nos résultats ont révélé des valeurs stables ($p>0,01$). Le taux de phosphore (P) a varié dans un étroit intervalle de 0,18 (40°C) à 0,16% (70-80°C).

Tableau 15. Concentrations en Phosphore (P), Potassium (K), Calcium (Ca), Magnésium (Mg), Fer (Fe), Sodium (Na) de la pulpe séchée de *Borassus aethiopum* (%MS) et le ratio Ca/P

T(°C)	P (%)	K(%)	Ca(%)	Mg(%)	Fe (ppm)	Na(ppm)	Ca/P
40	0,18±0,01	1,03±0,06	0,51±0,05 ^c	0,18±0,02 ^c	5,11±0,93	6,04±0,23 ^a	2,79±0,27 ^c
50	0,18±0,01	1,19±0,06	0,55±0,05 ^{bc}	0,19±0,02 ^c	6,18±0,93	5,87±0,23 ^a	3,04±0,27 ^{bc}
60	0,17±0,01	1,28±0,06	0,69±0,05 ^{abc}	0,25±0,02 ^{bc}	4,60±0,93	5,77±0,23 ^{ab}	4,10±0,27 ^{ab}
70	0,16±0,01	1,22±0,06	0,77±0,05 ^{ab}	0,31±0,02 ^{ab}	4,36±0,93	4,81±0,23 ^{bc}	4,71±0,27 ^a
80	0,16±0,01	1,29±0,06	0,81±0,05 ^a	0,40±0,02 ^a	3,26±0,93	4,58±0,23 ^c	4,95±0,27 ^a
μ±ES	0,17±0,01	1,20±0,06			4,44±0,93		

T(°C): Température de séchage en degré Celsius (°C); **μ:** Moyenne; **ES:** Erreur standard

Quand les moyennes diffèrent avec la température de séchage, aucune moyenne générale n'a été calculée. Les moyennes d'une même colonne, ayant des différents exposants diffèrent significativement suivant le classement des moyennes de Duncan ($\alpha=0,01$).

Le rapport Ca/P s'est accru en partant de 2,79±0,27 (40°C) à 4,95±0,27 (80°C), soit une élévation de 77,42% et cette hausse était significative ($p<0,01$). De même, le ratio 3,04±0,27 obtenu à 50°C était statistiquement inférieur à celui de 80°C ($p<0,01$). Cette tendance a déjà été observée par Rojas-Molina *et al.* (2009), le ratio Ca/P augmente significativement avec la chaleur ascendante de séchage.

Les concentrations élevées en ces minéraux de la pulpe de *B. aethiopum* ont été aussi rapportées par Oryema et Oryem-Origa (2016). En effet, dans 100 g de produit séché, Oryema et Oryem-Origa (2016) ont obtenu 142,4 mg de K; 41,81 mg de Ca; 64,77 mg de Mg; 3,15 mg de Fe; 17,8 mg de Na; 0,82 mg de Zn et 1,3 mg de Cu. Bellaver *et al.* (2004) ont annoncé des concentrations respectives de 0,01 et 0,24% pour Ca et P dans le maïs. Le rapport Ca/P était de 4,17 (Bellaver *et al.*, 2004). Il peut être déduit que la pulpe séchée de *B. aethiopum* est plus riche en Calcium que le maïs. On pourrait penser que, lorsque la pulpe de fruits mûrs de *B. aethiopum* est séchée entre 60 et 70°C, elle peut constituer une bonne source de Ca et P pour l'alimentation des volailles. Mieux, la concentration en potassium (K) de la pulpe séchée de *B. aethiopum* de 1,20% est supérieure à celle de 0,28% annoncée par Bellaver *et al.* (2004) pour le maïs. Les concentrations de potassium (K) ne dépendent pas de la température de séchage car les augmentations de 1,03 (40°C) à 1,29% (80°C) n'étaient pas différentes ($p>0,01$). En outre, lorsque Edem *et al.* (1984) ont évalué la teneur en minéraux des pulpes de fruits *Raphia hookeri*, ils ont rapporté d'importantes concentrations en Ca, K, Na et P. Par exemple, pour les produits crus et cuits, ils ont trouvé 0,87 et 0,8% pour Ca; 1,07 et 0,67% pour K; 0,02 et 0,01% pour Na et enfin 0,08 et 0,06% pour P, respectivement.

3.2.4. Effet du séchage sur la protéine brute

La figure 13 révèle que les teneurs en protéines décroissent significativement ($p < 0,01$) avec l'augmentation de la température de séchage. Deux intervalles se distinguent dont le premier part de 40 à 60°C et le second de 60 à 80°C. Les équations de corrélations correspondantes ont montré des coefficients de corrélation très élevés entre le pourcentage de protéines et la température de séchage. Ces coefficients de corrélation ont été 99,58 et 90,87% pour les intervalles de 40-60°C et 60-80°C, respectivement ($p < 0,01$; Eq. 18 et 19).

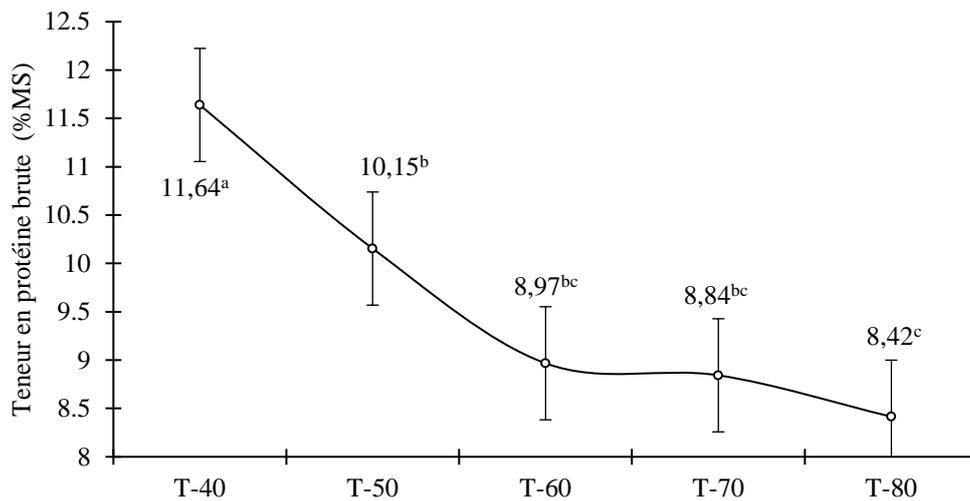


Figure 13. Effet de la température de séchage (T-°C) sur les teneurs en protéine brute

Les moyennes portant différents exposants différents significativement, suivant le classement des moyennes multiples par la méthode de Duncan ($\alpha = 0,01$)

$$\text{Protéine}(\%) = -1,3356 * T + 12,924; \quad R^2 = 99,58\% \quad 40 \leq T \leq 60^\circ\text{C} \quad (\text{Eq. 18})$$

$$\text{Protéine}(\%) = -0,2762 * T + 9,294; \quad R^2 = 90,87\% \quad 60 \leq T \leq 80^\circ\text{C} \quad (\text{Eq. 19})$$

De 40 à 60°C, une augmentation de 20°C a conduit à une diminution de 22,94% de la teneur en protéine, car elle est passée de $11,64 \pm 0,3$ à $8,97 \pm 0,3\%$ et les résultats étaient statistiquement différents ($p < 0,01$). Cette tendance est conforme aux résultats de Belitz *et al.* (2004) qui ont soutenu que sous un stress thermique, les protéines peuvent être soumises à une dénaturation. De plus, cette dénaturation peut être réversible ou irréversible en coupant les ponts à hydrogène, les liaisons ioniques et hydrophobes des protéines. De même, Anwer *et al.* (2013) ont observé qu'en séchant les échantillons de gel lactique à 80, 85, 90 et 95°C, les proportions de protéines étaient respectivement de 4,86 ; 4,71 ; 4,49 et 4,04 de matière sèche.

Entre 40 et 60°C, les résultats ont révélé que le taux de dénaturation des protéines était le plus élevé. Par contre, entre 60 et 80°C, la dénaturation diminue et conduit à des moyennes non significativement différentes ($p>0,01$) à 60, 70 et 80°C avec $8,97\pm 0,3$; $8,84\pm 0,3$ et $8,42\pm 0,3\%$ de protéines, respectivement. Néanmoins, à une chaleur de séchage supérieure à 60°C, une dénaturation s'est produite. Elle a ainsi induit une diminution des teneurs en protéines.

En fait, les chaînes peptidiques dépliées peuvent avoir été stabilisées en interagissant avec d'autres chaînes (Belitz *et al.*, 2004). En raison de la forte solubilité observée des échantillons lors des extractions avec l'eau distillée, et les solutions aqueuses de 70% d'acétone et méthanol, la chaleur a pu provoquer une dénaturation irréversible qui a détruit la structure fortement ordonnée des protéines (Belitz *et al.*, 2004). En plus de l'effet de la chaleur sur les protéines, la valeur nutritive de la pulpe séchée de *B. aethiopicum* devrait être prise en compte. En ce qui concerne le grain de maïs entier séché au soleil, sa teneur en protéines a baissé de 8,3 à 7,9% (Dale et Jackson, 1994), voire même 7,2% (Bellaver *et al.*, 2004). Ici, les valeurs de protéines se situaient entre 8,42% (70°C) pour la plus basse et 11,64% (40°C) pour la plus haute. Ainsi, cette pulpe séchée a présenté une teneur en protéine plus élevée que celle des grains de maïs jaune (Dale et Jackson, 1994; Bellaver *et al.*, 2004).

3.2.5. Effet du séchage sur la matière grasse

L'effet de la température de séchage sur la matière grasse a été apprécié en considérant l'évolution du taux de matière grasse et les profils des acides gras.

3.2.5.1. Effet du séchage sur le taux de la matière grasse

Dans l'intervalle de séchage de 40 à 80°C, à chaque palier de 10°C de plus, le taux de matière grasse a chuté de 2,12% (Figure 14, Equation 20, $p<0,01$).

$$\text{Teneur en matière grasse (\%MS)} = -2,12 * T + 16,45 \quad R^2 = 0,9396 \quad (\text{Eq. 20})$$

De 40 à 60°C, le taux de dénaturation de la matière grasse a été très significative (36,76%), car sa teneur est passée de $14,12\pm 0,18$ à $8,93\pm 0,18\%$ ($p<0,01$). En effet, la réduction de l'humidité suite à la déshydratation par séchage affecte grandement l'extraction des huiles (Noumi *et al.*, 2011). Quand ces auteurs ont séché et extrait l'huile des pulpes des fruits de safou (*Dacryodes edulis*), ils ont observé une réduction d'extraction avec l'élévation de la température.

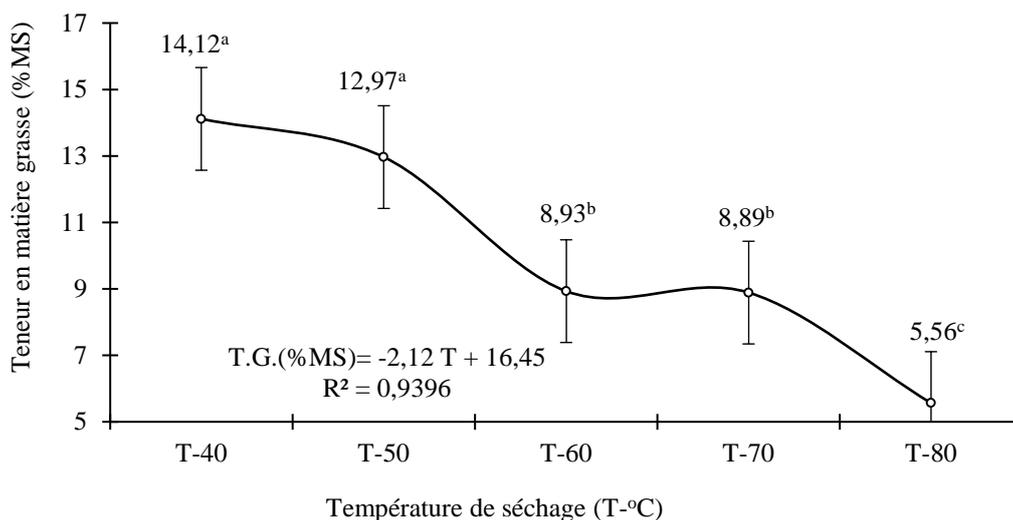


Figure 14. Effet de la température de séchage sur les teneurs en matière grasse

Les moyennes avec différents exposants diffèrent significativement, suivant le classement des moyennes multiples par la méthode de Duncan ($\alpha=0,01$)

L'élévation de la température de séchage conduit à un produit plus sec. Ces résultats ont corroboré avec ceux de Noumi *et al.* (2011) qui ont conclu qu'à une humidité inférieure à 6%, donc une matière sèche supérieure à 94% les extractions d'huile de safou sont similaires. Ainsi, les résultats du couple 60 et 70°C qui ont été $8,93 \pm 0,18$ et $8,89 \pm 0,18\%$ respectivement, étaient statistiquement similaires ($p > 0,01$). Pour finir, la pulpe obtenue à 80°C a eu le résultat le plus bas, $5,56 \pm 0,18\%$ et cette moyenne était significativement inférieure aux autres ($p < 0,01$).

Lorsque Murugesu *et al.* (2013) ont extrait l'huile de pépins de *Hylocereus polyrhizus* selon les méthodes chaude et froide ; les résultats étaient statistiquement différents et les extraits de la méthode chaude étaient inférieurs à ceux de la méthode fraîche. De même, lorsque Edem *et al.* (1984) ont étudié l'effet de l'ébullition sur la composition chimique de la pulpe des fruits de *Raphia hookeri*, ils ont conclu que les teneurs en protéine et en lipide diminuaient respectivement de 6,1 à 4,4% et de 11,8 à 11,3% du produit frais à la pulpe bouillie. En outre, les résultats ont montré que les teneurs en acides gras insaturés étaient plus influencées par la chaleur (Murugesu *et al.*, 2013). En outre, les résultats ont montré que les teneurs en acides gras insaturés étaient plus influencées par la chaleur (Murugesu *et al.*, 2013). Face à l'importante dénaturation de la matière grasse sous l'effet de la chaleur on pourrait déduire que la pulpe de *B. aethiopicum* est riche en acides gras insaturés.

3.2.5.2. Effet du séchage sur le profil des acides gras et le ratio n-6/n-3

Le séchage a influencé la composition des acides gras de la pulpe séchée (Tableau 16). Les résultats révèlent que, tout au long du processus, les teneurs en acides gras insaturés (AGI) sont restées supérieures à celles des acides gras saturés (AGS) (Tableau 16.a). Dans cette proportion élevée d'AGI, le rôle principal était tenu par les acides gras monoinsaturés (AGMI) avec 69,78; 67,99; 66,02 et 66,57%, dans le même ordre précédant de la chaleur de séchage. Ainsi, de 40 à 70°C, les AGMI ont diminué graduellement lorsque la chaleur a été augmentée. Cette tendance a été observée quand Noumi et al. (2011) ont extrait l'huile de la pulpe de safou. Parallèlement à ces résultats, les teneurs en acides gras polyinsaturés (AGPIs) ont été de 8,89; 8,36; 11,14 et 11,93% à 40, 50, 70 et 80°C respectivement. En rappelant le concept de Lavoisier '*rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme*', un examen attentif montre que la chute des teneurs en AGMI a été compensée par d'une élévation de celles des AGPIs.

De 40 à 70°C, par rapport à 40°C, les teneurs en AGMI ont diminué de 2,56; 5,39 et 4,6% et les AGPIs ont augmenté de 11,19; 111,19 et 143,68% (Tableau 15.b) respectivement à 50, 70 et 80°C. Cette dénaturation des AGMI est conforme aux résultats de Belitz *et al.* (2004), parce qu'ils ont rapporté une diminution du taux d'acide oléique (C18:1, n-9) de 45,3 à 42,9% lorsque l'huile de soja était frite. De même, l'huile d'olive dont le taux en AGI se situe entre 82,38 et 86,14% (Li *et al.*, 2016) peut présenter des fluctuations sous l'effet de différentes chaleurs.

Même pour une exposition de 10 minutes de 180 à 220°C, Li *et al.* (2016) ont observé une diminution de 0,8% des acides gras libres en pourcentage d'acide oléique. Les extraits d'acide gras palmitoléique (C16:1), cis-vaccénique (C18:1), linoléique (C18:2), linoléinique (C18:3) et érucique (C22:1) sont passés de 0,84 à 0,69; 3,63 à 3,25; 49,09 à 48,97; 1,05 à 0,99 et enfin de 1,2 à 0,91%, respectivement de la méthode froide à la méthode chaude; tandis que les teneurs en acides gras saturés sont restées presque stables (Murugesu *et al.*, 2013). Dans un processus de séchage, il s'agit d'une désaturation. Ainsi, deux atomes d'hydrogène et un oxygène (H₂O) d'un acide gras sont éliminés, et une double liaison carbone-carbone se crée. Par conséquent, la teneur en acide linoléinique (C18:3, n-3) a augmenté progressivement de 11,19; 111,19 et 143,68% en passant de 2,77% (40°C) à 3,08% (50°C), 5,85% (70°C) et 6,75% (80°C) (Tableau 15.b). Les augmentations de l'acide linoléinique (C18:3, n-3) pourraient résulter des aux réductions des acides palmitoléique (C16:1, n-7) et vaccinique (C18:1, n-7). En fait, de 40 à 50, 70 et 80°C, les teneurs ont diminué de 6,87; 15,67; 13,73 et 8,48; 9,88; 7,21% pour les acides palmitoléique (C16: 1, n-7) et vaccinique (C18: 1, n-7), respectivement.

Tableau 16. Effet de la température de séchage sur le profil des acides gras (% acides gras totaux)

a. Pourcentages des acides gras à 40, 50, 70 et 80 °C

Acides gras	Température de séchage (°C)			
	40	50	70	80
<i>Acides gras saturés (AGS)</i>	21,33	23,65	22,84	21,50
C12:0 - Laurique	0,35	0,18	0,19	0,14
C14:0 - Myristique	0,34	0,28	0,25	0,23
C15:0 - Pentadécanoïque	0,23	0,21	0,26	0,21
C16:0 - Palmitique	16,27	16,50	16,91	15,95
C18:0 - Stéarique	2,48	3,41	2,84	2,70
C20:0 - Arachidique	0,34	0,60	0,40	0,40
C22:0 - Béhénique	0,32	0,83	0,59	0,58
C24:0 - Lignocérique	1,01	1,64	1,40	1,28
<i>Acides gras insaturés (AGI)</i>	78,67	76,35	77,16	78,0
<i>Acides gras monoinsaturés (AGMI)</i>	69,78	67,99	66,02	66,57
C16:1, n-9 - Hexadécanoïque	0,33	0,31	0,41	0,41
C16:1, n-7 - Palmitoléique	5,68	5,29	4,79	4,90
C17:1 - Heptadécanoïque	0,33	0,39	0,30	0,33
C18:1, n-9 - Oléique	27,46	29,04	28,10	27,54
C18:1, n-7 - Vaccinique	35,83	32,79	32,29	33,39
C20:1, n-9 - Eicosénoïque	0,15	0,16	0,13	0,00
<i>Acides gras polyinsaturés (AGPI)</i>	8,89	8,36	11,14	11,93
C18:2, n-6 - Linoléique	3,04	3,37	2,63	2,56
C18:2, n-?	3,08	1,92	2,67	2,63
C18:3, n-3 - Linoléinique	2,77	3,08	5,85	6,75
n-6/n-3	1,10	1,10	0,45	0,38
AGMI/AGS	3,27	2,88	2,89	3,10
AGPI/AGS	0,42	0,35	0,49	0,55
AGI/AGS	3,69	3,23	3,38	3,65

b. Variations des AGMIs et AGPIs par rapport à 40 °C

Acides gras	Température de séchage (°C)			
	40	50	70	80
Acides gras monoinsaturés (AGMI)	69,78	67,99	66,02	66,57
	0	-2,56	-5,39	-4,6
C16:1, n-7 - Palmitoléique	5,68	5,29	4,79	4,90
	0	-6,87	-15,67	-13,73
C18:1, n-7 - Vaccinique	35,83	32,79	32,29	33,39
	0	-8,48	-9,88	-7,21
C18:3, n-3 - Linoléinique (AGPI)	2,77	3,08	5,85	6,75
	0	+11,19	+111,19	+143,68

Ces résultats concordent avec les conclusions de Li *et al.* (2016) pour les acides gras insaturés tels que les acides oléique et linoléique, parce que, sous une chaleur croissante, les teneurs de ces acides gras insaturés diminuent.

Pour la nutrition humaine, parce que la consommation d'acides gras saturés (AGS) provoque des maladies coronariennes et augmente le taux de cholestérol transporté par les lipoprotéines de basse densité (LDL.C) dans le sang, les aliments contenant une proportion importante d'acides gras insaturés (AGI) sont préférés (Williams, 2000). Selon Williams (2000), les acides laurique (C12:0), myristique (C14:0) et palmitique (C16:0) seraient les principaux facteurs qui augmentent le LDL.C dans le plasma.

Etant donné que les hommes consomment beaucoup la pulpe de *Borassus aethiopum* (Jatau, 2008; Ali *et al.*, 2010a; 2010b et 2010c), on pourrait se demander l'effet qu'elle aurait sur la santé humaine. A ce titre, en ce qui concerne le ratio n-6/n-3, selon Williams (2000), les maladies coronariennes pourraient être liées à un déséquilibre inapproprié entre les acides gras n-6 et n-3 en augmentant les thromboses et les inflammations. En outre, il a indiqué que l'absence de n-3 conduit à l'hypertension et aux troubles immunitaires. De même, FAO (2010a) fait remarquer qu'un ratio élevé de n-6/n-3 devrait être évité. De plus, comme aucun problème n'a été associé au n-6, les repas devraient avoir une importante teneur de n-3 (FAO, 2010a). Nos résultats ont montré que lorsque la concentration de n-6 a diminué, celle de n-3 a augmenté. En conséquence, le rapport n-6/n-3 a rapidement diminué, passant de 1,1 (40-50°C) à 0,45 et 0,38 à 70 et 80°C, respectivement. Ainsi, le séchage a amélioré la qualité nutritive et fonctionnelle de la pulpe.

3.2.6. Détermination de l'énergie métabolisable

Les modèles de Fisher et McNab (1987) et FAO (2003) ont été comparés. En plus des analyses pour la détermination des taux de la matière sèche, de la protéine, de la matière grasse et des minéraux, l'évaluation de l'énergie métabolisable requiert l'analyse des sucres réducteurs pour le modèle Fisher et McNab (1987). Ainsi, les taux des glucides totaux et de l'amidon ont été obtenus par des calculs. Finalement, en appliquant chaque modèle, les énergies métabolisables ont été obtenues.

3.2.6.1. Effet de la température sur la teneur en sucres réducteurs

Les résultats ont révélé que les températures de séchage modérées (40 et 50°C) n'ont pas baissé de manière significative la teneur en sucres réducteurs (Figure 15). En effet, de 40 à 50°C les taux des sucres réducteurs ont été en baisse de $6,28 \pm 0,1$ à $6,05 \pm 0,1\%$, soit une perte de 3,66% (par rapport à 6,28); et ces moyennes n'étaient pas différentes ($p > 0,01$). Alors que, de 50 à 60°C, ces pertes étaient plus importantes, atteignant 13,06%, car le taux est passé de $6,05 \pm 0,1$ à $5,26 \pm 0,1\%$, et ces moyennes étaient différentes ($p < 0,01$). Enfin, de 60 à 80°C le taux de dénaturation a été de 9,5% car il a diminué de $5,26 \pm 0,1$ à $4,76 \pm 0,1\%$. Dans l'ensemble, les pulpes des fruits mûrs de *B. aethiopum* seraient plus sucrées à Yamoussoukro que celles des régions de Kousséri et Ngaoundere au Cameroun. Il en serait ainsi car le plus faible taux (4,76%) obtenu à 80°C est supérieur au taux moyen de 4,17% annoncé par Ali *et al.* (2010a).

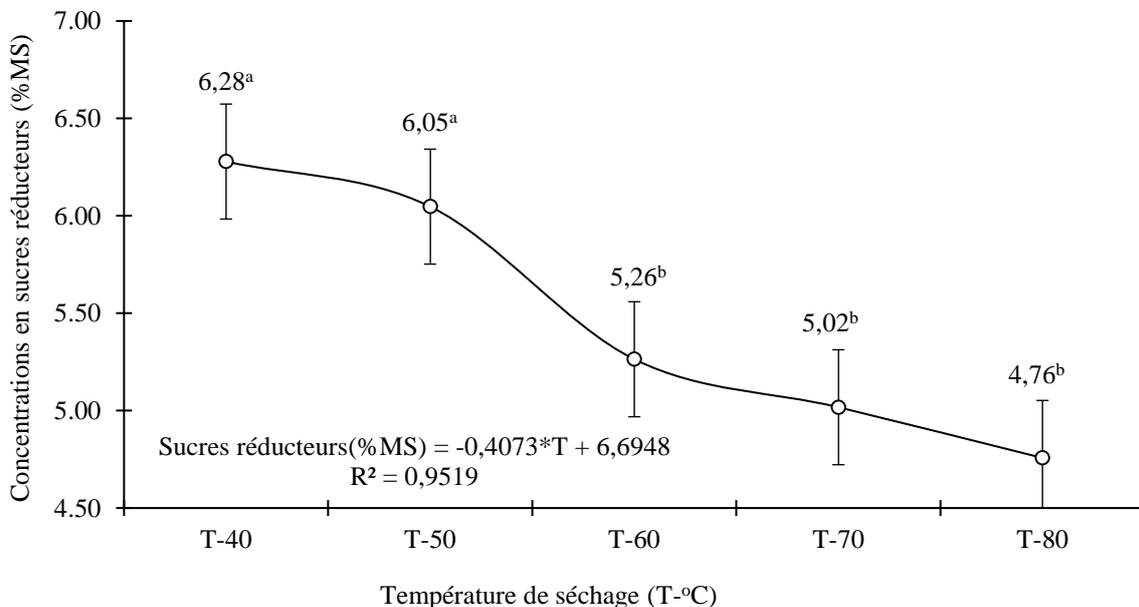


Figure 15. Effet de la température de séchage sur la teneur en sucres réducteurs

Les moyennes ayant différents exposants diffèrent significativement, suivant le classement des moyennes multiples par la méthode de Duncan ($\alpha=0,01$).

Ces taux décroissants en sucres solubles sous l'effet d'une température de séchage croissante sont compatibles avec les résultats de Belitz *et al.* (2004), lorsqu'ils ont étudié la dépendance à la température du goût de certains sucres. Ils ont découvert que pendant le processus de séchage, alors que la teneur en D-Glucose diminuait suite à une chaleur de séchage croissante, certains nouveaux produits tels que le fructopyranose et le fructofuranose apparaissaient. De même, en séchant la pulpe de citrouille (*Cucurbita pepo*) dans un four à 45°C jusqu'à atteindre un poids

constant, Priecina et Karklina (2014) ont observé que les teneurs en fructose et en glucose diminuaient respectivement de 18,87 à 13,47 et 17,77 à 12,84%, ce qui signifie des pertes de 28,59 et 27,76%.

Ces réactions de brunissement non-enzymatiques entre les protéines et les sucres réducteurs sont bien documentées. Pour résumer ces points de vue, Friedman (1996) a déclaré que cette glycation non enzymatique est une liaison covalente de sucres à des groupes α - ou ε -NH₂ d'acides aminés et de protéines pour former des protéines glycosylées. Par conséquent, lorsqu'un fruit contient une teneur non négligeable en protéine et en sucres réducteurs, le glucose réagit avec la protéine pendant le processus de séchage. Après les réarrangements du produit "Amadori", les produits finaux peuvent être le β -furanosyle ou le β -pyranosyle (Friedman, 1996). De même, le fructose peut également être impliqué dans des réactions similaires, conduisant à la formation de fructosélysine (Belitz *et al.*, 2004).

3.2.6.2. Effet du séchage sur l'énergie métabolisable

L'énergie métabolisable a fluctué entre 3785,22 et 3608,33 kcal/kg (MS) et est similaire à celle du maïs jaune (Dale et Jackson, 1994; Bellaver *et al.*, 2004; Rodrigues *et al.*, 2015). La figure 16 révèle une similitude entre les modèles de Fisher et McNab (1987) et FAO (2003). En supposant qu'au fil des années, les méthodes d'évaluation de l'énergie métabolisable (EM) ont été améliorées grâce à de meilleurs instruments scientifiques, nous nous sommes focalisés sur les résultats du modèle de la FAO (2003). L'écart maximum de 0,54% d'augmentation a été observé à 50°C, du modèle de Fisher et McNab (1987) à celui de FAO (2003); 3813,69±31,21 et 3834,28±31,21 kcal/kg (MS), respectivement.

Ensuite, les écarts entre les nœuds restants étaient de 0,46% (3767,67±31,21 contre 3785,22±31,21 kcal/kg); 0,41% (3601,91±31,21 contre 3616,62±31,21); 0,38% (3.653,04±31,21 contre 3667,03±31,21) et finalement 0,26% (3598,78±31,21 contre 3608,33±31,21 kcal/kg) à 60, 70 et 80°C, respectivement. Les sources de variation de l'EM peuvent être diverses. En effet, au cours du broyage des pulpes séchées, le produit de 40°C était difficilement écrasable. Pendant le tamisage le pourcentage de farine recueillie était faible et avait un faible taux de fibres broyées car ces fibres étaient très dures. Tandis qu'à 50°C, la pulpe était facilement séparée de ses fibres qui restaient relativement dures. En conséquence, à 40 et 50°C les proportions de fibres dans les produits tamisés étaient faibles. Alors qu'aux chaleurs élevées de 60, 70 et 80°C, les fibres étaient bien sèches et s'émiettaient facilement.

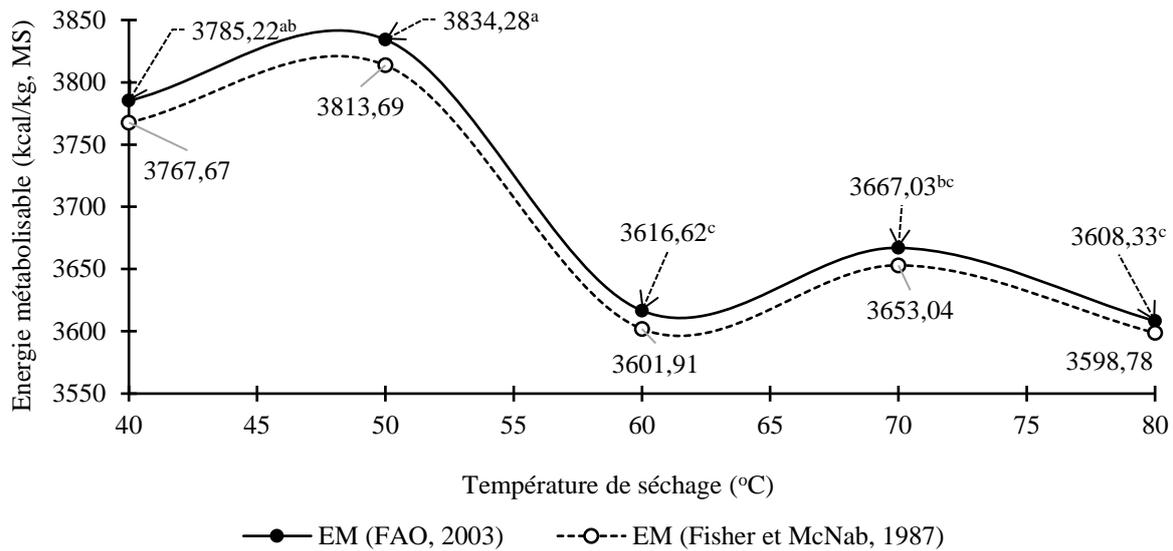


Figure 16. Effet de la température de séchage sur l'énergie métabolisable (EM) selon les modèles de FAO (2003) et Fisher et McNab (1987)

Les moyennes qui ont des exposants différents diffèrent significativement, suivant le classement des moyennes par la méthode de Duncan ($\alpha=0,01$).

Ainsi, pendant le tamisage les fibres cassées finement passaient à travers les mailles du tamis. Nous avons obtenu une poudre relativement riche en fibres cassées à 60, 70 et 80°C. C'est ainsi qu'après le passage au four à moufle, les proportions de cendre étaient élevées pour 60, 70 et 80°C, alors qu'elles étaient relativement faibles à 40 et 50°C. En appliquant la méthode de différence pour les évaluations des glucides totaux (FAO, 2003), les résultats étaient relativement plus élevés à 40 et 50°C, car les teneurs en cendres étaient plus faibles. Ceci expliquerait les EM élevées à 40 et 50°C. L'énergie métabolisable obtenue à 40°C (3785,22±31,21 kcal/kgMS) n'était pas statistiquement différente de celles obtenues à 50°C (3834,28±31,21) et à 70°C (3667,03 kcal/kg) ($p>0,01$). Mais, les EMs de 50 et 70°C étaient différentes ($p<0,01$).

Ces résultats obtenus avec la pulpe séchée de *B. aethiopum* étaient similaires à ceux rapportés par Dale et Jackson (1994) pour le maïs jaune. En effet, Dale et Jackson (1994) ont constaté que les grains de maïs jaune entiers, contenant 7,9 à 8,3% de protéines brutes, avaient 3346 et 3516 kcal/kg (MS), respectivement. En outre, Bellaver *et al.* (2004) ont annoncé 3840 kcal/kg pour le maïs entier au Brésil. Dans le même ordre, lorsque Oryema et Oryem-Origa (2016) ont évalué la composition en nutriments de la pulpe de *B. aethiopum*, ils ont obtenu 3670 kcal/kg sur la base de la matière sèche. Ainsi, parce que l'EM de la pulpe séchée de *B. aethiopum* a

fluctué entre $3.785,22 \pm 31,21$ (40°C) et $3.608,33 \pm 31,21$ kcal/kg (80°C), elle peut constituer un bon complément pour l'alimentation des volailles, comme source d'énergie. Au regard de la similitude entre les courbes des deux modèles utilisés, une régression a été faite entre l'EM du modèle FAO (2003) et celle du modèle de Fisher et McNab, (1987). Le coefficient de corrélation R^2 a été de 99,97% ($p < 0,01$; Eq. 21).

$$EM (Fisher et McNab, 1987) = 0,9636 * EM (FAO, 2003) + 119,44; R^2 = 99,97 \quad (\text{Eq. 21})$$

3.2.7. Conclusion partielle sur les nutriments

La valeur nutritive de la pulpe séchée de fruits mûrs de *B. aethiopum* a été fortement influencée par la température de séchage. Sa valeur énergétique est restée élevée (3600 kcal/kgMS). Elle est due à sa forte teneur en sucres solubles (6,28% et 5,02%), en matières grasses (14,12% et 8,89%) et en protéines (11,64% et 8,84%), respectivement à 40 et 70°C. Puisque la durée de séchage a été réduite de 7 jours à 4 en passant de 40 à 70°C, en améliorant le taux de matière sèche, l'énergie métabolisable et la couleur jaune-orangée de la poudre obtenue, 70°C a été retenue comme la meilleure température de séchage. Au cours du séchage, des liaisons covalentes se forment entre les sucres et les groupes α - ou ϵ -NH₂ des acides aminés des protéines, et conduisent aux formations des protéines glycosylées. Par conséquent, les teneurs en protéines et en sucres diminuent. En raison d'un pourcentage élevé en acides gras insaturés ($\geq 76,35\%$, le plus bas à 50°C), cette pulpe peut être utile pour un éventuel enrichissement de l'huile de palme (*Elaeis guineensis*) car celle-ci contient un taux élevé d'acides gras saturés. Le séchage a amélioré la qualité nutritionnelle de la pulpe séchée en réduisant le rapport n-6/n-3. Ainsi, la pulpe de *B. aethiopum* séchée peut être une importante source d'énergie pour la nutrition de volaille en élevage moderne industriel.

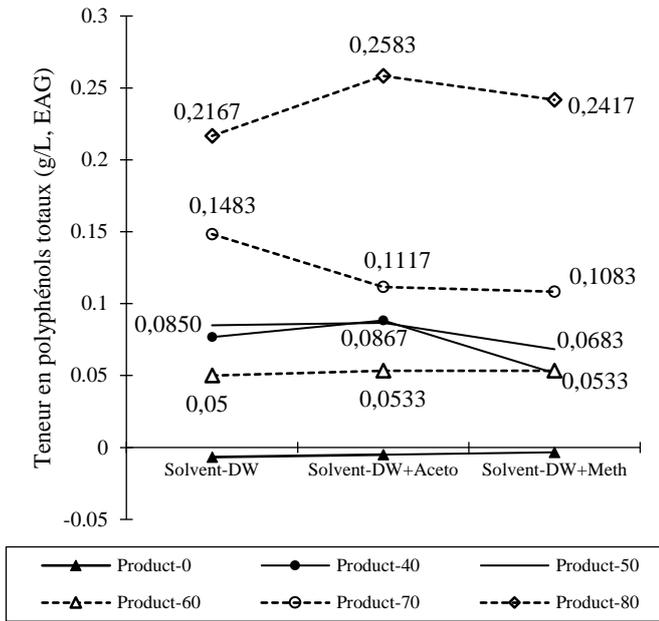
3.3. Activité antioxydante des extraits de la pulpe de *Borassus aethiopum*

Le pouvoir antioxydant d'un régime alimentaire dépend de sa teneur en polyphénols (Halliwell, 1996). Parmi ceux-ci, un regard particulier a été fait aux flavonoïdes totaux car ils ont un pouvoir anti-inflammatoire (Halliwell, 1996).

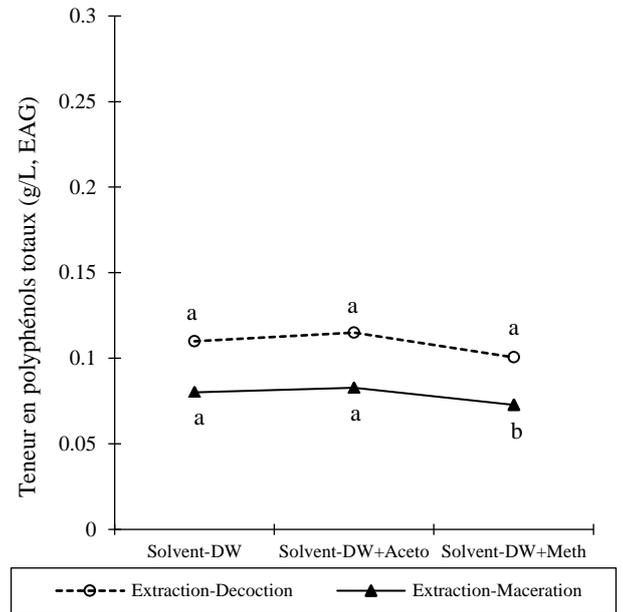
3.3.1. Teneur en polyphénols totaux des extraits de la pulpe séchée de *B. aethiopum*

Les changements observés à partir de la pulpe fraîche (produit 0) jusqu'à l'effet du séchage à l'air chaud contrôlé sur la pulpe sont fournis à la figure 17. En utilisant l'eau distillée (DW), la solution aqueuse de 70% de méthanol (DW+Meth) et celle de 70% d'acétone (DW+Aceto) comme solvants d'une part, la macération et la décoction comme modes d'extraction d'autre part, aucun composé de polyphénols n'a été trouvé dans la pulpe fraîche (Figure 17. a, c, d). Malgré ce résultat, cela ne signifie pas que la pulpe fraîche ne contient pas de polyphénols effectivement.

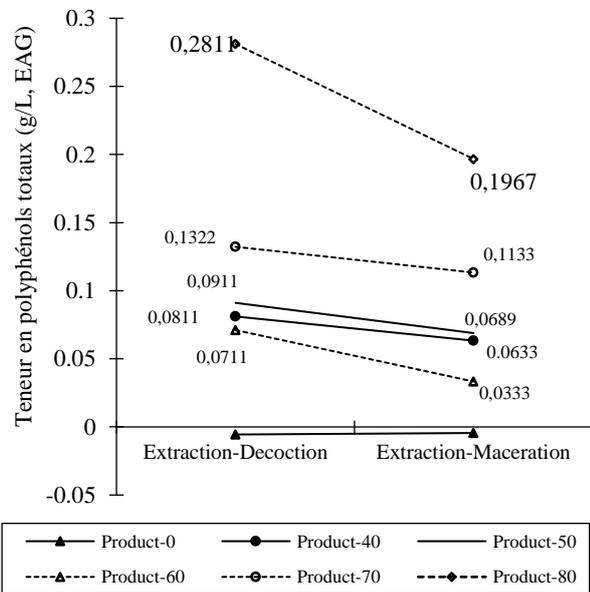
En fait, même si les polyphénols, contenus dans les vacuoles cellulaires, sont dits solubles dans l'eau, Wood *et al.* (2002) ont rappelé que certains flavonoïdes peuvent se lier aux protéines, et sont aussi arrivés à la conclusion que le milieu basique (pH=8) est plus puissant que l'eau distillée et le milieu acide comme solvants pour l'extraction des polyphénols. Aussi, les 30 µL d'extrait utilisés pour l'évaluation des polyphénols totaux peuvent être trop peu, compte tenu de la teneur élevée en eau dans le produit frais. En fait, en raison de la teneur élevée en protéines de la pulpe d'*Elaeis guineensis* Rodriguez *et al.* (2016) ont utilisé 50 µL d'extrait pour l'évaluation des phénols totaux, au lieu de 30 µL sur un échantillon frais. Ils ont extrait 0,263 mg EAG/g dans l'huile de palme fraîche des plantes hybrides. Les fruits de couleur jaune ou jaune-orangée peuvent contenir une quantité importante de polyphénols. Gil *et al.* (2002) ont extrait des quantités importantes de polyphénols de la chair de fruits frais. Dans les nectarines à chair blanche (*Agapanthus africanus*) et *Hibiscus* rouge (*Hibiscus disambiguation*), ils ont extrait 0,154 et 0,415 mg EAG/g respectivement ; démontrant que la couleur est un facteur clé. Tout aussi important, certains produits alimentaires colorés tels que les patates douces (*Ipomoea batatas*) à chair jaune ou violette contiennent de très grandes quantités de polyphénols. Dans ce cas, la chair de patate douce à chair jaune présentait 3,44 et la chair violette 4,81 mg EAG/g (Lachman *et al.*, 2008). En outre, la pulpe des fruits de cactus (*Opuntia ficus*) contient 0,892 mg EAG/g pour la couleur pourpre et 0,698 mg EAG/g pour la couleur jaune dans la matière fraîche (Albano *et al.*, 2015). Travaillant sur les nectarines (*Prunus persica*), la pêche et la prune, Gil *et al.* (2002) ont conclu que la peau contient généralement plus de phénols totaux que la chair.



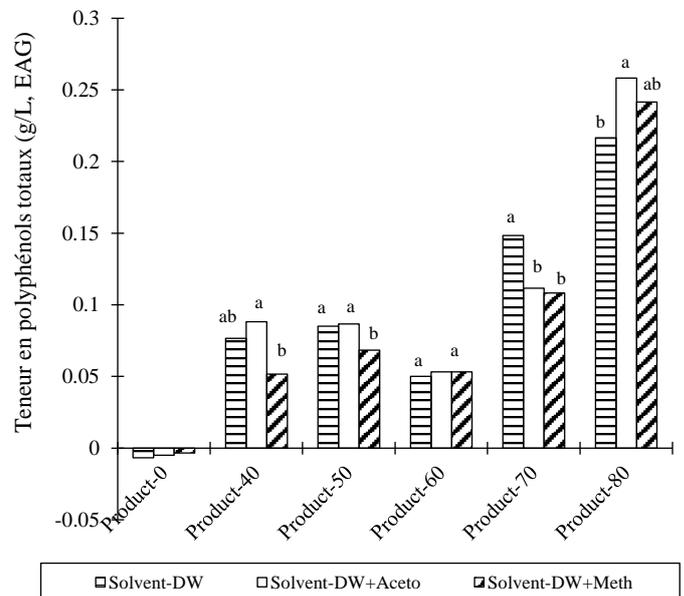
a.) Interaction entre les produits et les solvants



b.) Interaction entre le mode d'extraction et les solvants



c.) Interaction entre les produits et les modes d'extraction



d.) Interaction entre les solvants et les produits

Figure 17. Facteurs d'interaction entre les modes d'extraction (macération, décoction), les solvants (DW, DW+Meth, DW+Aceto) et les produits (Frais (0), séchés à 40, 50, 60, 70, 80°C) sur la teneur en polyphénols totaux (g/L EAG) des extraits de pulpe séchée.

Différentes lettres à l'intérieur d'un même produit donné signifient une différence statistique significative selon le classement des moyennes multiples par la méthode de Duncan ($\alpha=0,01$) (Figure 17. b, d); (Product=Produit)

Considérant Jim rouge, Gil *et al.* (2002) ont eu 415 mg EAG/kg de phénols totaux dans la chair et 1.403 mg EAG/kg dans les peaux, soit 232,47% en plus. Ainsi, les polyphénols constituent un groupe important de composés phytochimiques dans les fruits comestibles (Marinova *et al.*, 2005).

De même, à un stade pleinement mûr, *Tacinga inamoena* a montré une teneur de 3,485 et 0,2867 µg/g de pulpe pour la teneur totale en caroténoïdes (Dantas *et al.*, 2016). Pour les fruits colorés, les peaux qui sont les barrières naturelles entre le contenu et l'atmosphère présentent une meilleure teneur en phénols totaux que les pulpes (Gil *et al.*, 2002). De plus, la teneur en polyphénols totaux des extraits de la pulpe séchée déterminée par la méthode de Folin-Ciocalteu pourrait être affectée par les protéines, l'acide ascorbique et les sucres réducteurs dans le milieu (Saleh *et al.*, 2011). En effet, Ali *et al.* (2010c) ont découvert que la pulpe fraîche de *B. aethiopum* contient entre 24,02±1,07 et 26,95±1,13% de sucres totaux ; 20,17±1,03 et 21,94±1,12% de sucre réducteur ; 3,92±0,1 et 4,06±0,23% de protéines brutes et une importante quantité d'acide ascorbique (vitamine C). Encore une fois, Vijayakumari *et al.*, (2014), reproduisant Ali *et al.* (2010c) sur de la farine de pulpe de *B. flabellifer* en Asie, ont trouvé 0,225 g de sucres totaux, 0,012 g de protéines et 0,016 mg d'acide ascorbique dans un gramme de pulpe séchée. Ainsi, dans nos conditions de travail, l'évaluation des polyphénols totaux aurait pu être gravement affectée. D'où, les conditions d'extraction des polyphénols sur la pulpe fraîche de *B. aethiopum* (produit-0) n'étaient pas réunies.

Sur les produits séchés, en regardant l'interaction entre les solvants et les produits (Figure 17. a, d), de 40 à 60°C, des différences numériques ont été observées, et ces résultats étaient parfois significativement différents dans un intervalle de confiance de 99%, pour un produit donné. A 40°C, l'extrait maximum a été obtenu dans DW+Aceto avec 0,0883 g EAG/L (266,667 mg EAG/g), puis il a chuté à 0,0867 g EAG/L (261,834 mg EAG/g) à 50°C et a terminé à 0,0533 g EAG/L (160,966 mg EAG/g). Comparativement, lorsque les graines de *Moringa oleifera* ont été séchées à 50 et 55°C, extraites avec du méthanol aqueux qui était leur meilleur solvant, les extraits de phénols totaux étaient de 49,53 mg EAG/g (Singh *et al.*, 2013). Cet extrait de 49,53 mg EAG/g de Singh *et al.* (2013) est 4,16 fois moins que ceux de *Borassus aethiopum* à 50°C avec DW+Meth (0,0683 g EAG/L; 206,266 mg EAG/g) qui était notre le plus mauvais solvant extracteur.

Singulièrement, la ligne du produit 60°C (Figure 17. a), résultant de l'effet des solvants, est apparue presque plate. Ce produit a présenté un point stable (Figure 17. d), avec un extrait minimum de 0,05 g EAG/L (151 mg EAG/g) dans DW et un maximum de 0,0533 g EAG/L (160,966 mg EAG/g) dans DW+Aceto et DW+Meth, respectivement. L'écart observé n'était que de 0,0033 g EAG/L (9,966 mg EAG/g), soit 6,6%. Madrau *et al.* (2009) ont fait remarquer que pendant les séchages à basses températures de 55 à 60°C, en présence d'oxygène, il se produit une activité enzymatique polyphénol-oxydase (PPO). Ainsi, étant donné qu'une température de séchage basse nécessite des périodes de séchage plus longues comparées à une température élevée, la teneur en polyphénols résultants diminue. Ces résultats corroborent nos résultats puisque, au-dessus de 60°C, la teneur totale en phénols augmente rapidement.

Puisque la solution aqueuse de 70% d'acétone (DW+Aceto) a conduit à des extractions plus importantes (Figure 17.d) au-dessus de 70°C, nous avons suivi ses variations de 60 à 80°C. De 60 (0,0533 g EAG/L), via 70 (0,1117 g EAG/L) à 80°C (0,2583 g EAG/L), l'efficacité d'extraction a augmenté de 109,57 et 384,62% respectivement à 70 et 80 en partant de 60°C. La comparaison de moyennes multiples par la méthode de Duncan à 99% d'intervalle de confiance a montré des différences à 70°C. L'eau distillée (DW) a extrait 0,1483 g EAG/L (447,866 mg EAG/g), et cette quantité était statistiquement plus élevée que les résultats de DW+Aceto (0,1117g EAG/L; 337,334 mg EAG/g) et DW+Meth (0,1083g EAG/L; 327,066 mg EAG/g), qui étaient non significatifs l'un par rapport à l'autre. Par exemple, à partir de raisins séchés à 70°C pendant 100 heures, Rajha *et al.* (2014) ont extrait 4,92 mg EAG/g de polyphénols totaux. Ainsi, la pulpe de *Borassus aethiopum* est 91 fois plus riche que le raisin pour la teneur en polyphénols. Outre les légumes ligneux, les champignons comestibles sont considérés comme de très bonnes sources de polyphénols. Pour l'illustrer, Wandati *et al.* (2013) ont séché à 70°C une grande variété de champignons, les ont incubés dans de l'éthanol aqueux et l'extrait le plus riche en phénols totaux a été de 15,8 mg EAG/g. Ici, l'extrait minimal a été de 0,1083 g EAG/L (327,066 mg EAG/g) dans DW+Meth.

A haute température, d'après Madrau *et al.* (2009), la réaction enzymatique polyphénol-oxydase (PPO) ne se produit pas en raison du temps d'exposition relativement court. De plus, Lohani et Muthukumarappan (2015) ont indiqué que les composés phénoliques peuvent être libérés par traitement thermique, et de plus, Jeong *et al.* (2004) ont conclu que les phénols devraient avoir un statut de liaison différent en fonction des espèces végétales. En accord avec Lohani et Muthukumarappan (2015), les extraits de composés phénoliques sont plus élevés dans les

matières séchées que dans les matières fraîches. Par exemple, la pomme fraîche contenait 3,12 mg EAG/g contre 3,5 mg EAG/g pour celle séchée à 50°C. De plus, ils ont trouvé que lorsque le produit est fermenté puis séché, il présente des extraits de polyphénols plus élevés. Malgré l'avantage apporté par la fermentation, leurs résultats étaient encore inférieurs aux extractions de *Borassus aethiopum* à la même température de séchage. Ici, les extraits étaient de 256,7; 261,834 et 206,266 mg EAG/g respectivement dans l'eau distillée, DW+Aceto et DW+Meth. *B. aethiopum* est donc plus riche que le tourteau de pomme pour les phénols totaux.

En effet, à haute température de séchage, les liaisons covalentes dans les composés phénoliques peuvent être clivées (Lohani et Muthukumarappan, 2015). De nombreux auteurs ont signalé qu'une augmentation de la température de séchage entraînait une augmentation de l'extrait phénolique total (Wood *et al.*, 2002; Jeong *et al.*, 2004; Ruenroengklin *et al.*, 2008; Madrau *et al.*, 2009). Cependant, Rajha *et al.* (2014) mentionnent qu'à haute température de séchage, lorsque le produit atteint un poids constant, c'est-à-dire qu'il ne peut plus perdre d'eau, il faut arrêter de sécher; sinon la chaleur excessive conduit à une dégradation des polyphénols. L'analyse des facteurs a révélé que la température de séchage (frais, 40, 50, 60, 70 et 80°C) (Figure 17. a, c) et le mode d'extraction (décoction ou macération) (Figure 17. c) avaient chacun un effet principal sur l'extraction de phénols totaux. En revanche, en décoction les extraits des solvants (DW, DW+Meth et DW+Aceto) (Figure 17.b) n'étaient pas statistiquement différents. De plus, avec la macération, aucune forte pente n'a été observée, alors les deux courbes étaient presque parallèles. Ainsi, les solvants n'étaient pas des facteurs principaux pour l'extraction des polyphénols.

Dans le cadre de nos expériences, les meilleurs extraits des phénols totaux ont été atteints à 80°C, par décoction dans DW+Aceto et DW+Meth, pour 0,2583 g EAG/L (780,06 mg EAG/g) et 0,2417 g EAG/L (729,934 mg EAG/g) respectivement. En tenant compte de l'évolution de la couleur de 40 à 80°C, nous pouvons déduire que 80°C était une température excessive de séchage. Initialement, à 40 et 50°C, la farine obtenue était de couleur blanche. A 60°C la couleur était un marron clair. Puis, il y a eu une intensification du marron à 70°C. Finalement, à 80°C le produit a viré à un marron foncé intense, peut-être en raison de la teneur élevée en sucres qui caramélisaient probablement. En regardant la teneur en composés phénoliques dans la pulpe de *Borassus flabellifer* séchée à 60°C pendant 48 heures, Vijayakumari *et al.* (2014) ont trouvé qu'elle contenait 22,5% de sucres ; quand Ali *et al.* (2010c) ont signalé 23,96% dans la pulpe de *Borassus aethiopum* séchée à 40°C pour le même temps de séchage. Comme l'extraction

avec l'eau distillée (DW) en décoction était plus importante à 70 qu'à 40°C, respectivement 0,14485 g EAG/L (447,866 mg EAG/g) contre 0,0767 g EAG/L (231,634 mg EAG/g), soit une amélioration de 93,61% par rapport à 40°C, nous avons admis 70°C comme la meilleure température de séchage, car en outre le séchage à 70°C a réduit la durée de séchage de 8 jours à 40°C à 5.

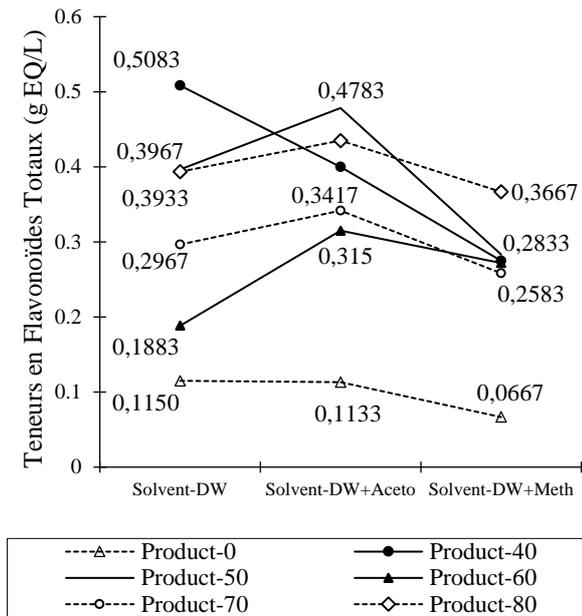
3.3.2. Flavonoïdes totaux des extraits de la pulpe séchée de *Borassus aethiopum*

Contrairement aux résultats de Rajha *et al.* (2014) sur les sous-produits du raisin, la température a certainement un effet positif sur l'extraction totale des polyphénols totaux et des flavonoïdes de la pulpe séchée de *B. aethiopum*, mais pas de façon linéaire. Ici, les extractions de flavonoïdes ont varié avec la température de séchage, le solvant et le mode d'extraction.

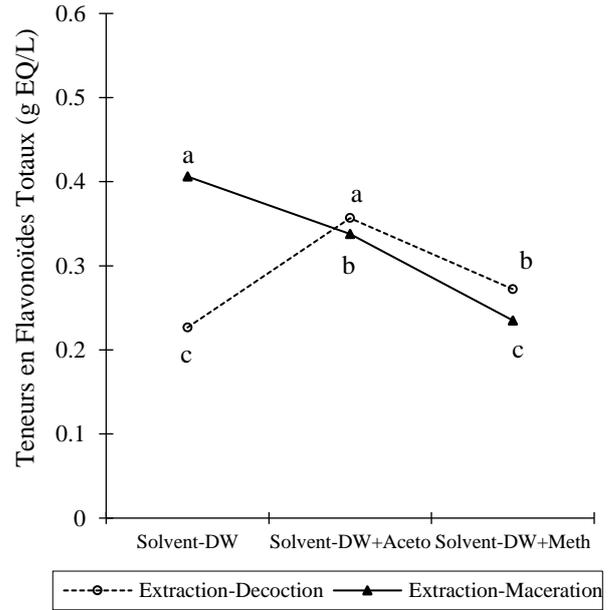
En commençant par le produit frais (Figure 18. e), les meilleurs extraits dans l'eau distillée (DW) et la solution aqueuse de 70% d'acétone (DW+Aceto) ont été 0,115 g EQ/L (23 mg EQ/g) et 0,1113 g EQ/L (22,66 mg EQ/g) respectivement, et ces résultats n'étaient pas statistiquement différents ($p>0,01$). Mais ils étaient différents de 0,0667 g EQ/L (13,34 mg EQ/g) qui était la quantité extraite avec DW+Meth. En ce qui concerne le solvant DW+Meth, l'extraction n'était pas bonne, puisque par rapport à DW, 42,61% du pouvoir d'extraction était perdu.

De même, Karimi *et al.* (2015) ont montré que les teneurs en flavonoïdes totaux dans les feuilles fraîches d'origan chez les cultivars mexicains (*Lippia graveolens*) et méditerranéens (*Origanum vulgare*) étaient respectivement de 82,74 et 41,97 mg/g. Chez *Lippia graveolens*, le cultivar le plus riche en flavonoïdes, ils ont obtenu 1,64 mg EQ/g. Cette quantité est plus de 8 fois inférieure à celle permise par l'extraction la plus basse avec DW+Meth sur la pulpe fraîche de *B. aethiopum*.

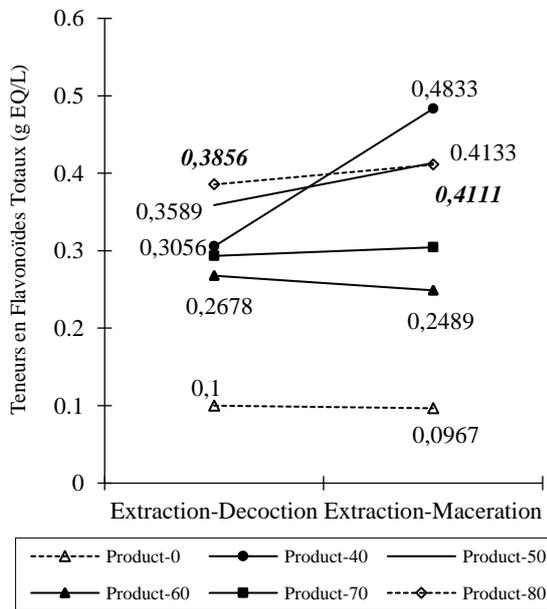
Ici, en suivant avec l'effet de la température de séchage, DW comme solvant, les produits séchés à 40, 50 et 60°C ont permis des extractions de 0,5083 g EQ/L (101,66 mg EQ/g); 0,3967 g EQ/L (79,34 mg EQ/g) et 0,1883 g EQ/L (37,66 mg EQ/g), respectivement (Figure 18. e, h). Ces résultats contrastent avec ceux de Rajha *et al.* (2014) qui ont trouvé que les teneurs en flavonoïdes totaux croient linéairement avec l'élévation de la température de séchage. En effet, les extraits ont diminué de 40 à 60°C, alors que la température de séchage a augmenté.



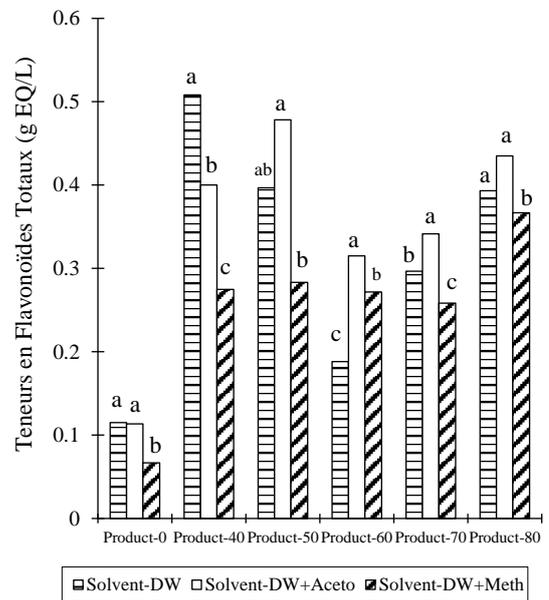
e.) Interaction entre les produits et les solvants



f.) Interaction entre le mode d'extraction et les solvants



g.) Interaction entre les produits et les modes d'extraction



h.) Interaction entre les solvants et les produits

Figure 18. Analyse d'interaction des facteurs entre les modes d'extraction (macération, décoction), solvants (DW, DW+Meth, DW+Aceto) et produits (frais (0), 40, 50, 60, 70, 80°C) sur la teneur en flavonoïdes (g/L-1 EQ).

Différentes lettres à l'intérieur d'un produit donné signifient une différence statistique significative selon le classement des moyennes multiples par la méthode de Duncan ($\alpha=0,01$), (Figure 18. f, h). (Product=Produit)

Ainsi, les températures modérées telles que 40 et 50°C ont permis de meilleurs extraits que 60°C. Ainsi, avec DW, de 40 à 60°C, les extraits ont diminué d'environ 62,95%. A 50°C, la meilleure extraction de 0,4783 g EQ/L (95,66 mg EQ/g) a été obtenue avec DW+Aceto. Alors que l'eau distillée conduisait à des résultats très sensibles à la température de séchage en relation avec chaque produit (Figure 18.e), le solvant DW+Meth ressemblait à une solution tampon, stable pour les produits obtenus à 40, 50, 60 et 70°C. Par exemple, avec DW les extraits de flavonoïdes totaux sont passés du maximum de 0,5083 g EQ/L (101,66 mg EQ/g) à 40°C au minimum à 0,1883g EQ/L à 60°C, soit une réduction de 0,32g EQ/L qui représente une perte 62,95%. Les extraits des produits 50 à 80°C étaient entre ces 2 extrêmes. Au contraire, avec le solvant DW+Meth, les résultats ont été regroupés de 40 à 70°C dans un intervalle étroit, de 0,2833 g EQ/L (56,66 mg EQ/g, le plus élevé à 50°C) à 0,2583g EQ/L (51,66 mg EQ/g, le plus bas à 70°C). La différence est de 0,025 g EQ/L et est 12 fois plus faible que 0,32 g EQ/L. Le produit frais (0) et le produit le plus sec (80°C) sont apparus en couches excentrées avec 0,0667 g EQ/L (13,34 mg EQ/g) et 0,3667g EQ/L (73,34 mg EQ/g), respectivement. Lorsque les pulpes de *B. aethiopum* sont séchées entre 40 et 60°C, une solution aqueuse de méthanol ne serait pas un bon milieu pour l'évaluation des flavonoïdes totaux.

En regardant les interactions entre les produits et les modes d'extraction (Figure 18.g), la ligne obtenue à 40°C a présenté la plus grande pente de la décoction à la macération, où le minimum et le maximum étaient 0,3056 g EQ/L (61,12 mg EQ/g) et 0,4833 g EQ/L (96,66 mg EQ/g) respectivement ; la pente était donc de +58,15% à l'origine. Ainsi, le mode d'extraction était un facteur principal pour l'évaluation de la teneur totale en flavonoïdes à 40°C, alors qu'il ne l'était pas pour d'autres produits. La réaction enzymatique polyphénoloxydase (PPO) annoncée par Madrau *et al.* (2009) qui survient à la suite d'une longue exposition à une basse température n'aurait pas affecter les flavonoïdes totaux de la pulpe de *B. aethiopum*, puisqu'ils sont toujours disponibles. Ou, peut-être que notre méthode de séchage qui consistait en une fine couche de pulpe fibreuse dans le four a conduit à un séchage rapide pour atteindre un poids stable au 8^e jour à 40°C, de sorte que la réaction enzymatique PPO a été évitée. La meilleure température de séchage pour obtenir le meilleur extrait en flavonoïdes totaux était 40°C, et la macération était le meilleur mode d'extraction dans l'eau distillée (DW, Figure 18.f).

Les flavonoïdes jouent d'importantes activités anti-inflammatoires, antiallergiques et anticancer dans le corps humain, de nombreuses recherches vérifient la présence de ce produit dans les légumes consommés. En raison de sa proximité avec les conditions de séchage au soleil dans

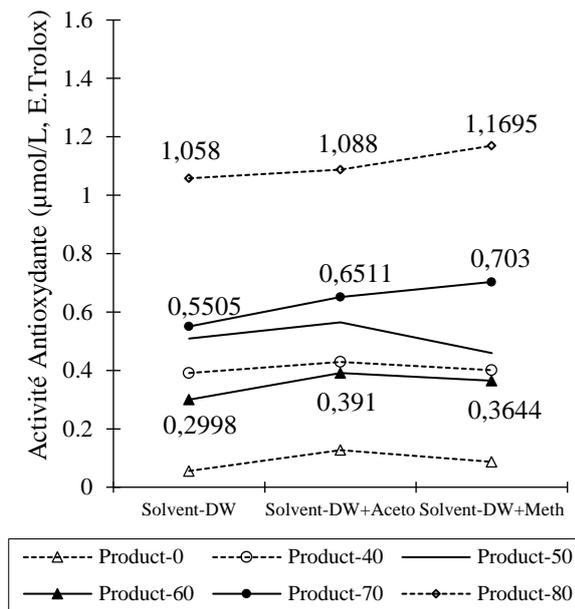
les zones rurales, 40°C est préférée par Ali *et al.* (2010a) et Vijayakumari *et al.* (2014) lors de l'évaluation des composés phytochimiques des aliments fonctionnels. Mieux, Moyo *et al.* (2012) ont séché les feuilles de *M. oleifera* à l'ombre à température ambiante, puis ils ont évalué les teneurs en flavonoïdes totaux. Les feuilles en poudre extraites avec de l'acétone aqueuse présentaient 295,01 mg EQ/g, alors que les extraits d'eau distillée étaient relativement pauvres, 45,1 mg EQ/g; 7 fois plus faibles. Extraite avec de l'eau distillée, la pulpe de *B. aethiopum* séchée à 40°C a donné 101,66 mg EQ/g, et cette quantité est 2,9 fois inférieure à 295,01 mg EQ/g (Moyo *et al.*, 2012).

Encore, avec l'analyse des polyphénols totaux, Wandati *et al.* (2013) ont vérifié la teneur en flavonoïdes totaux d'un champignon séché à 70°C. Ils ont remarqué que les jeunes champignons avaient une teneur en flavonoïdes totaux plus élevée que celle des champignons mûrs, 11,29 contre 8,91 mg EQ/g respectivement. Précisément, la meilleure extraction a été obtenue à partir des carpophores, 15,11 mg EQ/g. A une température de séchage de 70°C, la pulpe mature de *B. aethiopum* présentait 68,34 mg EQ/g, ce qui fait que la pulpe de *B. aethiopum* est plus riche en flavonoïdes totaux que certains champignons.

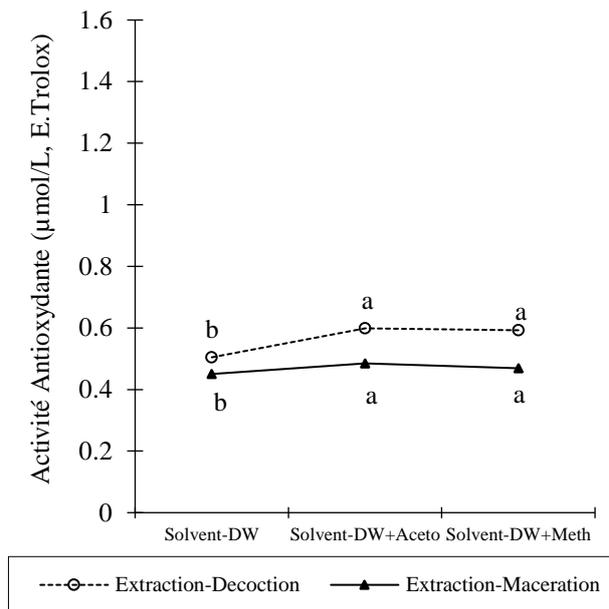
En résumé, en considérant la pulpe de *B. aethiopum*, du produit frais au produit séché à 40°C, l'eau distillée (DW) pourrait être le meilleur solvant pour l'évaluation des flavonoïdes totaux en macération, en comparaison aux solvants alcooliques. Mais, au-dessus de 40°C, une solution aqueuse à 70%Acéto pourrait conduire à de meilleures évaluations que l'eau distillée. La meilleure température de séchage pour l'évaluation des flavonoïdes totaux est de 40°C. En raison des courbes à fortes pentes observées (Figure 18.e, f, g), les 3 facteurs qu'étaient le mode d'extraction, la température de séchage et les solvants étaient tous des facteurs principaux pour les extractions des flavonoïdes totaux ($p < 0,01$). Puisque les phénols totaux composés de flavonoïdes et non flavonoïdes contribuent tous aux actions de séquestrations des anions et cations dans le corps humain, nous avons évalué à la dernière étape, l'activité antioxydante dérivée.

3.3.3. Activité antioxydante (ABTS^{*+}) des extraits de la pulpe de *B. aethiopum*

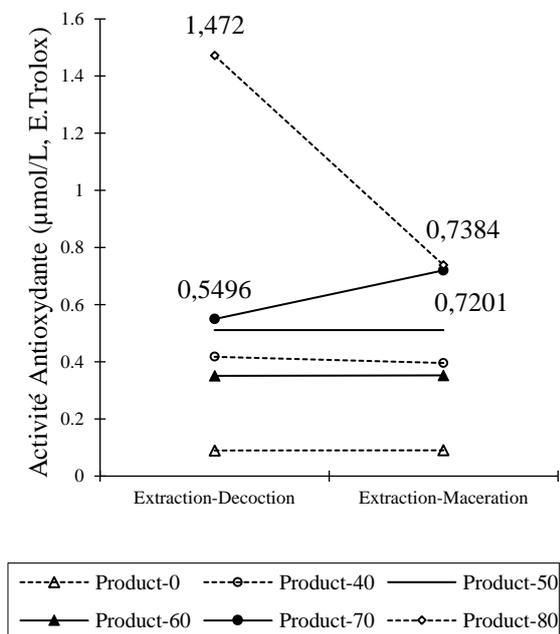
Tous les travaux cités lors de la discussion ont été réalisés avec un cation ABTS^{*+}. Les effets des interactions ont été évalués et la figure 19 résume les résultats. Le produit frais présentait l'activité antioxydante (AAO) la plus faible (Figure 19. i, 1), opposé au plus sec (80°C) qui avait la plus grande valeur antioxydante.



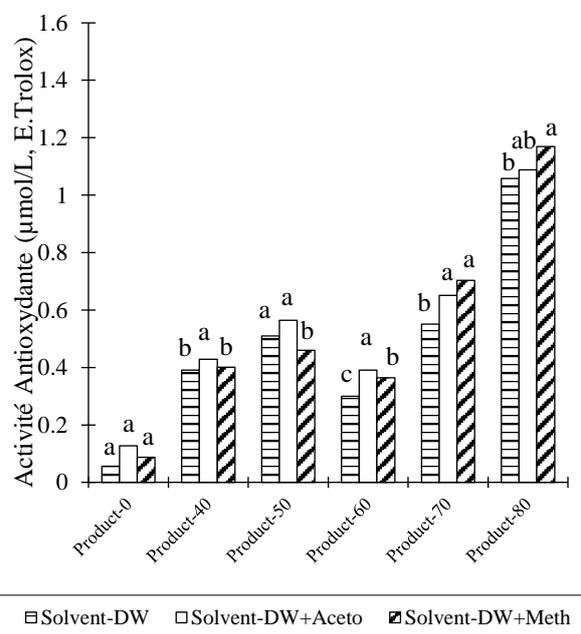
i.) Interaction entre les produits et les solvants



j.) Interaction entre le mode d'extraction et les solvants



k.) Interaction entre les produits et les modes d'extraction



L.) Interaction entre les solvants et les produits

Figure 19. Analyse des interactions entre les modes d'extraction (macération, décoction), solvants (DW, DW+Meth, DW+Aceto) et produits (frais(0), 40, 50, 60, 70, 80°C) sur l'activité antioxydante ($\mu\text{mol/L}$ E.Trolox).

Pour un produit donné, différentes lettres signifient une différence statistique significative selon le classement des moyennes multiples par la méthode de Duncan ($\alpha = 0,01$), (Figure 19. j, L). (Product=Produit)

Par exemple, avec DW+Aceto les AAO étaient de 0,12269 $\mu\text{mol E.Trolox/L}$ (0,10152 $\mu\text{mol/g E.Trolox}$) contre 1,088 $\mu\text{mol E.Trolox/L}$ (0,8704 $\mu\text{mol/g E.Trolox}$) respectivement (Figure 19. l) avec le produit frais et celui séché à 80°C.

Après une homogénéisation de la pulpe et de l'épluchure de goyave (*Psidium guajava*), Thaipong *et al.* (2006) ont évalué l'activité antioxydante d'un goyave à chair blanche "Allahabad Safeda" et trois autres à chair rose dont "Fan Retief", "Ruby Suprême" et une "hautement sélectionnée", extraite avec du méthanol et les AAOs étaient respectivement de 37,9; 34,4; 22,3; et 29,6 $\mu\text{mol/g E.Trolox}$. Dans notre étude, les AAOs des extraits avec DW+Meth étaient de 0,0874 $\mu\text{mol/L E.Trolox}$ (0,06992 $\mu\text{mol/g E.Trolox}$) sur le produit frais. De plus, sur la pulpe fraîche d'*Opuntia ficus indica*, Albano *et al.* (2015) ont obtenu 6,1 et 3,7 $\mu\text{mol/g E.Trolox}$ avec les couleurs pourpre et orange, respectivement.

Il apparait que toute couleur d'*Opuntia ficus indica* ou de goyave fraîche a une meilleure activité antioxydante que la pulpe de *Borassus aethiopum*. De même, sur la base du poids frais, Awika *et al.* (2003) ont prouvé que le facteur couleur est important pour les teneurs en polyphénols totaux, donc pour l'activité antioxydante. En extrayant avec de l'acétone aqueuse à 70% des produits de sorgho, d'une part les grains blancs et rouges présentaient 6 et 53 $\mu\text{mol/g E.Trolox}$; et d'autre part les sons blancs et rouges ont donné respectivement 28 et 53 $\mu\text{mol/g E.Trolox}$ (Awika *et al.*, 2003).

De même, en extrayant les chairs de patates douces, Teow *et al.* (2007) ont trouvé que celles de chair orange et orange foncé avaient 5,89-10,3 et 18,2 $\mu\text{mol/g E.Trolox}$, respectivement. De la même manière, Rodriguez *et al.* (2016) ont constaté que 18 semaines après l'anthèse, l'huile de palme de l'hybride de *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* contenait 0,59 $\mu\text{mol/g E.Trolox}$. A la Figure 19.L, nous constatons que du produit frais (0) à celui séché à 60°C, l'activité antioxydante des extraits avec l'acétone aqueuse était supérieure à celle de ceux obtenus avec le méthanol aqueux. Cette même tendance a été observée sur la courbe des polyphénols totaux (Figure 17.d), alors qu'à plus de 60°C, le méthanol a pris le relais.

De nombreux auteurs ont cherché des températures douces de séchage, dans le but de garder tous les composés phytochimiques intacts dans les cellules. Par exemple, en utilisant une température inférieure à 40°C, Ali *et al.* (2010c), Arunachalam *et al.* (2011) ont séché l'embryon de graines de *B. flabellifer* à l'ombre à température ambiante, 25°C. En effet, les AAOs étaient

considérablement plus élevées que celles de la présente étude, puisqu'ils indiquaient 5.206,9 et 3.438,8 $\mu\text{mol/g}$ E.Trolox, respectivement pour l'acétone et le méthanol aqueux. A part les pulpes séchées à 70 et 80°C, les deux modes d'extraction donnent des résultats presque égaux sur les produits frais et ceux séchés à 40, 50 et 60°C, conduisant à des lignes parallèles à l'axe des abscisses (Figure 19.k). Sur la Figure 19.j, l'interaction entre les modes d'extraction (décoction et macération) et les solvants (DW, DW+Aceto, DW+Meth) a montré que pour un mode d'extraction donné, DW+Aceto et DW+Meth donnent des résultats similaires, et DW extrait toujours la plus faible quantité qui est significativement différente des 2 autres ($\alpha=0,01$).

Ainsi, l'effet principal sur l'AOA était la température de séchage à 70 et 80°C, les pentes de leurs droites étaient plus fortes que les autres. Ainsi, au regard des solvants, les présents résultats corroborent ceux obtenus à 25°C par Arunachalam *et al.* (2011), car la solution aqueuse d'acétone et de méthanol ont les extractions les plus élevées (Figure 19.L). Comme le phénomène observé lors de l'évaluation des polyphénols, à 60°C, nous avons obtenu les résultats les plus faibles. Ainsi, en brisant la tendance de croissance, les 3 activités antioxydantes ont chuté (Figure 19.L). En observant le produit séché à 50°C, l'AAO la plus élevée a été obtenue avec DW+Aceto pour 0,5645 $\mu\text{mol/L}$ E.Trolox (0,4516 $\mu\text{mol/g}$ E.Trolox). A 60°C, cette AAO a chuté à 0,3910 $\mu\text{mol/L}$ E.Trolox (0,3128 $\mu\text{mol/g}$ E.Trolox), soit une réduction de 30,73%. Similairement, de 50 à 60°C, l'extrait le plus bas obtenu avec DW+Meth a chuté de 0,4593 $\mu\text{mol/L}$ E.Trolox (0,36744 $\mu\text{mol/g}$ E.Trolox) à 0,3644 $\mu\text{mol/L}$ E.Trolox (0,29152 $\mu\text{mol/g}$ E.Trolox), soit une perte de 20,66%.

Cette dépression à 60°C a été rapportée pour les sous-produits du raisin, lorsque Rajha *et al.* (2014) ont évalué l'AAO de 40 à 80°C. Au contraire, de 20 à 80°C, Candrawinata *et al.* (2014) ont constaté qu'une augmentation de la température permettait une extraction croissante des polyphénols totaux, augmentant ainsi l'activité antioxydante. En outre, Lohani et Muthukumarappan (2015) ont par ailleurs démontré que les effets d'interaction entre deux variables indépendantes réduisent le résultat dépendant. Par exemple, en examinant les effets de la méthode de séchage (MSech) et l'amplitude de l'ultrasonication (USon) sur les résidus de pomme séparément, ils ont rapporté 6.788,33 et 1.876,87 $\mu\text{mol/g}$ E.Trolox, respectivement. Tandis que l'interaction (MSech*USon) donnait 1.594,18 $\mu\text{mol/g}$ E.Trolox. Ainsi, nos résultats pourraient avoir été influencés par les effets d'interaction entre les solvants, les modes d'extraction et les températures de séchage.

3.3.4. Relation entre les extraits de polyphénols totaux et activité antioxydante

Vu les similarités entre les courbes des figures 17.d et 19.L, est-ce que la connaissance de la teneur en polyphénols totaux pourrait prédire l'activité antioxydante ? En effet, sur des produits de sorgho, Awika *et al.* (2003) ont annoncé un très bon coefficient de corrélation entre les teneurs en polyphénols totaux (TPT) et l'activité antioxydante (AAO), avec un coefficient de corrélation de R^2 de 97,1%. De même, sur des extraits de goyave avec du méthanol aqueux, Thaipong *et al.* (2006) ont rapporté un coefficient R^2 de 94,09%. Tout aussi important, lorsque Teow *et al.* (2007) ont évalué les TPTs et l'AAO des patates douces, ils ont annoncé R^2 de 93,7%. En tenant compte de l'effet de l'interaction entre les 3 facteurs (température, solvant et mode d'extraction) et en regardant les évolutions des extraits de polyphénols totaux (Figure 17. d) et l'activité antioxydante (Figure 19.L), la potentielle relation entre TPTs et AAOs correspondantes a été recherchée (Figure 20).

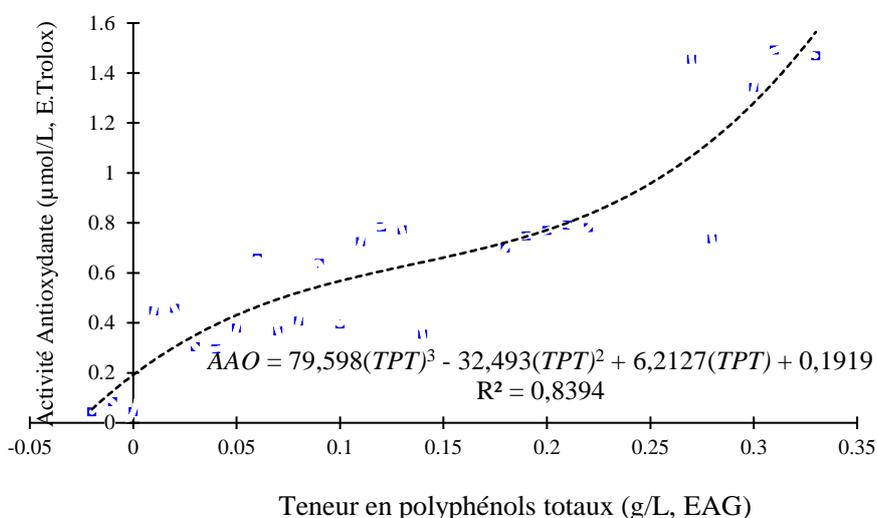


Figure 20. Relation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante

Note: En raison de doublons, le nombre de nœuds a été réduit de 108 à 27

Même si le coefficient de corrélation ($R^2=0,8394$) n'est pas aussi élevé que ceux annoncés par les précédents auteurs, il peut être considéré bon, puisqu'il est supérieur à 0,7 qui a été annoncé bon (Candrawinata *et al.*, 2014). Comme l'ont mentionné Brend *et al.* (2012), la cuisson à la chaleur d'un four ou la cuisson à l'eau n'affecte pas significativement la teneur en polyphénols totaux et ses dérivés tels que les flavonoïdes totaux et l'activité antioxydante. Ainsi, le séchage dans un four ou la cuisson à l'eau conduisent à la même valeur nutritive. En guise de remarque, pendant plus de 2 heures de travail, nous n'avons pas observé de brunissement dû à une réaction de Maillard (Vijayakumari *et al.*, 2014), lorsque la pulpe de *B. aethiopicum* a été exposée à la lumière.

3.3.5: Conclusion partielle sur l'activité antioxydante

Nous avons évalué la teneur en polyphénols totaux (TPT), la teneur en flavonoïdes totaux (TFT) et l'activité antioxydante (AAO) des pulpes fraîches et séchées de fruits mûrs de *Borassus aethiopum*. Pendant les évaluations TPT, TFT et AAO, six produits (frais (0), 40, 50, 60, 70 et 80°C), deux modes d'extraction dont la décoction et la macération et trois solvants que sont l'eau distillée (DW), l'acétone (DW+Aceto) et le méthanol (DW+Meth) aqueux ont été utilisés. Le mode d'extraction et la température de séchage ont significativement affecté TPT, TFT et AAO ($p < 0,01$). En revanche, le solvant a partiellement agi sur les extractions. En fait, seul, le solvant n'affecte pas le TPT ($p > 0,01$), de même que certaines interactions avec le solvant, telles que "Extraction*Solvant" ($p > 0,01$) et "Extraction*Solvant*Produit" ($p > 0,01$). Mais, le solvant a eu un effet significatif sur les extraits pour les TFTs et les AAOs ($p < 0,01$). En regardant la couleur du produit sec obtenu, 70°C a été retenue comme la meilleure température de séchage. Même si à 80°C l'activité antioxydante est la plus élevée, les sucres caramélisaient, donnant ainsi un produit sec brun. Comparativement à 50°C, à 70°C les extraits des polyphénols totaux (Figure 17.d) et les activités antioxydantes (Figure 19.L) étaient significativement supérieurs. Enfin, le temps de séchage à l'étuve de 8 jours à 40°C a été réduit à 5 à 70°C.

Par conséquent, le solvant le moins cher et meilleur extracteur pour estimer les TPTs a été l'eau distillée (DW), pour une extraction par décoction. L'extrait avec DW était de 0,1483 g EAG/L (447,866 mg EAG/g), et il était statistiquement plus élevé que ceux avec DW+Aceto et DW+Meth qui étaient respectivement de 0,117 g EAG/L (337,334 mg EAG/g) et 0,1083 g EAG/L (327,066 mg EAG/g). Cette expérience a encore confirmé que les basses températures de séchage permettent un meilleur extrait pour les flavonoïdes totaux. Puisqu'ils sont dénaturés par la chaleur, le produit de 40°C extrait avec DW en macération a permis la meilleure extraction (0,5083 g EQ/L; 101,66 mg EQ/g). En outre, avec régularité, cette expérience a prouvé que les pulpes rouges, jaunes ou jaune-orangées ont une teneur élevée en polyphénols totaux et ont une activité antioxydante élevée. Comme la pulpe de fruits mûrs de *E. guineensis*, la pulpe de fruits mûrs de *B. aethiopum* est une intéressante source de polyphénols. C'est donc un important aliment fonctionnel qui peut procurer des bienfaits pour la santé.

Pourtant, d'importantes quantités de ces gros fruits ayant plus de 30% de pulpe fibreuse pourrissent sous les arbres dans la brousse. Lors des investigations en milieu rural sur les usages des produits du palmier *B. aethiopum*, les hommes ont révélé que les fruits mûrs de *B. aethiopum* sont consommés par les agoutis (*Thryonomys swinderianus*) et des rats géants

africains (*Cricetomys gambianus*). Aussi, les habitants des zones parsemées de peuplements de *B. aethiopum*, ramassent les fruits mûrs tombés, les cuisinent et mangent la pulpe fibreuse. En conséquence, une collecte bien organisée suivie d'un bon système de séchage industriel pourrait donner une valeur ajoutée à ce fruit sous exploité. Ainsi, l'effet de la saisonnalité pourrait être réduit pour sa disponibilité sur les marchés. Cependant, dans le cas d'un système de séchage industriel, la température de séchage reste le facteur le plus important à considérer avec une grande attention. En effet, la température de séchage a eu un effet major sur les extraits de polyphénols totaux, car elle affecte grandement les polyphénols et des flavonoïdes totaux dans la matrice cellulaire, ce qui affecte l'activité antioxydante résultante.

3.4. Pulpe séchée de *B. aethiopum* dans l'aliment des poulets de chair

Les analyses des nutriments ont montré que l'énergie métabolisable (EM) de la pulpe séchée de *Borassus aethiopum* est similaire à celle du maïs jaune, plus 3500 kcal/kg(MS). Cependant compte tenu de l'aspect fibreux, des préoccupations majeures subsistaient dont :

- est-ce que les poulets picoreraient cette pulpe séchée ?
- si éventuellement ils l'acceptaient, quel serait l'impact de celle-ci sur leur croissance ?
- finalement, quel serait le profil des lipides du sérum sanguin de ces poulets ?

3.4.1. Teneur en polyphénols et flavonoïdes totaux des régimes alimentaires

Les teneurs en polyphénols et flavonoïdes totaux ont été significativement améliorées en substituant 20% du maïs jaune (T0) par la pulpe séchée pour formuler T1 (Figure 21). Pour la discussion, nous nous sommes concentrés uniquement sur les résultats du meilleur solvant dans chaque cas. Par conséquent, de T0 à T1, l'eau distillée (DW) a extrait $0,0533 \pm 0,0029$ g EAG/L ($0,161$ g EAG/gEch) et $0,1276 \pm 0,0029$ g EAG/L ($0,3826$ g EAG/gEch), soit une augmentation de 137,71%, et cette amélioration a été hautement significative ($p < 0,01$).

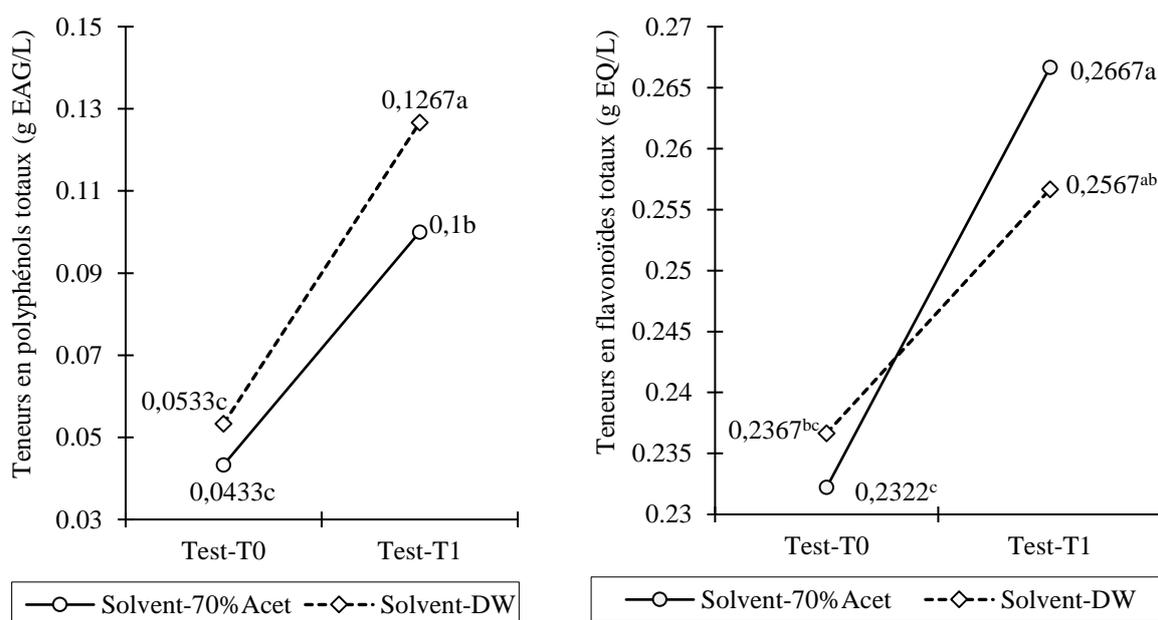


Figure 21. Teneurs en phénols et flavonoïdes totaux dans T0 et T1

Différents exposants sur un même graphique signifient une différence statistique significative entre ces moyennes selon le test de classement des moyennes multiples selon Duncan ($\alpha=0,01$), Solvent signifie Solvant, DW (*distilled water*) signifie Eau distillée.

De même, cette substitution a amélioré la teneur en flavonoïdes totaux de 14,84%, car son extrait est passé de $0,2322 \pm 0,0058$ g EQ/L ($0,0464$ g EQ/gEch) à $0,2667 \pm 0,0058$ g EQ/L ($0,05334$ g EQ/gEch), et ces deux moyennes étaient différentes ($p < 0,01$).

3.4.2. Croissance des poulets de chair

Pendant la période de démarrage, 5 poussins sont morts parmi les 153 de départ. En effet, dans chaque carton de 50 poussins, l'accoureur ajoute 1. Ainsi, il y a eu un taux de mortalité de 3,27%. Au regard des régimes (Tableau 17.a), l'aliment témoin a produit des poulets plus lourds pour $1896,97 \pm 14,51$ g contre $1658,29 \pm 13,96$ g pour le régime contenant 20% de poudre de la pulpe séchée ($p < 0,05$). Cet écart de 238,68 g représente une contreperformance de 12,58% par rapport au témoin (T0), et un retard de 14,39% pour le régime test (T1). Cet aspect serait dû à la présentation de l'aliment. En effet, selon les travaux de Chewning *et al.* (2012), un aliment poudreux conduit à une moindre croissance qu'un aliment ayant des particules de maïs entre 0,3 et 0,6 mm. Après la substitution de 20% du maïs jaune par la poudre de la pulpe séchée, le taux des grains du régime test a été amoindri, d'où sa contre-performance.

Au regard des sexes (Tableau 17.b), les coqs ont été plus lourds que les poules pour $1919,88 \pm 14,45$ g contre $1635,38 \pm 14,03$ g. Cette différence de poids de 284,5 g représente une perte 14,82% par rapport aux mâles et un retard de 17,39% pour les femelles, conduisant à un effet de dimorphisme sexuel significatif ($p < 0,01$). Ces écarts de performances de croissance entre les coqs et les poules sont en accord avec les constats de Beg *et al.* (2016) avec des poulets de 28 jour d'âge lorsque les mâles pesaient 1567 et les femelles 1504 g.

A l'abattage des poulets de chair de 48 jours d'âge, Shim *et al.* (2012) ont signalé que les mâles étaient plus lourds que les femelles, soit 3,57 contre 2,98 kg, respectivement. Du jour 28 au jour 49; sans tenir compte ni des régimes et ni des sexes (Tableau 17.c), les poulets ont pesé $1010,75 \pm 16,68$ et $2653,75 \pm 26,71$ g respectivement. Ce gain de poids de 1643 g en 21 jours a représenté un gain moyen quotidien de 78,24 g. Ainsi, chaque semaine le poids acquis a été significativement supérieur à celui de la semaine précédente ($p < 0,01$). Les résultats des interactions régimes*sexes (Tableau 17.d), combinent les effets des deux facteurs pris ensemble. Quand les mâles du régime témoin (T0*M) pesaient $2090,71 \pm 21,59$ g, ceux du régime test (T1*M) pesaient $1749,05 \pm 19,20$ g. Cet écart de 341,66 g entre les coqs traduit une moindre performance de 16,34% du régime essai (T1) par rapport au régime témoin (T0) et cette différence a été hautement significative ($p < 0,01$).

Tableau 17. Poids des poulets de chair en fonction (a) des régimes, (b) des sexes, (c) des jours, (d) de l'interaction régime*sexes, (e) de l'interaction jours*régimes et (f) de l'interaction jours*sexes

Catégorie	Moyenne	ES	Catégorie	Moyenne	ES
(a) Régimes			(b) Sexes		
T0	1896,97 ^a	14,51	M	1919,88 ^a	14,45
T1	1658,77 ^b	13,96	F	1635,38 ^b	14,03
(c) Jours			(d) Interaction Régime*Sexe		
49	2653,75 ^a	26,71	T0*M	2090,71 ^a	21,59
42	1983,79 ^b	17,68	T1*M	1749,05 ^b	19,20
35	1462,22 ^c	17,83	T0*F	1703,22 ^b	19,40
28	1010,75 ^d	16,68	T1*F	1567,53 ^c	20,27
(e) Interaction Jours*Régimes			(f) Interaction Jours*Sexes		
49*T0	2852,98 ^a	38,35	49*M	2894,92 ^a	37,01
49*T1	2452,71 ^b	37,70	49*F	2410,77 ^b	39,07
42*T0	2115,35 ^c	25,88	42*M	2147,18 ^c	25,88
42*T1	1849,97 ^d	24,22	42*F	1818,15 ^d	24,22
35*T0	1565,11 ^e	26,15	35*M	1577,69 ^e	26,63
35*T1	1355,75 ^f	24,19	35*F	1343,17 ^f	23,72
28*T0	1056,89 ^g	23,63	28*M	1055,38 ^g	24,73
28*T1	968,64 ^h	23,82	28*F	970,16 ^h	22,74

ES: Erreur standard

Différentes lettres dans une colonne signifient une différence significative selon le test de Duncan ($\alpha=0,05$).

F: Femelles; M: Mâles; T0: régime témoin; T1: régime test ayant 20% de pulpe séchée

Cette avance a été aussi observée avec les poules, car lorsque celles du régime témoin (T0*F) pesaient $1703,22 \pm 19,40$ g, celles du régime test (T1*F) affichaient $1567,53 \pm 20,27$ g. Cet écart de poids de 135,69 g représente une perte de 7,97% par rapport aux poules du régime témoin, et ces poids moyens ont été différents ($p < 0,01$). Ces résultats mettent ainsi en exergue l'effet du dimorphisme sexuel des poulets et le taux de grains dans les régimes (Shim *et al.*, 2012; Chewning *et al.*, 2012; Beg *et al.*, 2016).

L'interaction entre les jours et les régimes (Tableau 17.e) a réitéré la contreperformance de l'aliment test. Par exemple, au jour 49, les poulets du régime témoin pesaient $2852,98 \pm 38,35$ g, tandis que ceux du régime test ne pesaient que $2452,71 \pm 37,70$ g, soit une baisse de 400,27 g. Ces moyennes étaient hautement différentes ($p < 0,01$). Quant à l'interaction entre le facteur jour et le facteur sexe (Tableau 17.f) le dimorphisme sexuel observé a été reconfirmé (Beg *et al.*, 2016).

Afin de matérialiser la dynamique de l'interaction des 3 facteurs que sont les régimes, les jours et les sexes, les résultats ont été représentés en courbes (Figure 22). Cette représentation donne l'opportunité de déduire automatiquement les équations de tendance sur les gains de poids. Il est ressorti que du jour 28 au jour 49, les coqs du régime témoin (M*T0) ont toujours été plus lourds et ont été suivis de ceux du régime test (M*T1). Si au jour 28, les poids moyens des poulets M*T0, M*T1 et F*T0, respectifs de 1100,32±35,51 g ; 1006,76±33,91 g et 1003,29±30,88 g n'étaient pas différents (p>0,05), par la suite le groupe MT0 s'est détaché de ceux de MT1 et FT0. Au jour 49, quand les coqs du régime témoin pesaient 3191,79±52,85 g, ceux du régime T1 pesaient 2601,67±51,05 g. Ces 2 moyennes étaient significativement différentes (p<0,01). Du jour 28 au jour 49, le coefficient de la courbe du gain de poids moyen hebdomadaire (PMH) des coqs du régime témoin a été 686,74 g (Eq. 12'), soit un gain moyen quotidien (GMQ) de poids de 98,1 g. Au cours de la même période, ceux du régime T1 ont exprimé un coefficient de PMH de 532,86 g, soit un GMQ de poids de 76,12 g. En conséquence, pour une période donnée, ayant un coefficient de PMH plus élevé, les poids moyens des MT0 ont été significativement plus élevés que ceux des autres groupes(p<0,01).

$$PMH_{MT0}(g) = \frac{\Delta(686,74*Jour+373,86)}{\Delta(Jour)} = 686,74 * \frac{\Delta(Jour)}{\Delta(Jour)} + \frac{\Delta(373,86)}{\Delta(Jour)} = 686,74g \quad (\text{Eq.12'})$$

Le groupe de poules du régime témoin (F*T0) ont suivi ceux des coqs (M*T0 et M*T1). Elles se sont développées plus vite que celles de T1 (FT1). Ainsi, les poules ont pesé 2510±54,84 g et 2311,54±54,84 g pour F*T0 et F*T1, respectivement. Suite à cette différence de poids de 198,46 g (+8,59%) en faveur des poules F*T0, celles-ci étaient plus lourdes que celles de F*T1 (p<0,01). Les poids issus des différents régimes étaient en faveur de T0, suivant le taux de grain de maïs du régime, car il avait 20% de plus de grains de maïs concassés. Les M*T1 n'ont pas pu et ne pouvaient pas rattraper les M*T0 en raison de la texture de l'aliment. *Chewing et al.* (2012) ont annoncé que la poudre de maïs, la poudre de maïs granulée, les grains de maïs concassés à 0,3 mm et les grains de maïs concassés à 0,6 mm permettaient d'avoir au jour 44 d'âge des poids de 2733; 3227; 2981 et 2979 g pour les mâles et 2239; 2626; 2.440 et 2415 g pour les femelles, respectivement. Ils conclurent que les grains de maïs finement concassés et granulés pour avoir une relative haute densité permettent une meilleure croissance.

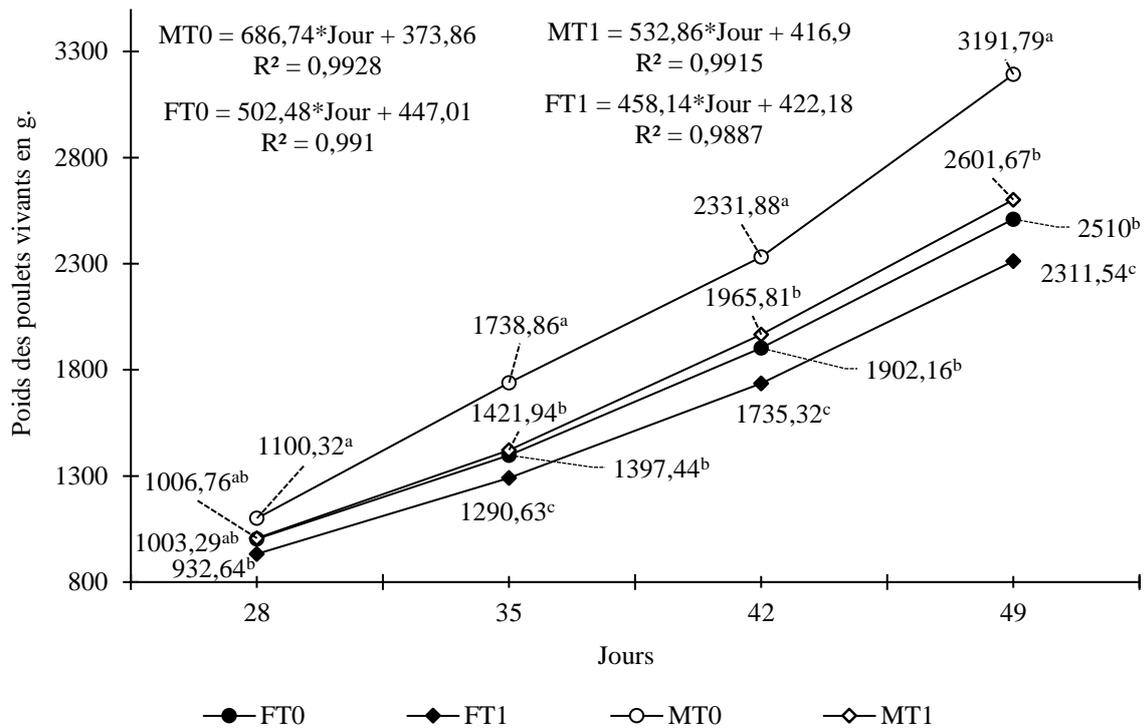


Figure 22. Poids vifs des poulets de chair (Cobb 500), Interaction régimes* jours*sexes

Différentes lettres dans une colonne de jours signifient une différence statistique selon le test des moyennes multiples de Duncan ($\alpha=0,05$). FT0: Femelles du régime T0; FT1: Femelles du régime T1; MT0: Mâles du régime T0; MT1: Mâles du régime T1.

Au jour 49, l'effet du dimorphisme sexuel a été hautement significatif. En effet, quand les M*T0 pesaient $3191,79 \pm 52,85$ g, les femelles correspondantes F*T0 pesaient $2510 \pm 54,84$ g, soit un écart de 681,79 g ($p < 0,01$). Comme déjà observé par Shim *et al.* (2012), Chewing *et al.* (2012) et Beg *et al.* (2016), l'effet hormonal conduisant au dimorphisme sexuel serait plus puissant que l'effet de la granulométrie et la densité du régime alimentaire. Ainsi, le bon effet de l'hormone de masculinité sur leur croissance a surmonté la moins bonne qualité de l'aliment qu'ils ont reçu. En occurrence, au regard des valeurs numériques, à chaque stade les coqs M*T1 ont été plus lourds que les F*T0. Par exemple, au jour 49, les coqs du régime T1 pesaient 91,67 g (+5,52%) de plus que les poules du régime T0. Cependant, les différences de poids entre M*T1 et F*T0 n'étaient pas significatives ($p > 0,05$).

Ensuite pour avoir une idée de l'éventuel impact sur la qualité du sang, les globules blancs, globules rouges et quelques caractéristiques associées ont été appréciées. De même, les teneurs en cholestérols ont été évaluées dans les plasmas sanguins suivant les régimes et les sexes.

3.4.3. Numération de la formule sanguine (NFS) des poulets de chair

La numération de la formule sanguine (NFS) au Tableau 18 n'a pas montré de différence significative entre les régimes T0 et T1. Au regard des globules blancs (WBC), les concentrations ont été de $44,77 \pm 0,76 \times 10^3/\mu\text{L}$ et $44,43 \pm 0,76 \times 10^3/\mu\text{L}$, respectivement pour les régimes T0 et T1 ($p=0,76$). Au niveau des sexes, ces concentrations ont été $44,75 \pm 0,76 \times 10^3/\mu\text{L}$ et $44,75 \pm 0,76 \times 10^3/\mu\text{L}$ ($p=0,77$), respectivement pour les femelles et les mâles. Les interactions entre les sexes et les régimes ont été de $45,70 \pm 1,07 \times 10^3/\mu\text{L}$ pour F*T0; $43,83 \pm 1,07 \times 10^3/\mu\text{L}$ pour les M*T0; $43,80 \pm 1,07 \times 10^3/\mu\text{L}$ pour les F*T1; et $45,07 \pm 1,07 \times 10^3/\mu\text{L}$ pour les M*T1 ($p \geq 0,44$). Que ce soit au niveau des régimes, des sexes et de leurs interactions, tous les résultats ont été statistiquement similaires avec une moyenne de $44,6 \times 10^3/\mu\text{L}$ ($p > 0,01$). Puisque Kuttappan *et al.* (2013) ont eu $24,04 \times 10^3/\mu\text{L}$ sur des coqs de 63 jours d'âge, en retenant la moyenne des mâles de $44,45 \times 10^3/\mu\text{L}$, la concentration des globules blancs a été supérieure de 84,90% à la leur.

En accord avec les observations de Tehrani *et al.* (2012) et Kuttappan *et al.* (2013), les paramètres hématologiques tels que WBC, RBC, HGB, MCH, MCHC et plaquettes n'étaient pas affectés par les régimes alimentaires. Dans ce même ordre, elles ont affiché respectivement En conséquence, les moyennes dans chaque colonne n'étaient pas statistiquement différentes ($p > 0,01$). Cependant, certains auteurs ont observé des variations lors de la numération de la formule sanguine, car après avoir incorporé 0,75 et 1,5% de poudre de graines de *Lepidium satvium* dans les régimes des Cobb 500, Shawle *et al.* (2016) ont conclu que les quantités des éléments figurés du sang peuvent changer significativement. Bien que nous ayons aussi conduit l'essai avec des poulets de chair Cobb 500, les résultats de T1, pour HGB, MCV et MCH, étaient généralement plus élevés que ceux de Shawle *et al.* (2016).

Par exemple, nous avons trouvé $11,88 \pm 0,4$ g/dL, $114,4 \pm 0,63$ fL et $53,53 \pm 0,57$ pg respectivement pour HGB, MCV et MCH, contre 9,28 g/dL, 103 fL et 32,3 pg annoncés par Shawle *et al.* (2016) lorsque leur régime contenait 2,25% de poudre de graines de *Lepidium satvium*. Ainsi, en gardant le même ordre, leurs résultats ont été augmentés de 28,02% (9,28 contre 11,88 g/dL); 11,07% (103 contre 114,4 fL) et 65,73% (32,3 contre 53,53 pg). Le remplacement de 20% du maïs jaune par la pulpe séchée de *B. aethiopum* aurait induit une plus grande taille des globules rouges (MCV), ayant une plus grande quantité d'hémoglobine par cellule (MCH).

Tableau 18. Numération de la formule sanguine (NFS) et ses caractéristiques des poulets de chair

Variables	WBC($10^3/\mu\text{L}$)	LYM(%)	MON(%)	GRAN(%)	RBC($10^6/\mu\text{L}$)	HGB(g/dL)
T0	44,77±0,76	89,12±0,64	6,32±0,30	4,58±0,35	2,30±0,06	12,38±0,40
T1	44,43±0,76	88,92±0,64	6,55±0,30	4,53±0,35	2,22±0,06	11,88±0,40
μ	44,60±0,76	89,02±0,64	6,43±0,30	4,56±0,35	2,26±0,06	12,13±0,40
F	44,75±0,76	88,47±0,64	6,68±0,30	4,87±0,35	39,63±0,06	3,02±0,40
M	44,45±0,76	89,57±0,64	6,18±0,30	4,25±0,35	39,82±0,06	2,78±0,40
μ	44,60±0,76	89,02±0,64	6,43±0,30	4,56±0,35	39,72±0,06	2,90±0,40
F*T0	45,70±1,07	88,13±0,90	6,63±0,43	5,27±0,49	2,37±0,09	12,77±0,57
M*T0	43,83±1,07	90,10±0,90	6,00±0,43	3,90±0,49	2,23±0,09	12,00±0,57
F*T1	43,80±1,07	88,80±0,90	6,73±0,43	4,47±0,49	2,34±0,09	12,43±0,57
M*T1	45,07±1,07	89,03±0,90	6,37±0,43	4,60±0,49	2,09±0,09	11,33±0,57
μ	44,60±1,07	89,02±0,90	6,43±0,43	4,56±0,49	2,26±0,09	12,13±0,57
Variables	HCT(%)	MCV(fL)	MCH(pg)	MCHC(g/dL)	PLT($10^3/\mu\text{L}$)	MPV(fL)
T0	26,25±0,80	114,48±0,63	53,82±0,57	47,13±0,37	67,17±4,76	6,25±0,14
T1	25,30±0,80	114,40±0,63	53,53±0,57	46,87±0,37	60,17±4,76	6,20±0,14
μ	25,77±0,80	114,44±0,63	53,68±0,57	47,00±0,37	63,67±4,76	6,23±0,14
F	26,47±0,80	112,75±0,63 ^b	53,52±0,57	47,57±0,37	67,17±4,76	6,27±0,14
M	25,08±0,80	116,13±0,63 ^a	53,83±0,57	46,43±0,37	60,17±4,76	6,18±0,14
μ	25,78±0,80		53,68±0,57	47,00±0,37	63,67±4,76	6,23±0,14
F*T0	26,70±1,12	113,07±0,89	53,90±0,81	47,80±0,53	74,33±6,74	6,37±0,20
M*T0	25,80±1,12	115,90±0,89	53,73±0,81	46,47±0,53	60,00±6,74	6,13±0,20
F*T1	26,23±1,12	112,43±0,89	53,13±0,81	47,33±0,53	60,00±6,74	6,17±0,20
M*T1	24,37±1,12	116,37±0,89	53,93±0,81	46,40±0,53	60,33±6,74	6,23±0,20
μ	25,78±1,12	114,44±0,89	53,67±0,81	47,00±0,53	63,67±6,74	6,23±0,20

Dans chaque colonne, dans la même catégorie ([F, M], [T0, T1], [FT0, FT1, MT0, MT1]), les moyennes ayant des exposants différents sont significativement différentes, selon le test de Duncan ($\alpha=0,01$)

μ : Moyenne

WBC: Globules blancs; **RBC**: Globules rouges; **HGB**: Hémoglobine; **HCT**: Hématocrite;

MCV: Volume moyen des globules rouges; **MCH**: Masse moyenne d'hémoglobine par hématie;

MCHC: Concentration moyenne d'hémoglobine par hématie; **PLT**: Plaquettes sanguine;

MPV: Volume plaquettaire moyen;

F: femelle; **M**: mâle).

T0: Régime témoin ne contenant pas de pulpe séchée de *Borassus aethiopum*;

T1: Régime test contenant 20% de pulpe séchée de *Borassus aethiopum*;

F*T0: Femelles du régime T0;

M*T0: Mâles du régime T0;

F*T1: Femelles du régime T1;

M*T1: Mâles du régime T1

En observant le genre, les volumes moyens des globules rouges (MCV) ont été plus élevés avec les mâles que les femelles, 116,13 contre 112,75 fL ($p < 0,01$), ce surplus de volume de 3,38 fL représente un accroissement de 3%. En travaillant avec des coqs, Kuttappan *et al.* (2013) ont obtenu des moyennes de 133 fL. Cet auteur soutient que la présence de grosses hématies (MCV) témoigne d'une bonne santé, surtout il n'y a pas d'anémie. En élevant le taux de protéine dans les régimes, Tehrani *et al.* (2012) ont obtenu des valeurs de MCVs de plus en plus élevées.

En opposition à cette tendance à produire des globules rouges plus gros, la pulpe séchée de *Borassus aethiopum* pourrait avoir induit une réduction du nombre de globules rouges. Par exemple, Shawle *et al.* (2016) ont compté $3,17 \times 10^6/\mu\text{L}$; $3,1 \times 10^6/\mu\text{L}$ et $2,88 \times 10^6/\mu\text{L}$, quand ils ont incorporé 0,75; 1,5 et 2,25% de poudre de graines de *Lepidium sativium*, respectivement. Nous avons trouvé $2,22 \times 10^6/\mu\text{L}$, ainsi comparées à la moyenne de leurs résultats, nos données sont inférieures de 27,31%. Ces écarts pourraient être liés à l'aliment.

Le taux des lymphocytes (LYM%) a été de $90,10 \pm 0,9$ et $89,03 \pm 0,9\%$, respectivement pour M*T0 et M*T1, et ces résultats n'étaient pas significativement différents ($p = 0,43$). Ces résultats concordent avec ceux de Tehrani *et al.* (2012) et Kuttappan *et al.* (2013). Bien sûr, le pourcentage de lymphocytes parmi les globules blancs est toujours le plus élevé. En poursuivant avec le comptage des globules rouges (RBC), alors que Tehrani *et al.* (2012) et Kuttappan *et al.* (2013) ont annoncé $2,98$ et $2,69 \times 10^6/\mu\text{L}$, respectivement, nous avons obtenu une moyenne de $2,30 \times 10^6 \pm 0,06/\mu\text{L}$ et $2,22 \times 10^6 \pm 0,06/\mu\text{L}$ ($p = 0,83$) pour les régimes T0 et T1 respectivement. Ainsi, nos résultats étaient très inférieurs à ceux annoncés par Tehrani *et al.* (2012) et Kuttappan *et al.* (2013). Les valeurs de l'hématocrite qui ont été $25,8 \pm 1,12$ contre $24,37 \pm 1,12$ ($p = 0,39$); $26,25 \pm 0,8$ contre $25,30 \pm 0,8\%$ ($p = 0,42$) respectivement pour M*T0 contre M*T1 et T0 contre T1, étaient inférieures de 33,7% au résultat le plus faible annoncé par Tehrani *et al.* (2012) et de 35,88% pour celui trouvé par Kuttappan *et al.* (2013).

L'incorporation de la pulpe séchée de *B. aethiopum* dans le régime T1 a élevé les teneurs en flavonoïdes, donc elle a permis d'avoir un régime fonctionnel. En effet, les teneurs en flavonoïdes totaux ont été améliorées de 14,84%, en passant de 0,0464 à 0,05334 g EQ/g d'échantillon. Ce groupe des 6 composés qui sont les chalcones, anthocyanines, flavones, flavanones, isoflavonoïdes et flavonols ont des propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, antimutagènes et anticancérogènes (Panche *et al.*, 2016). Les poulets nourris avec le régime T1 seraient dans de meilleures conditions sanitaires.

3.4.4. Cholestérols, triglycérides et protéine du sérum sanguin des poulets de chair

En se référant au régime témoin T0 sans la pulpe et au régime T1 ayant 20% de pulpe séchée, de T0 à T1, le cholestérol total (Tot.C) a diminué de $128 \pm 4,31$ à $109,17 \pm 4,31$ mg/dL (Tableau 19). Cette baisse de 14,71% a abouti à une moyenne de T1 significativement plus faible que celle de T0 ($p < 0,01$). Au niveau des mauvais cholestérols dont les lipoprotéines de basse densité (LDL.C) et les lipoprotéines de très basse densité (VLDL.C), quelques variations ont été observées. De T0 à T1, les concentrations en LDL.C et VLDL.C ont été de $46,93 \pm 4,02$ contre $38,86 \pm 4,02$ mg/dL ($p = 0,17$) et $16,22 \pm 0,37$ contre $15,18 \pm 0,37$ ($p = 0,06$). Ainsi, les LDL.C ont diminué de 8,07 mg/dL, soit une baisse de 17,20% et les VLDL.C ont baissé de 1,04 mg/dL, soit une réduction de 6,41%. Prises 2 à 2, ces moyennes n'étaient pas significativement différentes, conduisant ainsi des moyennes générales de $42,89 \pm 4,02$ mg/dL pour les LDL.C et $15,20 \pm 0,37$ mg/dL pour les VLDL.C. Puisque VLDL.C équivaut à 1/5 des concentrations en triglycérides (TG), les tendances sont les mêmes. La légère baisse de 6,36% en partant de $81,08 \pm 1,87$ à $75,92 \pm 1,87$ mg/dL. HDL.C) a abouti à des moyennes non différentes ($p > 0,01$)

Au niveau des sexes, les concentrations de Tot.C, HDL.C, LDL.C et protéines n'ont pas subi de baisse significative ($p > 0,01$). Ainsi, respectivement les moyennes étaient, $118,59 \pm 4,31$; $59,99 \pm 1,37$; $42,90 \pm 4,02$ et $4,97 \pm 0,05$ mg/dL. Cependant en observant des poules aux coqs, les concentrations des VLDL.C ont été de $16,56 \pm 0,37$ contre $14,84 \pm 0,37$ mg/dL. Cette importante baisse de 10,39% a été hautement significative ($p < 0,01$). On pourrait déduire que les poules ont tendance à avoir plus de triglycérides que les coqs, car les concentrations des VLDL.C représentent un cinquième de celles des triglycérides (Friedewald, 1972).

Au niveau des interactions entre les sexes et les régimes, les concentrations du Tot.C entre les M*T0 ($134,23 \pm 6,1$ mg/dL) et les M*T1 ($97,06 \pm 6,1$ mg/dL) étaient significativement différentes ($p < 0,01$). C'était une chute de 27,69%. Cependant, les concentrations du Tot.C des F*T0 ($121,77 \pm 6,1$ mg/dL) et celles des F*T1 ($121,29 \pm 6,1$ mg/dL) n'étaient pas différentes ($p = 0,95$). Donc la moyenne du Tot.C au niveau des poules était $121,53 \pm 6,1$ mg/dL. Au niveau du HDL.C, les M*T0 ont exprimé $66,09 \pm 1,23$ mg/dL quand les M*T1 affichaient 53,57 mg/dL, et cette diminution de 12,52 mg/dL, soit une réduction de 18,94%, était hautement significative ($p < 0,01$). Au niveau des poules, les F*T0 et les F*T1 ont eu des concentrations HDL.C respectives de $63,62 \pm 1,93$ et $56,68 \pm 1,93$ mg/dL. Cette légère baisse de 6,94 mg/dL a donné des moyennes non différentes ($p > 0,01$), soit une moyenne générale de $60,15 \pm 1,93$ mg/dL.

Tableau 19. Concentrations en cholestérols (C), triglycérides (TG) et protéine du plasma sanguin des poulets de chair au jour 49

Variables	Tot.C(mg/dL)	HDL.C(mg/dL)	TG(mg/dL)
F	121,53±4,31	60,15±1,37	82,80±1,87 ^a
M	115,65±4,31	59,83±1,37	74,20±1,87 ^b
μ	118,59±4,31	59,99±1,37	
T0	128,00±4,31 ^a	64,86±1,37 ^a	81,08±1,87
T1	109,17±4,31 ^b	55,13±1,37 ^b	75,92±1,87
μ			77,64±1,87
FT0	121,77±6,10 ^a	63,62±1,93 ^{ab}	84,83±2,65 ^a
MT0	134,23±6,10 ^a	66,09±1,93 ^a	77,33±2,65 ^{ab}
FT1	121,29±6,10 ^a	56,68±1,93 ^{bc}	80,77±2,65 ^{ab}
MT1	97,06±6,10 ^b	53,57±1,93 ^c	71,07±2,65 ^b
Variables	LDL.C(mg/dL)	VLDL.C(mg/dL)	Protéine(g/dL)
F	44,81±4,02	16,56±0,37 ^a	5,06±0,05
M	40,98±4,02	14,84±0,37 ^b	4,88±0,05
μ	42,90±4,02		4,97±0,05
T0	46,93±4,02	16,22±0,37	5,00±0,05
T1	38,86±4,02	15,18±0,37	4,94±0,05
μ	42,89±4,02	15,70±0,37	4,97±0,05
FT0	41,18±5,69	16,97±0,53 ^a	5,15±0,08
MT0	52,68±5,69	15,47±0,53 ^{ab}	4,85±0,08
FT1	48,45±5,69	16,15±0,53 ^{ab}	4,97±0,08
MT1	29,27±5,69	14,21±0,53 ^b	4,91±0,08
μ	42,89±5,69		4,97±0,08

Les moyennes d'une même colonne, et d'une même catégorie [(F, M); (FT0, MT0, FT1, MT1); (T0, T1)] portant des exposants différents sont significativement différents, Duncan ($\alpha=0,01$).

μ: Moyenne; **Tot.C**: Cholestérol total; **HDL.C** : Cholestérol des lipoprotéines de haute densité;

LDL.C : Cholestérol des lipoprotéines de basse densité (;

VLDL.C : Cholestérol des lipoprotéines de très basse densité ; **TG** : Triglycérides ;

HDL: lipoprotéines de haute densité (*High Density Lipoprotein*);

LDL: lipoprotéines de basse densité (*Low Density Lipoprotein*) ;

VLDL: lipoprotéines de très basse densité (*Very Low Density Lipoprotein*) ;

T0 : régime témoin sans pulpe ; **T1**: régime test ayant la pulpe séchée de *Borassus aethiopum*;

F: Femelle; **M** : Mâle;

N'ayant pas eu de variations significatives entre les sexes et les régimes, les concentrations du LDL.C des interactions entre les régimes (T0, T1) et les sexes (F, M) sont restées similaires, sans différence significative ($p \geq 0,03$). De même, les concentrations du VLDL.C entre M*T0 et

M*T1 d'une part, et F*T0 et F*T1 d'autre part, qui ont été de $15,47 \pm 0,53$ contre $14,21 \pm 0,53$ mg/dL (-1,26 mg/dL, -8,14%, $p=0,03$) et $16,97 \pm 0,53$ contre $16,15 \pm 0,53$ mg/dL (-0,82 mg/dL, -4,83%, $p=0,12$) n'étaient pas significativement différentes ($\alpha=0,01$). Ainsi, les moyennes générales correspondantes étaient $14,84 \pm 0,53$ mg/dL pour les coqs et $16,56 \pm 0,53$ mg/dL pour les poules.

Les protéines du sérum sanguin des poulets de chair n'ont pas connu de variations significatives. Suivant les sexes, les concentrations en protéines ont été $5,06 \pm 0,05$ pour les poules et $4,88 \pm 0,05$ g/dL pour les coqs (-0,18 g/dL, -3,56%, $p=0,02$), et ces concentrations n'étaient pas statistiquement différentes. Pareillement, la variation de la concentration de la protéine entre le régime T0 ($5 \pm 0,05$ g/dL) et T1 ($4,94 \pm 0,05$ g/dL) qui représentait une diminution de 0,6 g/dL, soit une baisse de 1,2% ($p=0,44$) n'était pas significative ($\alpha=0,01$). Lors des diverses interactions entre les régimes et les sexes, les concentrations des protéines ont été similaires ($p \geq 0,11$). Ces moyennes ont été $5,15 \pm 0,08$; $4,85 \pm 0,08$; $4,97 \pm 0,08$; et $4,91 \pm 0,08$ g/dL, respectivement pour les interactions F*T0, M*T0, F*T1 et M*T1, conduisant ainsi à une moyenne générale de $4,97 \pm 0,08$ mg/dL.

Souvent, l'ajout de parties de végétaux telles que les feuilles, les bulbes ou les graines en poudre dans les régimes de poulets de chair a tendance à baisser les teneurs en Tot.C, HDL.C et LDL.C. Par exemple, en ajoutant jusqu'à 15% de poudre de feuilles de *Moringa oleifera* dans le régime alimentaire des poulets de chair, Zanu *et al.* (2012) ont observé une diminution de 18,09% pour Tot.C (3,04 à 2,49 mmol/L), de 23,75% pour HDL.C (2,4 à 1,83 mmol/L), mais la teneur en LDL.C est restée inchangée (0,13 mmol/L). De plus, avec seulement 0,75% de poudre de graines de *Lepidium satvium* dans l'alimentation des poulets de chair, Shawle *et al.* (2016) ont observé une diminution de la teneur en Tot.C de 125 à 101 mg/dL (-19,2%). Mieux, Dey et De (2013) ont obtenu une diminution en Tot.C et LDL.C et une augmentation de la teneur de HDL.C en mélangeant 0,4% de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* dans les régimes alimentaires des poulets de chair; respectivement, les résultats ont donné une diminution de 9,85 et 33,04% et une augmentation de 21,16%.

3.4.5. Ratios Tot.C/HDL.C, TG/HDL.C et LDL.C/HDL.C du sérum sanguin

Au tableau 20, l'ajout de 20% de pulpe séchée de *B. aethiopicum* au régime des poulets n'a pas influencé le ratio du Tot.C sur HDL.C (Tot.C/HDL.C) qui est resté constant et égal à $1,98 \pm 0,7$ de T0 à T1 ($p=0,97$). Même si en valeurs intrinsèques ce ratio a été plus petit au niveau des

mâles (1,92±0,7) qu'au niveau des femelles (2,04±0,7); les 2 valeurs ne sont pas statistiquement différentes (p=0,19). Il en est de même qu'au niveau des interactions entre les régimes et les sexes, où le ratio a fluctué entre 1,80±0,1 et 2,16±0,1 (p≥0,05).

Tableau 20. Ratios cholestérol total sur cholestérol HDL (Tot.C/HDL.C), triglycérides sur cholestérol HDL (TG/HDL.C) et cholestérol LDL sur cholestérol HDL (LDL.C/HDL.C) dans le plasma sanguin

Variable	Tot.C/HDL.C	TG/HDL.C	LDL.C/HDL.C
F	2,04±0,07	1,38±0,04	0,77±0,07
M	1,92±0,07	1,26±0,04	0,66±0,07
μ	1,98±0,07	1,32±0,04	0,71±0,07
T0	1,98±0,07	1,26±0,04	0,73±0,07
T1	1,98±0,07	1,39±0,04	0,70±0,07
μ	1,98±0,07	1,32±0,04	0,71±0,07
F*T0	1,92±0,10	1,34±0,06 ^{ab}	0,65±0,10
M*T0	2,03±0,10	1,18±0,06 ^b	0,80±0,10
F*T1	2,16±0,10	1,43±0,06 ^a	0,88±0,10
M*T1	1,80±0,10	1,35±0,06 ^{ab}	0,53±0,10
μ	1,98±0,10		0,71±0,10

Les moyennes d'une même colonne et d'une même catégorie [(F, M); (FT0, MT0, FT1, MT1); (T0, T1)] portant des exposants différents sont significativement différents, par le test de Duncan (α=0,01)

μ: Moyenne; **Tot.C**: Cholestérol total; **HDL.C**: Cholestérol des lipoprotéines de haute densité;

TG: Triglycérides; **HDL**: lipoprotéines de haute densité (*High Density Lipoprotein*);

LDL: lipoprotéines de basse densité (*Low Density Lipoprotein*);

T0: régime témoin sans pulpe; **T1**: régime test ayant la pulpe séchée de *Borassus aethiopum*;

F: Femelle; **M**: Mâle;

Le ratio LDL.C/HDL.C est resté statistiquement stable au niveau de chaque facteur dont les sexes (F, M); les régimes (T0, T1); les interactions entre les régimes et les sexes (F*T0, M*T0, F*T1, M*T1). Le ratio a été de 0,77±0,07 et 0,66±0,07 pour F et M respectivement (p=0,29); 0,73±0,07 et 0,70±0,07 pour T0 et T1, respectivement (α=0,01; p=0,82); 0,65±0,1; 0,8±0,1; 0,88±0,1; 0,53±0,1 respectivement pour F*T0, M*T0, F*T1 et M*T1 (p≥0,0723). D'où le ratio moyen de LDL.C/HDL.C a été 0,07.

Le ratio des triglycérides sur le cholestérol HDL (TG/HDL.C) n'a pas varié significativement au niveau des régimes. De T0 à T1, le ratio a augmenté de 1,26±0,04 à 1,39±0,04, mais les moyennes étaient similaires (α=0,01; p=0,03), conduisant à un ratio moyen de 1,32±0,04. La même constance a été observée entre les poules et les coqs dont les ratios ont été 1,38±0,04 et

1,26±0,04; respectivement ($\alpha=0,01$; $p=0,04$), d'où un ratio moyen de 1,32±0,04. Au niveau des interactions entre les régimes et les sexes (F*T0, M*T0, F*T1 et M*T1), il est apparu deux groupes bien distincts. Les M*T0 ont exprimé un ratio de 1,18±0,06 qui reste petit par rapport à 1,43±0,06 des F*T1 ($p<0,01$). Quant aux groupes F*T0 (1,34±0,06), FT1 (1,43±0,06) et M*T1 (1,35±0,06), ils ont formé un groupe homogène ($p\geq 0,09$), avec une moyenne générale de 1,37±0,06. Ce ratio TG/HDL.C est petit pour les M*T0 car la concentration HDL.C est plus élevée (66,09±1,93 mg/dL), alors que la concentration de TG était similaire pour F*T0, M*T0 et F*T1.

Quand Shim *et al.* (2004) ont ajouté les racines séchées et broyées de *Codonopsis lanceolata* à l'alimentation des poulets de chair à 0,25% et 0,50% ; les ratios Tot.C/HDL.C, TG/HDL.C et LDL.C/HDL.C ont changé. Précisément, du témoin au régime test, ces ratios ont chuté de 2,5 à 2,13 (à 0,25%) et 2,02 (à 0,50%) pour le premier ; de 0,74 à 0,63 (à 0,25%) et 0,54 (à 0,50%) pour le second et de 1,35 à 1,01 (à 0,25%) et 0,91 (à 0,50%) pour le troisième. Globalement, l'incorporation de 20% de pulpe séchée de *B. aethiopum* n'a pas eu d'effet sur le sérum sanguin des poulets. Les femelles F*T1 ont eu le rapport TG/HDL.C le plus enlevé, car elles ont une relative faible concentration en HDL.C, alors qu'elles ont une concentration TG élevée.

Quand Prasad *et al.* (2009) ont ajouté des poudres d'*Allium sativum* dans l'alimentation des poulets de chair à 1,5% et 3%, les ratios Tot.C/HDL.C, TG/HDL.C et LDL.C/HDL.C ont été significativement réduits. Les fonctions antioxydantes avérées d'*Allium sativum* ont réduit le premier ratio de 6,01 à 2,95 et 2,76; le second est passé de 3,74 à 1,71 et 1,51; finalement, le dernier a chuté de 4,26 à 1,82 et 1,52. Si un apport alimentaire conduit à une élévation des teneurs de cholestérols, il est souhaitable que cette augmentation soit plus au niveau du cholestérol HDL. Avec *Borassus aethiopum*, à l'interaction entre le genre et les régimes, les poules ont un ratio TG/HDL.C plus élevé que celui des mâles.

3.4.6. Conclusion partielle sur l'introduction de la pulpe dans l'aliment des poulets

Lors de la numération de la formule sanguine, à part les mâles qui avaient des hématies plus grosses que celles des femelles, respectivement, 116,13±0,63 contre 112,75±0,63 fL ($p<0,01$), tous les paramètres sanguins sont restés statistiquement identiques ($p>0,01$). En outre, la pulpe séchée améliore la viande obtenue en réduisant sa teneur en cholestérol total. L'ajout de 20% de pulpe séchée de *B. aethiopum* a baissé les teneurs en Tot.C (-14,71%), HDL.C (-15%) et LDL.C (-17,19%). Les ratios Tot.C/HDL.C et TG/HDL.C sont restés inférieurs à 3. Mieux, le ratio

LDL.C/HDL.C est inférieur à 1, dû à l'activité antioxydante des polyphénols totaux. De même, ce nouvel aliment fonctionnel améliorerait la santé en accroissant les teneurs en flavonoïdes totaux, donc les fonctions anti-inflammatoires. Cependant, pour permettre une bonne croissance des poulets, donc pour préserver la densité de l'aliment, il est nécessaire que l'aliment contenant la pulpe séchée soit granulé. Donc, la pulpe séchée de fruits mûrs de *B. aethiopum* peut être utilisée dans les régimes de poulets de chair.

3.5. Pulpe séchée de *Borassus aethiopum* dans l'aliment des poules pondeuses

Les analyses ont concerné les poids des œufs entiers et de leurs constituants que sont les coquilles, les jaunes et les blancs. Ensuite l'effet de l'incorporation de la pulpe séchée a été apprécié à travers l'examen de la couleur des jaunes des œufs, de la concentration en triglycérides et le cholestérol total dans les jaunes des œufs.

3.5.1. Poids des jaunes et des blancs des œufs

En suivant les "jours", les poids des jaunes et des albumines d'œufs sont restés statistiquement semblables (Tableau 21). Les poids des jaunes d'œuf ont fluctué entre $13,67 \pm 0,18$ et $14,12 \pm 0,18$ g, soit une augmentation de 3,29% par rapport à $13,67 \pm 0,18$ g. Cet écart n'était pas statistiquement important ($p > 0,41$), ainsi la moyenne a été de $13,86 \pm 0,18$ g. Toujours suivant les jours, similairement, les poids des albumines ou blancs des œufs ont varié entre $30,21 \pm 0,37$ et $30,82 \pm 0,37$ g. Cet écart de 0,61 g qui vaut un gain de poids de 2,02% par rapport à 30,21 g, n'a pas été significatif, soit une moyenne de $30,45 \pm 0,37$ g ($p > 0,67$).

Au niveau des régimes des différences notables ont été observées. En effet, les poids des jaunes d'œufs ont fluctué entre $13,64 \pm 0,16$ g pour le régime WC et $14,16 \pm 0,16$ g pour le régime WC+10%B.a. Cette augmentation de 0,52 g, soit une hausse de 3,81% par rapport à 13,64 g, a été significative ($p < 0,01$). Quant aux albumines, leurs poids ont varié entre $29,27 \pm 0,33$ g et $31,92 \pm 0,33$ g, et cette élévation de poids de 2,65 g qui représente un accroissement de 9,06% par rapport à 29,27 g a été significative ($p < 0,05$). L'analyse révèle que les poids des jaunes de $13,64 \pm 0,16$ g du régime WC ont été significativement petits par rapport à ceux des œufs du régime WC+10%B.a qui ont pesé $14,16 \pm 0,16$ g. ($p < 0,05$). En revanche, les légers poids des jaunes du régime WC ont été compensés par la production de lourdes albumines de $31,92 \pm 0,33$ g ($p < 0,01$). Tandis que le régime WC+10%B.a qui a donné les plus lourds jaunes ($14,16 \pm 0,16$ g) a produit les blancs nettement plus légers ($29,27 \pm 0,33$ g) ($p < 0,01$).

Les poids moyens des jaunes des œufs des régimes WC+10%B.a ($14,16 \pm 0,16$ g), WC+20%B.a ($13,91 \pm 0,16$ g) et YC ($13,75 \pm 0,16$ g) étaient similaires ($p \geq 0,14$), soit une moyenne de $13,77 \pm 0,43$ g pour les régimes à fort potentiel de caroténoïdes. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Lokaewmanee *et al.* (2010, 2011) qui ont annoncé que les poules ont la capacité de transférer les pigments consommés vers les jaunes d'œufs. Ainsi, compte tenu de leurs teneurs élevées en caroténoïdes, les régimes YC, WC+10%B.a et WC+20%B.a ont permis un important stock de pigments dans les jaunes d'œufs, conduisant ainsi à des poids plus élevés.

Tableau 21. Poids des jaunes et des blancs d'œufs en fonction des régimes, des jours et de l'interaction régimes*jours

Régimes	Jaunes	Blancs	Régimes*Jours	Jaunes	Blancs
WC	13,64±0,16 ^b	31,92±0,33 ^a	14*WC	13,83±0,37 ^{ab}	32,29±0,75 ^{ab}
WC+10%B.a	14,16±0,16 ^a	29,27±0,33 ^c	14*WC+10%B.a	13,72±0,37 ^{ab}	28,71±0,75 ^d
WC+20%B.a	13,91±0,16 ^{ab}	30,18±0,33 ^{bc}	14*WC+20%B.a	13,94±0,37 ^{ab}	30,86±0,75 ^{abcd}
YC	13,75±0,16 ^{ab}	30,41±0,33 ^b	14*YC	14,33±0,37 ^{ab}	31,40±0,75 ^{abc}
Moyenne	13,86±0,16	30,45±0,33	15*WC	13,37±0,37 ^b	32,68±0,75 ^a
			15*WC+10%B.a	14,00±0,37 ^{ab}	29,38±0,75 ^{cd}
			15*WC+20%B.a	13,81±0,37 ^{ab}	29,55±0,75 ^{cd}
			15*YC	13,49±0,37 ^b	29,22±0,75 ^{cd}
Jours	Jaunes	Blancs	16*WC	13,16±0,37 ^b	32,73±0,75 ^a
14	13,96±0,18	30,82±0,37	16*WC+10%B.a	13,88±0,37 ^{ab}	29,37±0,75 ^{cd}
15	13,67±0,18	30,21±0,37	16*WC+20%B.a	13,92±0,37 ^{ab}	30,40±0,75 ^{abcd}
16	13,71±0,18	30,60±0,37	16*YC	13,88±0,37 ^{ab}	29,89±0,75 ^{bcd}
17	13,87±0,18	30,24±0,37	17*WC	13,83±0,37 ^{ab}	31,34±0,75 ^{abc}
18	14,12±0,18	30,37±0,37	17*WC+10%B.a	14,30±0,37 ^{ab}	29,47±0,75 ^{cd}
Moyennes	13,86±0,18	30,45±0,37	17*WC+20%B.a	14,23±0,37 ^{ab}	30,32±0,75 ^{abcd}
			17*YC	13,11±0,37 ^b	29,84±0,75 ^{abcd}
			18*WC	14,00±0,37 ^{ab}	30,57±0,75 ^{abcd}
			18*WC+10%B.a	14,88±0,37 ^a	29,44±0,75 ^{cd}
			18*WC+20%B.a	13,65±0,37 ^{ab}	29,78±0,75 ^{bcd}
			18*YC	13,96±0,37 ^{ab}	31,68±0,75 ^{abc}
			Moyenne	13,86±0,37	30,45±0,75

Les résultats sont donnés en moyennes ± Erreur standard

WC: Régime à base de maïs blanc (*white corn*),

WC+10%B.a: Régime à base de maïs blanc + 10% de la pulpe séchée de *B. aethiopum*;

WC+20%B.a: Régime à base de maïs blanc + 20% de la pulpe séchée de *B. aethiopum*;

YC: Régime à base de maïs jaune (*Yellow corn*);

Dans la même catégorie [Régimes, Jours, Régimes*Jours], les moyennes portant le même exposant ne sont pas statistiquement différentes, selon le test de classement des moyennes multiples par Duncan ($\alpha=0,05$)

Prasad *et al.* (2009) et Han *et al.* (1993) ont conclu qu'il s'agit d'un système de régulation du cholestérol total dans l'organisme, en utilisant le jaune comme un puits de stockage. Quant à l'interaction des facteurs régimes et jours, la tendance générale a demeuré car le régime WC a produit régulièrement des jaunes d'œufs significativement légers tandis que ceux des régimes WC+10%B.a, WC+20%B.a et YC ont eu des poids statistiquement similaires après le jour 14, respectivement, 14,16±0,16 g ; 13,91±0,16 g et 13,75±0,16 g ($p \geq 0,24$).

Dans l'ensemble, au regard des interactions entre les régimes et les jours, les poids des jaunes et des albumines d'œufs ont significativement varié. Au nœud 15*WC, le petit poids de jaune d'œuf de $13,37 \pm 0,37$ g est compensé par un blanc d'œuf plus lourd de $32,68 \pm 0,75$ g. Inversement, quand le jaune est lourd, le blanc correspondant est statistiquement léger. Au nœud 18*WC+10%B.a les jaunes et les blancs d'œufs ont pesé $14,88 \pm 0,37$ g contre $29,44 \pm 0,75$ g, respectivement. La moyenne générale des jaunes d'œuf de $13,86 \pm 0,37$ g est simplement indicative, car les poids sont irrégulièrement repartis, suivant l'interaction régimes*jours. La distribution des poids des albumens a été aussi liée aux régimes, avec une poids moyen indicatif de $30,45 \pm 0,75$ g. Néanmoins, le régime WC a donné des albumens hautement plus lourds ($p < 0,01$).

3.5.2. Proportions des constituants des œufs

Les proportions des jaunes, des blancs et des coquilles sont mentionnées au Tableau 22. Les poids des coquilles n'ont pas enregistré de variations significatives en fonction des régimes. Ainsi, la proportion de la coquille par rapport à l'œuf entier est restée stable, en fluctuant entre $9,92 \pm 0,32\%$ et $10,84 \pm 0,32\%$ ($p > 0,05$), d'où une masse moyenne de $10,46 \pm 0,32$ g. Les jaunes des œufs des régimes ayant beaucoup de pigments naturels tels que ceux du maïs jaune et de la pulpe séchée ont eu les plus grands taux de jaunes, et similaires entre eux ($p > 0,05$). Ainsi, leur taux moyen de jaune d'œuf est $27,37 \pm 0,43\%$. Tandis que le régime à base de maïs blanc (WC) a emmagasiné le moins de pigment, d'où le plus faible taux de $26,32 \pm 0,43\%$.

Ces œufs de poules de souche Harco de 45 semaines d'âge avaient d'importants taux de jaune d'œuf, comparés aux résultats d'Englmaierova et Skrivan (2013). En effet, les taux des jaunes ont été ou égaux à $26,32 \pm 0,43\%$; alors que Englmaierova et Skrivan (2013) avaient annoncé des taux entre 23,5 et 23,8%. Au niveau des blancs, les régimes YC, WC+10B.a et WC+10B.a ont produit des œufs avec un taux moyen de $58,80 \pm 0,82\%$ d'albumine. Par contre, Englmaierova et Skrivan (2013) ont annoncé des taux d'albumine entre 65,8 et 66,3%. Ces écarts pourraient être liés à la souche des poulets et à leur âge. En effet, nous avons utilisé des Harco de 42 à 46 semaines d'âge, alors que Englmaierova et Skrivan (2013) avaient travaillé avec des poules ISA Brown âgées de 20 à 34 semaines.

Tableau 22. Poids et proportions des jaunes, blancs et coquilles

Régimes	Jaune (%)	Blancs (%)	Coquille (%)	Blanc/Jaune
WC	26,32±0,43 ^b	61,60±0,82 ^a	10,46±0,32	2,35±0,03 ^a
WC+10%B.a	27,81±0,43 ^a	59,50±0,82 ^{ab}	9,92±0,32	2,07±0,03 ^c
WC+20%B.a	27,37±0,43 ^{ab}	57,50±0,82 ^b	10,84±0,32	2,17±0,03 ^b
YC	26,93±0,43 ^{ab}	59,39±0,82 ^{ab}	10,64±0,32	2,22±0,03 ^b
$\mu \pm Es$	27,11±0,43	59,50±0,82	10,46±0,32	2,20±0,03

μ : Moyenne ; Es : Erreur standard

WC : Régime à base de maïs blanc (*white corn*),

WC+10%B.a: Régime à base de maïs blanc + 10% de la pulpe séchée de *B. aethiopum*;

WC+20%B.a: Régime à base de maïs blanc + 20% de la pulpe séchée de *B. aethiopum*;

YC: Régime à base de maïs jaune (*Yellow corn*)

Finalement, les coquilles d'œuf qui pesaient en moyenne 5,35±0,35 g représentaient 10,46% de la poids total de l'œuf. Ces enveloppes doivent être suffisamment fortes pour contenir des fluides de 89,45%, soit 8,57 fois son poids. Au regard des moyennes indicatives des taux de jaune et d'albumine des œufs, les albumines ont pesé 2,2 fois plus que les jaunes.

3.5.3. Teneur en cholestérol total (Tot.C) des jaunes d'œufs

Compte tenu de l'immense débat autour du cholestérol total du jaune d'œuf (Miranda *et al.*, 2015), nous avons évalué l'effet de l'addition de la pulpe séchée de *B. aethiopum* sur la concentration en cholestérol total (Tot.C) dans les jaunes des œufs (Tableau 23). Au regard des régimes, les concentrations de cholestérol total (Tot.C) ont été plus élevées dans les jaunes des œufs des régimes contenant la pulpe séchée de *B. aethiopum*. En effet, les concentrations de Tot.C ont été de 30,20±1,57; 40,60±1,57; 36,73±1,57 et 28,76±1,57 mg/dL, respectivement pour les régimes WC, WC+10%B.a, WC+20%B.a et YC. Les concentrations en cholestérol total des régimes WC et YC ont été les plus faibles et similaires, respectivement, 30,20±1,57 et 28,76±1,57 mg/dL ($p=0,52$), soit une moyenne de 29,48±1,57 mg/dL. Tandis que les concentrations en Tot.C des régimes WC+10%B.a et WC+20%B.a constituait un groupe homogène avec une moyenne de 38,66±1,57 mg/dL. Cette moyenne étaient significativement supérieures à celle du groupe de WC et YC ($p<0,01$).

Au fur et à mesure de l'ingestion de la pulpe séchée de *B. aethiopum*, les organismes des poules ont régulé le surplus du cholestérol alimentaire. Ainsi, les teneurs en cholestérol total des jours 14, 16 et 18 ont été constamment différentes et en baisse, 45,83±1,36; 33,72±1,36 et 22,65±1,36 mg/dL, respectivement ($p<0,01$). Au jour 18 les concentrations de cholestérols étaient de

25,39±2,72; 22,43±2,72; 21,88±2,72 et 20,92±2,72 mg/dL, respectivement pour les régimes WC+10%B.a, WC+20%B.a, WC et YC. Même si les teneurs en Tot.C des régimes ayant la pulpe séchée de *B. aethiopum* ont été plus élevées que celles des régimes sans la pulpe, toutes les moyennes du jour 18 n'étaient pas significativement différentes ($p>0,05$).

Tableau 23. Concentrations en cholestérol total (mg/dL) des jaunes d'œufs en fonction des jours, des régimes et de l'interaction entre les régimes et les jours

Jours	Moyenne	Régimes*Jours	Moyenne
14	45,83±1,36 ^a	14*WC	37,42±2,72 ^b
16	33,72±1,36 ^b	14*WC+10%B.a	58,66±2,72 ^a
18	22,65±1,36 ^c	14*WC+20%B.a	53,39±2,72 ^a
		14*YC	33,85±2,72 ^{bc}
		16*WC	31,29±2,72 ^{bc}
		16*WC+10%B.a	37,74±2,72 ^b
		16*WC+20%B.a	34,36±2,72 ^b
		16*YC	31,49±2,72 ^{bc}
		18*WC	21,88±2,72 ^d
		18*WC+10%B.a	25,39±2,72 ^{cd}
		18*WC+20%B.a	22,43±2,72 ^d
		18*YC	20,92±2,72 ^d
Régimes	Moyenne		
WC	30,20±1,57 ^b		
WC+10%B.a	40,60±1,57 ^a		
WC+20%B.a	36,73±1,57 ^a		
YC	28,76±1,57 ^b		

Les résultats sont donnés en Moyenne ± Erreur standard (ES)

WC: Régime à base de maïs blanc (*white corn*),

WC+10%B.a: Régime à base de maïs blanc + 10% de la pulpe séchée de *B. aethiopum*;

WC+20%B.a: Régime à base de maïs blanc + 20% de la pulpe séchée de *B. aethiopum*;

YC: Régime à base de maïs jaune (*Yellow corn*);

Dans la même catégorie [Régimes, Jours, Régimes*Jours], les moyennes portant le même exposant ne sont pas statistiquement différentes, selon le test de classement des moyennes par Duncan ($\alpha=0,05$)

L'interaction des facteurs régimes et jours a attesté de la diminution progressive des teneurs en cholestérol total des jaunes d'œufs. Du jour 14 au jour 18, les teneurs en Tot.C des régimes WC+10%B.a et WC+20%B.a ont chuté de 58,66 à 25,39 mg/dL et de 53,39 à 22,43 mg/dL, soit des réductions de 52,44 et 40,58% respectivement. Ainsi, les teneurs en Tot.C des jours 16 et 18 ont été significativement inférieures à celles du jour 14 ($p<0,01$). Ces adaptations et gestions des teneurs de Tot.C ont été déjà observées par Prasad *et al.* (2009) et Han *et al.* (1993). En effet, après l'ajout de 1,5 et 3% de poudre d'ail (*Allium sativum*) dans l'alimentation des poulets, les teneurs en Tot.C ont été régulées et stabilisées entre la semaine 4 et la semaine 8 (Prasad *et al.*, 2009).

De même, quand Han *et al.* (1993) ont ajouté de l'huile de soja et de l'huile de poisson aux régimes des poules, les poules ont régulé les teneurs en cholestérol total pour atteindre des niveaux minima au jour 21. Une source riche en lipide tend à accroître les teneurs en cholestérol et triglycérides de l'organisme. L'information constante est que l'organisme répond à une source alimentaire riche en lipides par une augmentation importante des concentrations en cholestérol total. Cependant, avec le temps, l'organisme régule ces teneurs pour avoir des teneurs stables et minimales possibles (Han *et al.*, 1993; Prasad *et al.*, 2009). Mieux, plus la teneur en cholestérol alimentaire est élevée, plus la réaction dépressive de l'organisme est grande (Prasad *et al.*, 2009).

C'est ainsi que les teneurs en Tot.C des œufs issus du régime WC+20%B.a ont été inférieures à celles du régime WC+10%B.a. Pareillement, Prasad *et al.* (2009) ont constaté que la teneur en Tot.C était plus faible dans le sang des poulets recevant 3% comparée à celle de ceux recevant 1,5% de poudre d'*Allium sativum* dans leur alimentation, respectivement $139,5 \pm 3,6$ et $147,8 \pm 2,99$ mg/dL. Quand il s'agit de plantes à fort pouvoir antioxydant comme l'ail (*Allium sativum*), Prasad *et al.* (2009) ont observé que plus les concentrations en cholestérol alimentaire sont élevées, plus celles de HDL.C le sont aussi, et elles sont suivies d'importantes réductions des LDL.C et VLDL.C dans le sang. Ces incorporations de 1,5 et 3% de poudre d'*Allium sativum* ont induit des chutes des concentrations des cholestérols LDL et VLDL, respectivement de $91,03 \pm 3,55$ à $77,10 \pm 6,08$ mg/dL (-15,30%) et de $17,1 \pm 1,53$ à $15,33 \pm 1,97$ mg/dL (-10,35%) (Prasad *et al.*, 2009). Au même moment, les concentrations du cholestérol HDL ont augmenté de $45,21 \pm 2,59$ pour 1,5% d'*Allium sativum* à $49,11 \pm 1,81$ mg/dL pour 3% d'*Allium sativum*, soit une amélioration de 8,63%.

Selon Boone *et al.*, (2011), la résistance au cholestérol alimentaire est une régulation génétique et une adaptation du système de stockage. Certains gènes de destruction de cholestérol subissent une régulation en hausse, telles que la cholestérol 7 α hydroxylase (+2,7 fois) et la protéine 1 de l'insuline comme facteur de croissance (+4,5 fois). Au même moment, la synthèse de certains gènes de biosynthèse de cholestérol est fortement réduite, tels que les Acétyltransférase 2 (-3,8 fois) et squalène époxidase (-7,9 fois) (Boone *et al.*, 2011). La troisième forme de résistance au cholestérol alimentaire est la mise en réserve au niveau du foie qui double (Boone *et al.*, 2011). Ainsi, partant d'importantes teneurs en Tot.C le jour 14, les poules se sont adaptées et ont réduit ces concentrations dans leurs organismes, d'où les réductions observées au niveau des jaunes d'œufs.

3.5.4. Triglycérides des jaunes des œufs

En considérant les régimes (Tableau 24), les concentrations en triglycéride des régimes WC (247,15±7,72 mg/dL), WC+10%B.a (232,64±7,72 mg/dL) et YC (226,79±7,72 mg/dL) étaient statistiquement similaires ($p>0,01$). Ainsi, leur concentration moyenne en triglycérides était 235,53±7,72 mg/dL. En revanche, en offrant la plus grande quantité de cholestérol alimentaire, le régime WC+20%B.a a abouti à la plus faible concentration de triglycéride (226,79 mg/dL). Du jour 14 au jour 18, les teneurs en triglycérides ont chuté de 237,48 à 203,65 mg/dL, soit une réduction de 14,24%. Cette importante réduction a conduit à une différence significative entre les concentrations en triglycérides des jours 14, 16 et 18. Entre le jour 14, 15 et 16, les moyennes ont été significativement différentes ($p<0,01$).

Tableau 24. Teneurs en triglycérides (mg/dL) des jaunes d'œufs en fonction des jours, des régimes et de l'interaction entre les régimes et les jours

Jour	Moyenne	Interaction	Moyenne
14	237,48±6,68 ^b	14*WC	233,07±13,37 ^{bcd}
16	279,94±6,68 ^a	14*WC+10%B.a	216,58±13,37 ^{de}
18	203,65±6,68 ^c	14*WC+20%B.a	227,52±13,37 ^{cde}
		14*YC	272,72±13,37 ^{ab}
		16*WC	283,93±13,37 ^a
		16*WC+10%B.a	284,63±13,37 ^a
		16*WC+20%B.a	264,92±13,37 ^{abc}
		16*YC	286,30±13,37 ^a
		18*WC	224,45±13,37 ^{ede}
		18*WC+10%B.a	196,72±13,37 ^{de}
		18*WC+20%B.a	187,92±13,37 ^e
		18*YC	205,51±13,37 ^{de}
Régime	Moyenne		
WC	247,15±7,72 ^{ab}		
WC+10%B.a	232,64±7,72 ^{ab}		
WC+20%B.a	226,79±7,72 ^b		
YC	254,85±7,72 ^a		

Les résultats sont donnés en Moyenne ± Erreur standard (Es)

WC: Régime à base de maïs blanc (*white corn*),

WC+10%B.a: Régime à base de maïs blanc + 10% de la pulpe séchée de *B. aethiopum*;

WC+20%B.a: Régime à base de maïs blanc + 20% de la pulpe séchée de *B. aethiopum*;

YC: Régime à base de maïs jaune (*Yellow corn*);

Dans la même catégorie [Régimes, Jours, Interactions], les moyennes portant le même exposant ne sont pas statistiquement différentes, selon le test de classement des moyennes multiples par Duncan ($\alpha=0,05$)

A l'interaction, après les régulations des concentrations en triglycérides dans les organismes, au jour 18 les jaunes des œufs ont affiché 224,45±13,35; 196,72±13,35; 197,92±13,35 et 205,51±13,35 mg/dL, respectivement pour les régimes WC, WC+10%B.a, WC+20%B.a et YC.

Mieux, ces moyennes du jour 18 n'étaient pas statistiquement différentes ($p>0,24$). Ainsi, après la régulation la concentration moyenne de triglycéride a été $203,63\pm 13,37$ mg/dL.

En plus, l'ajout et l'augmentation du taux de la pulpe séchée de *B. aethiopum* dans les régimes des poules pondeuses de 10 à 20% ont contribué à relever le ratio triglycérides et cholestérol total (Tableau 25). En effet, quand la source alimentaire est riche en acide gras insaturés les teneurs en cholestérol total et en triglycérides diminuent considérablement ; car des phénomènes de résistance aux suppléments de lipides non désirés sont mis en place (Shim *et al.*, 2004; Boone *et al.*, 2011; Faitarone *et al.*, 2016). Mais à l'intérieur des groupes qui reçoivent les régimes enrichis en cholestérol alimentaire, le ratio triglycérides et cholestérol total s'élève au niveau des jaunes des œufs et les autres lieux de stockage (Irandoost et Ahn, 2015). Par contre, ce ratio diminue au niveau du sérum sanguin (Prasad *et al.*, 2009; Shawle *et al.*, 2016),

Tableau 25. Effet d'une source alimentaire riche en lipides sur le ratio triglycéride (TG) et cholestérol total (Tot.C) dans le jaune d'œuf et le sérum sanguin

Auteur(s)	Effets dans le jaune d'œuf				Effets dans le sérum sanguin			
	Nos travaux		Irandoost et Ahn, 2015		Prasad <i>et al.</i> , 2009		Shawle <i>et al.</i> , 2016	
Plante utilisée en complément	Pulpe séchée de <i>B. aethiopum</i> *		Huile de <i>Glycine maxima</i>		Poudre de <i>Allium sativum</i>		Poudre de <i>Lepidium sativum</i>	
Forme d'incorporation	WC+10% <i>B.a</i>	WC+20% <i>B.a</i>	Huile brute	Huile raffinée	1,5%	3%	1,5%	2,25%
Unités des résultats	mg/dL		mg/g		mg/dL		mg/dL	
TG	196,72	187,92	28,2	30,2	85,51	76,62	29	24,7
Tot.C	25,39	22,43	13	12,6	147,8	139,5	111	113
TG/Tot.C	7,75	8,38	2,17	2,4	0,58	0,55	0,26	0,22

*Données des Tableaux 23 et 24 au jour 18

En effet, quand Irandoost et Ahn (2015) ont enrichi un régime de poules pondeuses avec de l'huile brute et de l'huile raffinée de soja (*Glycine maxima*), le ratio des triglycérides et du cholestérol total a été de 2,27 et 2,4, respectivement. Nous avons eu un ratio de 7,75 et 8,38 pour les régimes WC+10%*B.a* et WC+20%*B.a*, respectivement. Plus la concentration de la source de cholestérol alimentaire s'élève, moins les teneurs en cholestérol total sont importantes dans les œufs (Irandoost et Ahn, 2015) et dans le sang (Shim *et al.*, 2004), car les réserves dans les cellules adipeuses, la bile et le foie s'élèvent (Han *et al.*, 1993; Shim *et al.*, 2004; Ma et Shieh, 2006).

3.5.5. Effet de la pulpe séchée de *Borassus aethiopum* sur la coloration du jaune d'œuf

Les résultats concernent l'évaluation des couleurs avec l'éventail de Roche et le système du spectrophotomètre.

3.5.5.1. Appréciation des couleurs des jaunes d'œufs avec l'éventail de couleur Roche

La première évaluation de la couleur du jaune a été faite avec un éventail de couleur Roche (Figure 23). Dans l'ensemble, les notes ont fluctué entre 1 pour une couleur jaune pâle et 6 pour une couleur jaune relativement bien foncée. La Figure 23 affiche les photos des jaunes des œufs des régimes YC, WC, WC+10%*B.a* et WC+20%*B.a*. A part la couleur du jaune d'œuf du régime WC dont la numérotation aurait requis une note inférieure à 1 sur l'éventail Roche, les notations des autres jaunes n'ont pas été aisées. Les observateurs ont noté 6 les jaunes des régimes YC, WC+10%*B.a* et WC+20%*B.a*.

Ainsi, comme à l'utilisation des poudres de poivron (Lokaewmanee *et al.*, 2010) et de souci (*Calendula officinalis*) (Lokaewmanee *et al.*, 2011), les poules ont assimilé et transféré les pigments naturels aux jaunes des œufs. En effet, les caroténoïdes jaunes des fleurs de *Calendula officinalis*, rouges de la poudre de *Capsicum annum* et oranges de *Daucus carota* sont fidèlement transférées aux jaunes (Lokaewmanee *et al.*, 2010; 2011). Ainsi, des variantes apparaissent dans les jaunes d'œufs en fonction de la source de pigments et de sa concentration dans l'aliment. C'est ainsi que le jaune obtenu à la suite d'un régime enrichi avec *Calendula officinalis* est différent d'un autre enrichi aux peaux séchées d'oranges (Hasin *et al.*, 2006). Même si les peaux d'oranges sont de couleur jaune-orangée autant que les fleurs de souci, les notes obtenues avec l'éventail de couleur Roche avait permis de différencier les couleurs des jaunes des œufs. Le régime de souci permettait une note de 10, tandis que celui des peaux d'orange donnait une note de 4,5 (Hasin *et al.*, 2006).

Les couleurs orangée, jaune-orangée ou rouge ne sont pas toujours perceptibles à l'œil dans les parties de végétaux qui sont ou qui peuvent être utilisées pour la coloration des jaunes d'œufs. En effet, l'utilisation des feuilles vertes du mûrier (*Morus alba*) séchées à l'air libre en salle à la température ambiante et incorporées à 1, 2 et 3% dans les régimes des poules a permis d'avoir respectivement des notes de 10,73; 10,86 et 10,84 sur l'éventail Roche (Lokaewmanee *et al.*, 2009). Cet éventail de Roche permet de classer les couleurs à l'œil sans mentionner la brillance.

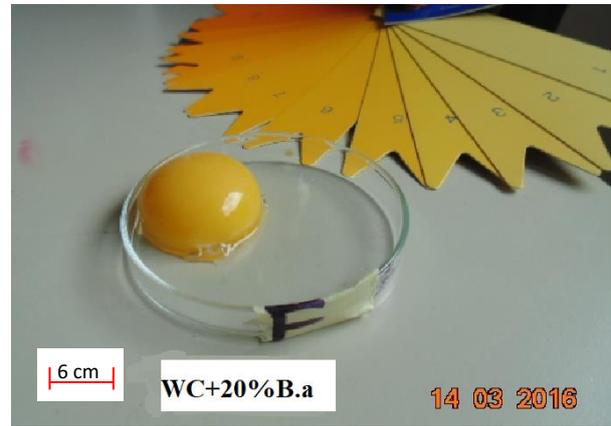
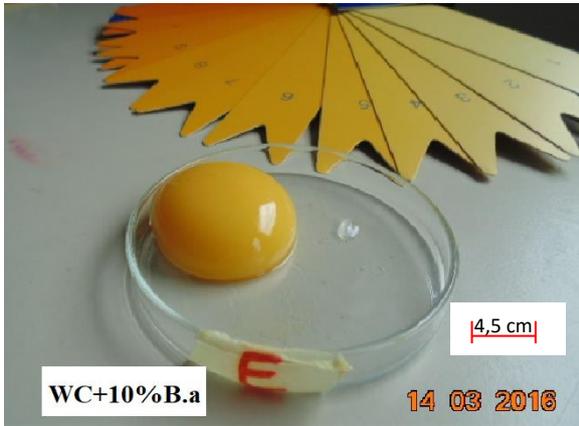
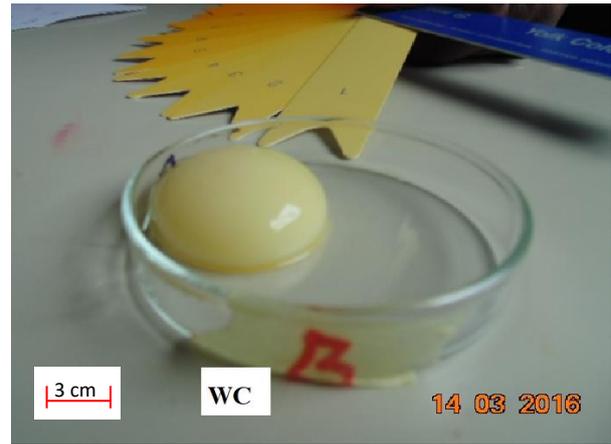
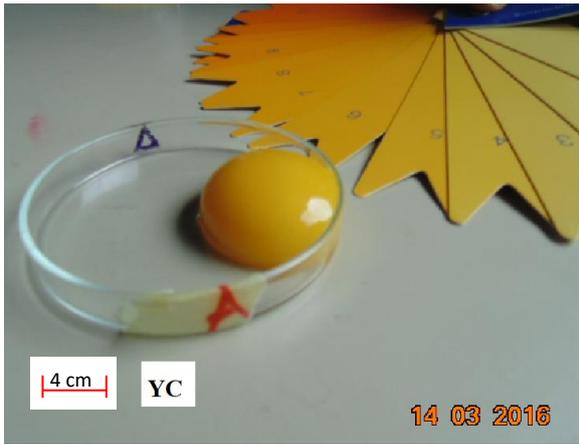


Figure 23. Evaluation des couleurs des jaunes d'œufs à l'aide de l'éventail de couleur Roche

3.5.5.2. Appréciation des couleurs des jaunes d'œufs avec le spectrophotomètre

La limite de l'appréciation à l'œil humain a été suppléée par le système L^* , a^* et b^* d'un spectrophotomètre. Le tableau 26 résume les paramètres des couleurs suivant les régimes, les jours et l'interaction régimes et jours. A la suite de l'analyse, nous passons sous silence la tendance rouge-vert (a^*) car les ingrédients alimentaires n'avaient pas de pigments rouges apparents et en plus les valeurs sont négligeables face à celles de la tendance jaune-bleue (b^*).

Au niveau de la brillance (L^*), le régime WC dont la valeur L^* a été $83,20 \pm 0,38$ était identique aux brillances des régimes WC+10%B.a et WC+20%B.a qui ont affiché $82,19 \pm 0,38$ et $82,04 \pm 0,38$; respectivement ($p \geq 0,1$). Les brillances des régimes WC+10%B.a et WC+20%B.a ont ressemblé à celle du régime YC ($81,01 \pm 0,38$) ($p = 0,19$). Mais la brillance des jaunes des œufs du régime WC a été significativement supérieure à celle des jaunes du régime YC ($p < 0,01$). Lors des interactions entre les régimes et les jours, les faibles brillances ont été observées avec les régimes de maïs jaune (YC). Les interactions 15*YC et 17*YC ont affiché $81,20 \pm 0,66$ et $81,00 \pm 0,66$, respectivement. Ces valeurs étaient statistiquement inférieures aux autres. En conclusion, une même couleur avec l'éventail Roche peut avoir des brillances différentes.

Quant à la variante b^* (jaune-bleue), les comparaisons entre les régimes WC+10%B.a ($52,29 \pm 0,13$) et WC+20%B.a ($52,49 \pm 0,13$) ($p = 0,35$); WC+10%B.a et YC ($52,22 \pm 0,13$) ($p = 0,72$), et WC+20%B.a et YC ($p = 0,35$) montrent que ces 3 régimes formaient un groupe homogène, avec une moyenne générale de $52,33 \pm 0,13$. Le groupe ainsi formé par les régimes contenant beaucoup de pigments naturels a été hautement distinct du régime WC ($20,70 \pm 0,13$) ($p < 0,01$).

Relativement aux valeurs de b^* , les régimes WC+10%B.a, WC+20%B.a et YC ont fourni des valeurs moyennes ($52,22 \leq b^* \leq 52,49$) supérieures à celles obtenues par Lokaewmanee *et al*, (2011) ($43,7 \leq b^* \leq 49,7$) lorsqu'ils ont utilisé les fleurs de *Calendula officinalis*, et Englmaierova et Skrivan (2013) qui ont travaillé avec divers produits à tendance jaune. Finalement, la couleur jaune de la pulpe séchée de fruits mûrs de *B. aethiopum* a fortement influencé la tendance jaune des jaunes d'œufs. La coloration jaune de la pulpe séchée pourrait être due à une importante teneur en lutéine et de zéaxanthine comme identifiée par Lokaewmanee *et al*, (2011). Cependant, le manque de pigments dans le maïs blanc a conduit à l'obtention de jaunes d'œufs pâles.

Tableau 26. Effet des régimes, des jours et leurs interactions sur L*, a*, b*, C*, Ho et h

Variables	L*	a*	b*	C*	H°	h
Régimes						
WC	83,20±0,38 ^a	0,22±0,07	20,70±0,13 ^b	20,70±0,13 ^b	89,40±0,09 ^b	85,74±0,32 ^b
WC+10%B.a	82,30±0,38 ^{ab}	0,29±0,07	52,29±0,13 ^a	52,29±0,13 ^a	89,68±0,09 ^a	97,42±0,32 ^a
WC+20%B.a	82,04±0,38 ^{ab}	0,20±0,07	52,49±0,13 ^a	52,49±0,13 ^a	89,78±0,09 ^a	97,40±0,32 ^a
YC	81,34±0,38 ^b	0,14±0,07	52,22±0,13 ^a	52,22±0,13 ^a	89,84±0,09 ^a	96,39±0,32 ^a
μ		0,21±0,07				
Jours						
13	82,83±0,33	0,32±0,06	44,25±0,12	44,25±0,12	89,54±0,08	94,76±0,28
15	81,86±0,33	0,13±0,06	44,60±0,12	44,60±0,12	89,77±0,08	94,12±0,28
17	81,98±0,33	0,19±0,06	44,43±0,12	44,43±0,12	89,72±0,12	94,12±0,28
μ	82,22±0,33	0,21±0,06	44,43±0,12	44,42±0,12	89,68±0,12	94,33±0,28
Régimes*Jours						
13*WC	83,70±0,66 ^a	0,27±0,12 ^{ab}	20,87±0,23 ^c	20,87±0,23 ^c	89,27±0,16 ^d	86,264±0,55 ^c
13*WC+10%B.a	83,17±0,66 ^{ab}	0,53±0,12 ^a	52,37±0,23 ^{ab}	52,37±0,23 ^{ab}	89,42±0,16 ^{abcd}	98,29±0,55 ^a
13*WC+20%B.a	82,63±0,66 ^{ab}	0,40±0,12 ^{ab}	51,83±0,23 ^b	51,84±0,23 ^b	89,56±0,16 ^{abcd}	97,55±0,55 ^{ab}
13*YC	81,83±0,66 ^{ab}	0,07±0,12 ^b	51,93±0,23 ^b	51,93±0,23 ^b	89,93±0,16 ^{ab}	96,92±0,55 ^{ab}
15*WC	83,20±0,66 ^{ab}	0,22±0,12 ^{ab}	20,70±0,23 ^c	20,70±0,23 ^c	89,40±0,16 ^{cd}	85,74±0,55 ^c
15*WC+10%B.a	81,67±0,66 ^{ab}	0,20±0,12 ^{ab}	51,93±0,23 ^b	51,93±0,23 ^b	89,78±0,16 ^{abcd}	96,78±0,55 ^{ab}
15*WC+20%B.a	81,37±0,66 ^b	0,00±0,12 ^b	52,87±0,23 ^a	52,87±0,23 ^a	90,00±0,16 ^a	97,03±0,55 ^{ab}
15*YC	81,20±0,66 ^b	0,10±0,12 ^b	52,90±0,23 ^a	52,90±0,23 ^a	89,89±0,16 ^{abc}	96,91±0,55 ^{ab}
17*WC	82,70±0,66 ^{ab}	0,17±0,12 ^{ab}	20,53±0,23 ^c	20,53±0,23 ^c	89,53±0,16 ^{abcd}	85,21±0,55 ^c
17*WC+10%B.a	82,07±0,66 ^{ab}	0,13±0,12 ^{ab}	52,57±0,23 ^{ab}	52,57±0,23 ^{ab}	89,85±0,16 ^{abc}	97,46±0,55 ^{ab}
17*WC+20%B.a	82,13±0,66 ^{ab}	0,20±0,12 ^{ab}	52,77±0,23 ^a	52,77±0,23 ^a	89,78±0,16 ^{abcd}	97,63±0,55 ^{ab}
17*YC	81,00±0,66 ^b	0,27±0,12 ^{ab}	51,83±0,23 ^b	51,83±0,23 ^b	89,71±0,16 ^{abcd}	96,17±0,55 ^b

Les résultats sont donnés en Moyenne ± Erreur standard (ES)

Les moyennes d'une même colonne et d'une même catégorie [Régime, Jour, Interaction] ayant des exposants différents diffèrent statistiquement, selon Duncan ($\alpha = 0,05$)

Où, C* est la distance dans le plan a*, b* et la ligne verticale L* passe par l'origine 0;

H° est l'angle en degré dans le plan a*, b*;

h est la distance dans la sphère L*, a*, b*;

Lors des interactions entre les jours et les régimes, le régime de maïs blanc (WC) a dégagé les plus petites valeurs qui étaient hautement inférieures ($p < 0,01$) à celles des autres régimes. Par exemple, les couples 13*WC, 15*WC et 17*WC ont reçu les notes 20,87±0,23; 20,70±0,23 et 20,53±0,23, respectivement.

Dans le plan a^* , b^* (Figure 5), compte tenu des faibles valeurs de la tendance rouge (a^*), les distances par rapport à l'origine dans le plan a^* et b^* (C^* , Figure 5), les angles (H^0 , Figure 5) et les distances (h , Figure 5) ont été fortement influencés par la tendance jaune (b^*). Deux blocs distinctifs sont observés dont celui des jaunes d'œufs pigmentés des régimes YC, WC+10%B.a et WC+20%B.a et celui des jaunes blanchâtres du régime WC. La distance Chroma (C^*), l'angle hue (H^0) et la distance h du régime WC ont été $20,70\pm 0,13$; $89,40\pm 0,09$ et $85,74\pm 0,32$, respectivement, et ses valeurs étaient hautement inférieures ($p<0,01$) à leurs homologues. Tandis que les régimes WC+10%B.a, WC+20%B.a et YC constituaient un groupe homogène. Les variables L^* , a^* , b^* , C^* , H^0 et h sont toutes constantes avec le facteur jour. Cela dénote que les adaptations des organismes des poulets étaient stabilisées entre les jours 13 et 17.

3.5.6. Conclusion partielle sur la coloration du jaune d'œuf

Les incorporations de 10 et 20% de pulpe séchée de *B. aethiopum* dans un régime à base de maïs blanc n'ont pas eu d'effets néfastes sur les œufs. En effet, les poids des œufs sont restés similaires à celles des œufs du régime témoin. Après une élévation de la concentration en cholestérol total dans les jaunes des œufs des régimes contenant la pulpe séchée, les poules ont régulé ces teneurs et elles sont devenues similaires à celles du régime témoin. A 10% d'incorporation de la pulpe dans un régime à base de maïs blanc qui est pauvre en caroténoïdes, la coloration des jaunes des œufs obtenus n'était pas différente de celle des jaunes du régime de maïs jaune. Face aux prix parfois élevés du maïs jaune, on pourrait utiliser du maïs blanc qui est moins cher sur le marché pour l'alimentation des poules pondeuses, en y incorporant environ 10% de pulpe séchée de *Borassus aethiopum*.

Les œufs ainsi obtenus de cette supplémentation seraient une importante source d'acides gras monoinsaturés, enrichis en Omega-6 et Omega-3, donc un aliment fonctionnel pour les consommateurs. Ils seraient aussi très riches en triglycérides et cholestérol qui sont de très bonnes sources d'énergie. Puisque, quand une personne ne souffre pas du diabète, elle peut consommer les œufs à souhait ; alors ceux produits après une incorporation de 10% de pulpe séchée de *Borassus aethiopum* pourraient plaire par leur jaune très intenses. En plus, l'utilisation des jaunes de ces œufs en boulangerie permettrait la production de gâteaux ayant de belles couronnes de couleur jaune.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les travaux ont consisté (1) à étudier la composition des fruits et les valeurs nutritives de la pulpe séchée des fruits mûrs de *Borassus aethiopum* sous l'effet de différentes températures de séchage, (2) à tester son acceptation par les poulets de chair et les poules pondeuses dans l'aliment, (3) à évaluer l'effet de cette pulpe sur les lipides du sérum sanguin des poulets de chair et (4) à suivre l'influence des caroténoïdes de la pulpe séchée sur les concentrations en cholestérol total et en triglycéride des jaunes d'œufs obtenus.

Les fruits de *B. aethiopum*, dont aucune graine n'est avortée, ont pesé entre 794,12 et 2800 g, avec une moyenne de 1591 g. A la maturité, ces fruits ont offert en moyenne 34% de pulpe fraîche. En plus, ses graines qui ont représenté 42,27% du poids des fruits permettent la production d'hypocotyles qui sont consommées soit après avoir été bouillies, braisées ou rendues en farine selon les peuples. Les présents travaux ont montré que la méthode non destructive qu'est (a) le ramassage des fruits tombés pour cuire et consommer les pulpes ou (b) la culture des fruits entiers pour la production d'hypocotyles peut être renforcée. Il est possible qu'une exploitation industrielle de la pulpe et la culture des hypocotyles puissent être concomitantes, permettant ainsi un double profit.

L'élévation de la température de séchage en paliers de 10°C entre 40 et 80°C a négativement affecté le taux de matières grasses et celui des protéines qui ont été progressivement dégradées. Le diagnostic du profile en acide gras a montré que la pulpe séchée est très riche en acides gras insaturés dont le taux a fluctué entre 76,35% à 50°C et 78,67% à 40°C, contre 21,33% à 40°C et 23,65% à 50°C d'acides gras saturés. Le séchage a favorablement agi sur le ratio ω -6/ ω -3, car la diminution en ω -6 est compensée par une augmentation en ω -3. Ainsi, le ratio a brutalement chuté de 1,1 pour les séchages à 40 et 50°C à 0,45 et 0,38 respectivement à 70 et 80°C.

Compte tenu du brunissement de la poudre issue de la pulpe séchée au-delà de 70°C, celle-ci a été retenue comme la meilleure température de séchage. A 70°C, en fines couches de pulpes le temps de séchage de 7 à 8 jours à 40°C a été réduit à 4 jours. Les pulpes de fruits mûrs de *B. aethiopum* séchées à 70°C sont riches en polyphénols totaux pour plus 447,87 mg EAG/g. Cette pulpe séchée pourrait être un bon aliment fonctionnel dont les effets bénéfiques aideraient à la sante des poulets par son pouvoir antioxydant de 0,65 μ mol E.Trolox/g.

Les importantes teneurs en matières grasses, en protéines et en glucides font que les pulpes séchées de *B. aethiopum* sont beaucoup énergétiques pour plus de 3600 kcal/kg (MS). Leur incorporation dans les régimes des poulets est possible. Mais il faudrait granuler les aliments pour réduire les gaspillages et améliorer la croissance des poulets. En effet, les poulets de chair qui ont reçu le régime ayant la pulpe séchée sous forme de farine ont eu une moindre croissance. A 7 semaines d'âge (49 jours), l'effet des régimes et du dimorphisme sexuel ont été fortement ressentis. Quand les mâles alimentés sans la pulpe séchée pesaient 3000 g, ceux qui recevaient 20% de pulpe séchée dans leur régime pesaient 2600 g. Au même moment, les poules qui n'ont pas reçu la pulpe étaient nettement plus lourdes que celles qui l'ont reçue, respectivement, 2500 et 2300 g.

L'incorporation de 10% de la pulpe séchée à 70°C de *B. aethiopum* dans l'aliment des pondeuses à base de maïs blanc a permis d'améliorer la couleur jaune des jaunes des œufs. En effet, la tendance jaune (b*) améliorée a été similaire à celle du régime de maïs jaune, 52,29.

Les utilisations industrielles qui découleraient de l'utilisation de la pulpe séchée de *B. aethiopum* permettraient l'établissement d'une source financière additionnelle à long terme. En conséquence, la conscience collective sociale ferait plus attention à ses peuplements naturels. Compte tenu du dynamisme de la filière avicole en Côte d'Ivoire, dans un court terme les paysans pourraient passer de la collecte des fruits mûrs tombés en brousse à la création de plantations de *Borassus aethiopum*.

Dans les perspectives d'avenir :

- 1- les facteurs anti nutritifs éventuels seront recherchés dans les pulpes séchées,
- 2- le taux de cellulose sera déterminé,
- 3- les aspects économiques et financiers de la production de la pulpe séchée seront examinés.

L'expérimentation avec les poulets de chair sera reprise avec différents taux d'incorporation de la pulpe séchée, afin de déterminer un taux optimum d'incorporation. Pour faciliter l'appréhension des aliments, les aliments seront granulés. Lors des analyses subséquentes au niveau des animaux, en plus des analyses NFS, des cholestérols et des triglycérides, la flore intestinale et les gras abdominaux seront examinés, ainsi que les minéraux des os. De même, l'essai de la coloration du jaune d'œuf sera repris avec de faibles taux d'incorporation de la

pulpe séchée dans les régimes à base de maïs blanc et de maïs violet. En plus des paramètres biochimiques évalués sur les poulets de chair, nous étudierons l'assimilation du calcium et du phosphore par les poules. Cette assimilation sera évaluée dans les os des poules et dans les coquilles des œufs,

Une incorporation de la pulpe séchée des fruits mûrs de *Borassus aethiopum* est envisagée dans les régimes alimentaires des aulacodes (*Thryonomys swinderianus*) après une granulation. De même, des essais d'alimentation seront conduits avec les rats de Gambie (*Cricetomys gambianus* et *Cricetomys emini*), et des porcelets (*Sus scrofa domesticus*) sous mère et après sevrage.

IV. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akpabio U. D., A. E. Akpakpan, U. E. Udo, U. C. u (2012) Physicochemical characterization of exudates from Raffia Palm (*Raphia hookeri*), *Advances in Applied Science Research*, 3(2), 838-843
- Albano C., C. Negro, N. Tommasi, C. Gerardi, G. Mita, A. Miceli, L. De-Bellis, F. Blando (2015) Betalains, phenols and antioxidant capacity in cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) fruits from Apulia (South Italy) genotypes, *Antioxidants*, 4, 269-280, doi:10.3390/antiox4020269
- Ali A., B. Fadimatou, C. Tchiegang, C. Saidou, M. B. Adji (2010b) Physico-chemical and functional properties of bâtchi or hypocotyle axes of *Borassus aethiopum*, *African Journal of Food Science*, 4(10), 635-641
- Ali A., C. Tchiegang, D. Alhadji, C. Saidou, B. A. Mohamadou (2010c) Drying the african palm tree (*Borassus aethiopum*) fruits in view of producing edible flour, *Journal of Food Technology*, 8(5), 211-216, doi:10.3923/jftech.2010.211.216
- Ali A., D. Alhadji C. Tchiegang, C. Saïdou (2010a) Physico-chemical properties of palmyra palm (*Borassus aethiopum*) fruits from Northern Cameroon, *African Journal of Food Science*, 4(3), 115-119.
- Anang B. T., C. Yeboah, A. A. Agbolosu (2013) Profitability of broiler and layer production in the Brong Ahafo region of Ghana, *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 8(5), 423-430
- Antolovich M., P. D. Prenzler, E. Patsalides, S. McDonald, K. Robards (2002) Methods for testing antioxidant activity. *Analyst*, 127, 183-198, doi:10.1039/b009171p
- Anwer M., S. Ahmad, A. Sameen, S. Ahmed (2013) Effect of Different heating temperatures on the rheological properties of lactic gel made from buffalo milk, *Journal of Food Chemistry and Nutrition*, 01(01), 33-41
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (1990) Official methods of analysis, agricultural chemicals, contaminants, drugs, volume 1, 15th Edition, pp.771
- Applegate T. J., R. Angel (2014) Nutrient requirements of poultry publication: History and need for an update, *Journal of Applied Poultry Resources*, 23, 567-575, doi:10.3382/japr.2014-00980
- Arunachalam K., S. Saravanan, T. Parimelazhagan (2011) Nutritional analysis and antioxidant activity of Palmyrah (*Borassus flabellifer* L.) seed embryo for potential use as food source, *Food Science and Biotechnology*, 20(1), 143-149, doi:10.1007/s10068-011-0020-y

- Awika J. M., L. W. Rooney, X. Wu, R. L. Prior, L. C. Zevallos (2003) Screening methods to measure antioxidant activity of *Sorghum* (*Sorghum bicolor*) and Sorghum products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 6657-6662, doi:10.1021/jf034790i
- Bacchetti T., S. Masciangelo, A. Micheletti, G. Ferretti (2013) Carotenoids, phenolic compounds and antioxidant capacity of five local Italian corn (*Zea Mays* L.) kernels. *Journal of Nutrition & Food Sciences*, 3(6), 3-6, doi: 10.4172/2155-9600.1000237
- Baiao N. C., J. Mendez, J. Mateos, M. Garcia, G. G. Mateos (1999) Pigmenting Efficacy of Several Oxycarotenoids on Egg Yolk, *Journal of Applied Poultry Resources*, 8, 472-479
- Bain J. M. and J. M. Hall (1969) Observations on the development and structure of the vitelline membrane of the hen's egg: An electron microscope study, *Australian Journal of Biological Sciences*. 22 (3), 653-666.
- Barss P., P. Dakulala, M. Doolan (1984) Falls from trees and tree associated injuries in rural Melanesians, *British medical journal*, 289, 1717-1720
- Beg M. A. H., K. B. M. Saiful-Islam, M. Aftabuzzaman, A. S. M. Mahbub (2016) Effects of separate sex growing on performance and metabolic disorders of broilers, *International Journal of Animal Resources*, 1(1), 19-26
- Béhi Y. E. N., M. Mollet, O. Girardin, J. P. Sorg, F. Herzog (2002) Le vin de palme, aliment et source de revenu pour les populations rurales en Côte d'Ivoire, *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 153, 4, 123-129
- Belitz H. D., W. Grosch, P. Schieberle (2004) Amino acids, peptides, proteins, in *Food chemistry*, 3rd revised Edition, Springer, 8-91
- Bellaver C., D. L. Zanutto, A. L. Guidoni, P. A. R. De-Brum (2004) Metabolizable energy and amino acids relationships with the soluble fractions of protein and fiber of vegetable feed ingredients, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(6), 2274-2282
- Bengaly K. (2015) Supplémentation de feuilles de palmier à huile (*Elaeis guineensis*) traitées à la vapeur à des agneaux en Malaisie, *Tropicultura*, 33 (1), 46-54
- Bertrand G., P. Thomas (1919) Guide pour les Manipulations de Chimie Biologie, 3e édition, Dunod H. et Pinat E., Paris, 468 pages.
- Bitzur R., H. Cohen, Y. Kamari, A. Shaish, D. Harats (2009) Triglycerides and HDL cholesterol, *Diabetes Care*, 32(2), S373 -S377, doi: 10.2337/dc09-S343
- Boone L. R., P. A. Brooks, M. I. Niesen, G. C. Ness (2011) Mechanism of resistance to dietary, *Journal of Lipids*, volume 2011, 1-9, doi:10.1155/2011/101242.

- Bouba L., S. Sauvagnargues, B. Gonne, P. A. Ayrat, A. Ombolo (2017) Tendances pluviométriques et aléa inondation à l'extrême Nord Cameroun, *Geo-Eco-Trop.*, 3, n.s., 339-358
- Brend Y., L. Galili, H. Badani, R. Hovav, S. Galili (2012) Total phenolic content and antioxidant activity of red and yellow Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds as affected by baking and cooking conditions. *Food and Nutrition Sciences*, 3, 1150-1155, doi:10.4236/fns.2012.38151
- Candrawinata V. I., J. B. Golding, P. D. Roach, C. E. Stathopoulos (2014) Total phenolic content and antioxidant activity of apple pomace aqueous extract: effect of time, temperature and water to pomace ratio. *International Food Research Journal*, 21(6), 2337-2344.
- Cesari V., M. G. Mangiagalli, A. Giardini, P. Galimberti, S. Carteri, D. Gallazzi, I. Toschi (2014) Egg quality and productive performance of laying hens fed different levels of skimmed milk powder added to a diet containing *Lactobacillus acidophilus*, *Poultry Science*, 93, 1197-1201, doi: 10.3382/ps.2013-03518
- Chang S. K. C. (2010) Protein analysis in Food analysis, Nielsen S. S., Springer, 4th edition, 133-146
- Chapman M. J., H. N. Ginsberg, P. Amarenco, F. Andreotti, J. Boren, A. L. Catapano, O. S. Descamps, E. Fisher, P. T. Kovanen, J. Albert Kuivenhoven, P. Lesnik, L. Masana, B. G. Nordestgaard, K. K. Ray, Z. Reiner, M. R. Taskinen, L. Tokgozoglou, A. Tybjærg-Hansen, G. F. Watts (2011) Triglyceride-rich lipoproteins and high-density lipoprotein cholesterol in patients at high risk of cardiovascular disease: evidence and guidance for management, *European Heart Journal*, 32, 1345-1361, doi:10.1093/eurheartj/ehr112
- Chewning C. G., C. R. Stark, J. Brake (2012) Effects of particle size and feed form on broiler performance, *Journal of Applied Poultry Research*, 21:830-837, doi:10.3382/japr.2012-00553
- Chiba L. I. (2009) Poultry nutrition and feeding, pp. 316-331, In *Animal nutrition handbook second revision*, 552 pages
- CIE (Commission Internationale d'Eclairage) (1976) Application notes, *Insight on Color*, 8(7), 4 pages
- Dale N., D. Jackson (1994) True Metabolizable Energy of Corn Fraction, *Journal of Applied Poultry Resource*, 3, 179-183
- Dantas R. L., S. D. M. Silva, A. L. Dantas, G. H. C. Guimarães, R. P. Lima, R. D. S. Nascimento, M. C. A. Da-Silva, R. S. Da-Silva, D. Santos, R. M. N. Mendonça (2016) Bioactive

- compounds and antioxidant activity of *Tacinga inamoena* (K. Schum.) [NP Taylor & Stuppy] fruit during maturation, *African Journal of Agricultural Research*, 11(17), 1511-1518, doi:10.5897/AJAR2015.10541
- Dénigès G. (1931) General Method for the Volumetric Determination of Silver in Any Form, *Compt. rend.*, 117, 1078-1893, in , On a New Cyanometric Method and Its Applications, *Annales de Chimie et de Physique*, 7(6), 381-1895
- Dey A., P. S. De (2013) Influence of *Moringa oleifera* leaves as a functional feed additive on the growth performance, carcass characteristics and serum lipid profile of broiler chicken, *The Indian Journal of Animal Sciences*, 47(5): 449-452
- Diamante L., M. Durand, G. Savage, L. Vanhanen (2010) Effect of temperature on the drying characteristics, colour and ascorbic acid content of green and gold kiwifruits *International Food Research Journal*, 17: 441-451
- Dubois M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers, F. Smith (1956) Colorimetric method for determination of sugars and related substances, *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356
- Edem D. O. (2002) Palm oil: Biochemical, physiological, nutritional, hematological, and toxicological aspects: A review, *Plant Foods for Human Nutrition*, 57, 319-341
- EFSA (European Food Safety Authority) (2009) Safety of use of colouring agents in animal nutrition, Part III: β -apo-8'-carotenal, ethyl ester of β -apo-8'-carotenoic acid, lutein, zeaxanthin and concluding remarks, *The EFSA Journal* 1098, 1-48
- Englmaierova M., M. Skrivan (2013) Effect of synthetic carotenoids, lutein, and mustard on the performance and egg quality, *Scientia agriculturae bohémica*, 44(3), 138-143, doi: 10.7160/sab.2013.440303
- Etches R. J. (1996) *Reproduction in poultry*, Wallington, UK: CAB international.
- Faitarone A. B. G, E. A. Garcia, R. O. Roça, E. N. Andrade, F. Vercese F, K. Pelicia (2016) Yolk color and lipid oxidation of the eggs of commercial white layers fed diets supplemented with vegetable oils, *Brazilian Journal of Poultry Science*, 18(1), 009-016, doi:10.1590/1516-635x1801009-016
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2002) Small-scale palm oil processing in Africa. *FAO Agricultural Services Bulletin* 148, ISSN 1010-1365, 68 pages
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2003) Food energy - methods of analysis and conversion factors, report of a technical workshop, Rome, 3-6 December 2002, *Food and Nutrition*, paper 77, 93 pages

- FAO (Food and Agriculture Organization) (2010a) Fats and fatty acids in human nutrition, report of an expert consultation 10-14 November 2008 Geneva, *Food and Nutrition*, paper 91, 180 pages
- FAO (Food and Agriculture Organization) (2010b) Produits forestiers non ligneux, 10/Rev,1, *Les palmiers tropicaux Révision*, 224 pages
- Farahnaky A., M. Alipour, M. Majzoobi (2013) Popping properties of corn grains of two different varieties at different moistures, *Journal of Agricultural Science and Technology* (2013) Vol. 15: 771-780
- Fisher C., J. M. McNab (1987) Techniques for determining the metabolizable energy (ME) content of poultry Feeds, in *Recent advances in animal nutrition*, Haresign W., J. A. D. Cole (eds), Butterworths, London, 3-18
- Friedewald W. T., R. I. Levy, D. S. Fredrickson (1972) Estimation of the concentration of low-density lipoprotein cholesterol in plasma, without use of the preparative ultracentrifuge, *Clinical Chemistry*, 18 (6), 499-502
- Friedman M. (1996) Food browning and its prevention: An overview, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(3), 631-653
- Fulks M., R. L. Stout, V. F. Dolan (2009) Association of cholesterol, LDL, HDL, cholesterol/HDL and triglyceride with all-cause mortality in life insurance applicants, *Journal of insurance medicine*, 41, 244-253
- Gbesso F., G. Akouehou, B. Tente, A. Akoegninou (2013) Aspects technico-économiques de la transformation de *Borassus aethiopum* Mart (arecaceae) au Centre-Bénin, *Afrique Science*, 09(1), 159 – 173
- Ghosh P. K., P. Bhattacharjee, S. Mitra, M. Poddar-Sarkar (2014) Physicochemical and Phytochemical Analyses of Copra and Oil of *Cocos nucifera* L, (*West Coast Tall* Variety), *International Journal of Food Science*, 8 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/310852>
- Giffard P. L. (1967) Le Palmier Rônier *Borassus aethiopum*, *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, 116: 3-13
- Gil M. I., A. Francisco, T. Barberan, B. H. Pierce, D. A. Kader (2002) Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 4976-4982. doi:10.1021/jf020136b
- Halliwell B. (1996) Antioxidants in human health and disease. *Annual Review Nutrition*, 16, 33-50, doi:10.1146/annurev.nu.16.070196.000341
- Han C. K., K. S. Sung, C. S. Yoon, N. H. Lee, C. S. Kim (1993) Effect of dietary lipids on

- Liver, Serum and Egg Yolk Cholesterol Content of Laying Hens, *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 6(2), 243-248
- Hasin B. M., A. J. M. Ferdaus, M. A. Islam, M. J. Uddin, M. S. Islam (2006) Marigold and Orange Skin as Egg Yolk Color Promoting Agents, *International Journal of Poultry Science*, 5(10), 979-987
- Hosseini-Vashan S. J., N. Afzali (2008) Effect of Different Levels of palm olein oil in laying hen's performance and yolk cholesterol, *International Journal of Poultry Science*, 7 (9): 908-912, doi: 10.3923/ijps.2008.908.912
- Hy-Line (2017) Technical update, The science of egg quality, 8 pages
- Ikegwu T. M., G. I. Okafor, I. S. Ochiogu (2014) Effect of preservation methods of oil palm sap (*Elaeis guineensis*) on the reproductive indices of male wistar rats, *Journal of Medicinal food*, 17 (12), 1368-1374, doi:10.1089/jmf.2013.0087
- IPBO (International Plant Biotechnology Outreach) (2017) Maize in Africa, 28 pages
- Irandoost H, D. U. Ahn (2015) Influence of soy oil source and dietary supplementation of vitamins E and C on the oxidation status of serum and egg yolk, and the lipid profile of egg yolk, *Poultry Science*, 94:2763–2771, doi:10.3382/ps/pev290
- Jatau D. F. (2008) Profitability assessment of *Borassus aethiopum* marketing in Adamawa State, Nigeria; *Journal of Agricultural & Social Sciences*, 4(4), 159-64
- Jeong S. M., S. Y. Kim, D. R. Kim, S. C. Jo, K. C. Nam, D. U. Ahn, S. C. Lee (2004) Effect of heat treatment on the antioxidant activity of extracts from citrus peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 3389-3393, doi:10.1021/jf049899k
- Kamran Z., M. Sarwar, M. Nisa, M. A. Nadeem, S. Mahmood, M. E. Babar, S. Ahmed (2008) Effect of low-protein diets having constant energy-to-protein ratio on performance and carcass characteristics of broiler chickens from one to thirty-five days of age. *Poultry Science* 87:468-474. doi:10.3382/ps.2007-00180
- Kansole M. M. R. (2016) Sustainable utilizations of *Borassus aethiopum*. fruits in the eastern region of Burkina Faso, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(5), 1772-1785
- Kaspers B. (2016) An egg a day, the physiology of egg formation, *Lohmann Information*, 50(2), 13-7
- Kljak K., M. Drdić, D. Karolyi, D. Grbeša (2012) Pigmentation efficiency of Croatian corn hybrids in egg Production, *Croatian Journal of Food Technology, Biotechnology and Nutrition*, 7 (special issue), 23-27

- Kuttappan V. A., G. R. Huff, W. E. Huff, B. M. Hargis, J. K. Apple, C. Coon, C. M. Owens (2013) Comparison of hematologic and serologic profiles of broiler birds with normal and severe degrees of white striping in breast fillets, *Poultry Science*, 92:339-345. doi:10.3382/ps.2012-02647
- Lachman J., K. Hamouz, M. Sulc, M. Orsák, P. Dvorak (2008) Differences in phenolic content and antioxidant activity in yellow and purple-fleshed potatoes grown in the Czech Republic, *Plant Soil Environment*, 54(1), 1-6
- Legrand P., E. Beauchamp, D. Catheline, F. Pédrone, V. Rioux (2010) Short chain saturated fatty acids decrease circulating cholesterol and increase tissue PUFA content in the rat, *Lipids*, 45(11), 975-86. doi:10.1007/s11745-010-3481-5
- Lemieux I., B. Lamarche, C. Couillard, A. Pascot, B. Cantin, J. Bergeron, G. R. Dagenais, J. P. Després (2001) Total cholesterol/HDL cholesterol ratio versus LDL cholesterol/HDL cholesterol ratio as indices of ischemic heart disease risk in men, *Archives of internal medicine*, 161, 2685-2692
- Li X., G. C. Bremer, K. N. Connell, C. Ngai, Q. A. T. Pham, S. Wang, M. Flynn, L. Ravetti, C. Guillaume, Y. Wang, S. C. Wang (2016) Change in chemical compositions of Olive oil under different heating temperatures similar to home cooking, *Journal of Food Chemistry and Nutrition*, 04(01), 07-15
- Lohani U. C., K. Muthukumarappan (2015) Effect of Drying Methods and Ultrasonication in Improving the Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Apple Pomace Powder, *Journal of Food Research*, 4(2), 68-77, doi:10.5539/jfr.v4n2p68
- Lokaewmanee K., K. Yamauchi, T. Komori, K. Saito (2010) Effects on egg yolk colour of paprika or paprika combined with marigold flower extracts, *Italian Journal of Animal Science*, 9(4), e67, 356-359, doi:10.4081/ijas.2010.e67
- Lokaewmanee K., K. Yamauchi, T. Komori, K. Saito (2011) Enhancement of egg yolk color by paprika combined with a probiotic, *Journal of Applied Poultry Resources*, 20, 90-94, doi: 10.3382/japr.2009-00140
- Lokaewmanee K., S. Mompanuon, P. Khumpeerawat, K. Yamauchi (2009) Effect of dietary Mulberry leaves (*Morus alba* L.) on egg yolk color, *Japan Poultry Science Association*, doi:10.2141/jpsa.46.112
- López J., A. Vega-Gálvez, M. J. Torres, R. Lemus-Mondaca, I. Quispe-Fuentes¹, K. Di Scala (2013) Effect of dehydration temperature on physico-chemical properties and antioxidant capacity of goldenberry (*Physalis peruviana* L.), *Chilean Journal of Agricultural Research*, 73(3), 293-300, doi:10.4067/S0718-58392013000300013

- Ma H., K. J. Shieh (2006) Cholesterol and Human Health, *The Journal of American Science*, 2(1), 46-50
- Madrau M. A., A. Piscopo, A. M. Sanguinetti, A. Del-Caro, M. Poiana, F. V. Romeo, A. Piga (2009) Effect of drying temperature on polyphenolic content and antioxidant activity of apricots. *European Food Resources and Technology*, 228, 441-448, doi:10.1007/s00217-008-0951-6
- Makhlouf-Gafsi I., A. Mokni-Ghribi, B. Bchir, H. Attia, C. Blecker, S. Besbes (2016) Physico-chemical properties and amino acid profiles of sap from Tunisian date palm, *Scientia Agricola*, 73(1), p.85-90, <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0041>
- Mann K., (2008). Proteomic analysis of the chicken egg vitelline membrane. *Proteomics*. 8: (11), 2322-2332
- Marinova D., F. Ribarova, M. Atanassova (2005) Total phenolics and total flavonoids in Bulgarian fruits and vegetables, *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 40(3), 255-260
- Maziya-Dixon B., J. G. Kling, A. Menkir, A. Dixon (2000) Genetic variation in total carotene, iron, and zinc contents of maize and cassava genotypes, *Food and Nutrition Bulletin*, 21(4), 419-422
- Miranda J. M., X. Anton, C. Redondo-Valbuena, P. Roca-Saavedra, J. A. Rodriguez, A. Lamas, C. M. Franco, A. Cepeda (2015) Egg and Egg-Derived Foods: Effects on human health and use as functional foods, *Nutrients*, 7, 706-729; doi:10.3390/nu7010706
- Mollet M. (1999) L'utilisation durable des palmiers *Borassus aethiopum*, *Elaeis guineensis* et *Raphia hookeri* pour l'extraction de vin de palme en Côte d'Ivoire, 83 pages
- Moyo B., S. Oyedemi, P. J. Masika, V. Muchenje (2012) Polyphenolic content and antioxidant properties of *Moringa oleifera* leaf extracts and enzymatic activity of liver from goats supplemented with *Moringa oleifera* leaves/sunflower seed cake. *Meat Science*, 91, 441-447, doi:10.1016/j.meatsci.2012.02.029
- Murugesu S., A. A. Ariffin, T. C. Ping, B. H. Chern (2013) Physicochemical properties of oil extracted from the hot and cold extracted red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) seeds, *Journal of Food Chemistry and Nutrition*, 01(02), 78-83
- Naknean P., M. Meenune, G. Roudaut (2010) Characterization of palm sap arvested in Songkhla province, Southern Thailand, *International Food Research Journal*, 17, 977-986
- Nichols A. V. (1969) Functions and interrelationships of different classes of plasma lipoproteins, *Neonatal Abstinence Syndrome Symposium*, 1128-1137

- Noumi G. B., Y. M. Njouokam, C.B. Njiné, E. Ngameni, C. Kapseu (2011) Effets du séchage sur le rendement et la qualité de l'huile extraite de la pulpe de safou, *Tropicultura*, 29(3), 138-142
- NRC (National Research Council) (1994) Nutrient requirements of poultry, Ninth Revised Edition, 157 pages
- Nys Y. (2010) Structure et formation de l'œuf, In: F. Nau, C. Guerin-Dubiard, F. Baron, J. L. Thapon, editors. *Science et technologie de l'oeuf*. Paris. Lavoisier, 161-237
- Nys Y., Sauveur B. (2004) Valeur nutritionnelle des œufs. *INRA Production Animale*, 17, 5, 385-393
- Onen C. O., H. Oryem-Origa (2017) Ethno-botanical uses of Ugandan edible wild fruit species Environment, *Earth and Ecology*, 1(2), 62-74, doi:10.24051/eee/80760
- Onuche P., S. A. Shomkegh, T. N. Tee (2012) Palm wine tapping methods among Idoma and Tiv ethnic groups of Benue State, Nigeria: Implications on conservation of palm trees (*Elaeis guineensis*), *Journal of Environmental Issues and Agriculture in Developing Countries*, 4(1), 86-91
- Oryema C., H. Oryem-Origa (2016) Analysis of the fresh pulps of *Borassus aethiopum* fruits of Gulu district, Uganda, *American Journal of Food and Nutrition*, 4(6), 177-181, doi:10.12691/ajfn-4-6-6
- Ozor, M.U, C. O. A. Ugwumba, T. N. Nwankwo (2018) Analysis of price spread, profitability and constraints to dry maize (*Zea mays*) marketing in Southeast, Nigeria, *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 6(6), 76-82, doi: 10.15739/IJAPR.18.009
- Pacheco P., S. Gnych, A. Dermawan, H. Komarudin, B. Okarda (2017) The palm oil global value chain: implications for economic growth and social and environmental sustainability, Center for International Forestry Research (CIFOR), working paper 220, 55 pages.
- Panaite C., D. Dragatoiu, R. Marti, T. Panaite (2015) Use of high-fibre feedstuffs in pullet diets starting with the starter stage, *Archiva Zootechnica*, 18(1), 53-63
- Panche A. N., A. D. Diwan, S. R. Chandra (2016) Flavonoids: an overview, *Journal of nutritional science*, 5(e47), 1-15, doi:10.1017/jns.2016.41
- Pasin G., G. M. Smith, M. O'Mahony (1998) Rapid determination of total cholesterol in egg yolk using commercial diagnostic cholesterol reagent, *Food Chemistry*, 61(1/2), 255-259
- Prasad R., M. K. Rose, M. Virmani, S. L. Garg, J. P. Puri (2009) Lipid profile of chicken (*Gallus domesticus*) in response to dietary supplementation of garlic (*Allium sativum*), *International Journal of Poultry Science*, 8 (3), 270-276

- Priecina L., D. Karklina (2014) Determination of major sugars in fresh and dried spices and vegetables using high performance liquid chromatography, *Foodbalt* 2014, 198-201
- Prior R. L., X. Wu, K. Schaich (2005) Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 4290-4302, <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
- Qamar S., M. Aslam, F. Huyop, M. A. Javed (2017) Comparative study for the determination of nutritional composition in commercial and noncommercial maize flours, *Pakistan Journal of Botany*, 49(2), 519-523
- Rajha H. N., N. El Darra, Z. Hobaika, N. Boussetta, E. Vorobiev, R. G. Maroun, N. Louka (2014) Extraction of total phenolic compounds, flavonoids, anthocyanins and tannins from grape by-products by response surface methodology, influence of solid-liquid ratio, particle size, time, temperature and solvent mixtures on the optimization process. *Food and Nutrition Sciences*, 5, 397-409, doi:10.4236/fns.2014.54048
- Rios D. A. S. de A., M. C. D. Paes, W. S. Cardoso, A. Borém, F. F. Teixeira (2014) Color of corn grains and carotenoid profile of importance for human health, *American Journal of Plant Sciences*, 5, 857-862, doi:10.4236/ajps.2014.56099
- Rodrigues S. F. C., J. H. Stringhini, M. Ceccantini, A. M. P. Júnior, A. M. L. Ribeiro, V. Peripolli, C. M. McManus (2015) Chemical and energetic content of corn before and after pre-cleaning, *Ciência Animal Brasileira*, 16 (2), 158-168, doi: 10.1590/1089-6891v16i217226
- Rodríguez J. C., D. Gómez, D. Pacetti, O. Núñez, R. Gagliardi, N. G. Frega, M. L. Ojeda, M. R. Loizzo, R. Tundis, P. Lucci (2016) Effects of the fruit Ripening stage on antioxidant capacity, total phenolics, and polyphenolic composition of crude palm oil from interspecific hybrid *Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64, 852-859, doi:10.1021/acs.jafc.5b04990
- Rojas-Molina I., E. Gutiérrez, A. Rojas, M. Cortés-Álvarez, L. Campos-Solís, M. Hernández-Urbiola, J. L. Arjona, A. Cornejo, M. E. Rodríguez-García (2009) Effect of temperature and steeping time on calcium and phosphorus content in nixtamalized corn flours obtained by traditional nixtamalization process, *Cereal Chemistry*, 5.16-521. doi:10.1094/CCHEM-86-5-0516
- Roush W. B., D. Boykin, S. L. Branton (2004) Optimization of phase feeding of starter, grower, and finisher diets for male broilers by mixture experimental design: forty-eight-day production period, *Poultry Science*, 83, 1264–1275
- Ruenroengklin N., J. Zhong, X. Duan, B. Yang, J. Li, Y. Jiang (2008) Effects of various

- temperatures and pH values on the extraction yield of phenolics from litchi fruit pericarp tissue and the antioxidant activity of the extracted anthocyanins. *International Journal of Molecular Science*, 9, 1333-1341, doi:10.3390/ijms9071333
- Ruggiero M. A., D. P. Gordon, T. M. Orrell, N. Bailly, T. Bourgoïn, R. C. Brusca, T. Cavalier-Smith, M. D. Guiry, P. M. Kirk (2015) Correction: A higher level classification of all living organisms, *PLoS ONE*, 10(6), 1-54, doi:10.1371/journal.pone.0130114
- Saleh E. A., M. S. Tawfik, A. H. M. Tarboush (2011) Phenolic contents and antioxidant activity of various date palm (*Phoenix dactylifera L.*) fruits from Saud Arabia. *Food and Nutrition Sciences*, 2, 1134-1141, doi:10.4236/fns.2011.210152
- Saleh E. A., S. E. Watkins, P. W. Waldroup (1997) Changing time of feeding starter, grower, and finisher diets for broilers, 3. birds grown to 3.3 kg, *Journal of Applied Poultry Research*, 6, 290-297
- Sambou B., A. Goudiaby, F. Ervik, D. Diallo, M. C. Camara (2002) Palm wine harvesting by the Bassari threatens *Borassus aethiopus* populations in north-western Guinea, *Biodiversity and Conservation*, 11, 1149-1161
- Sambou B., J. E. Lawesson, A. S. Barford (1992) *Borassus aethiopus*, a threatened multiple purpose palm in Senegal, *Principes*, 36(3), 148-155
- Sauveur B. (1988) Structure, composition et valeur nutritionnelle de l'œuf. In *Reproduction des volailles et production d'œufs*. INRA eds., INRA, Paris, pp. 347-374
- Scott C. E., A. L. Eldridge (2005) Comparison of carotenoid content in fresh, frozen and canned corn, *Journal of Food Composition and Analysis*, 18, 551-559
- Scrob S., S. Muste, I. Has, C. Muresan, S. Socaci, A. Farcas (2014) Total content of carotenoids in corn landraces and their potential health applications, *Bulletin UASVM Food Science and Technology* 71(2), 96-100, doi: 10.15835/buasvmcn-fst:10396
- Shawle K., M. Urge, G. Animut (2016) Effect of different levels of *Lepidium sativum* Linn on growth performance, carcass characteristics, hematology and serum biochemical parameters of broilers, *SpringerPlus*, 5:1441, doi:10.1186/s40064-016-3118-0
- Shim K. S., G. H. Park, C. J. Choi, C. S. Na (2004) Decreased Triglyceride and Cholesterol Levels in Serum, Liver and Breast Muscle in Broiler by the Supplementation of Dietary *Codonopsis lanceolata* Root, *Asian-Australian Journal of Animal Science*, 17(4), 511-513,
- Shim M. Y., M. Tahir, A. B. Karnuah, M. Miller, T. D. Pringle, S. E. Aggrey, G. M. Pesti (2012) Strain and sex effects on growth performance and carcass traits of contemporary commercial broiler crosses, *Poultry Science*, 91: 2942-2948. doi:10.3382/ps.2012-02414

- Siaw D. E. K. A, E. F. Asamoah, G. A. Baidoe (2014) The stock and socio-economic uses of *Borassus aethiopum* in Abrimasu forest reserve of mampong forest district, *Journal of Energy and Natural Resource Management*, 1(3), 148-155
- Singh R.S. G., P. S. Negib, C. Radha (2013) Phenolic composition, antioxidant and antimicrobial activities of free and bound phenolic extracts of *Moringa oleifera* seed flour. *Journal of Functional Foods*, 5, 1883-1891, doi:10.1016/j.jff.2013.09.009
- Spada F. P., M. M. Selani, A. A. D. Coelho, V. J. M. Savino, A. A. Rodella, M. C. Souza, F. S. Fischer, D. E. A. Lemes, S. G. Canniatti-Brazaca (2016) Influence of natural and synthetic carotenoids on the color of egg yolk, *Scientia Agricola*, 73(3), 234-242 <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0337>
- Takeuchi Y., K. Nishimura, N. Aoki, T. Adachi, C. Sato, K. Kitajima, T. Matsuda (1999) A 42-kDa glycoprotein from chicken egg-envelope, an avian homolog of the ZPC family glycoproteins in mammalian zona pellucida - Its first identification, cDNA cloning and granulosa cell-specific expression, *European Journal of Biochemistry*. 260 (3), 736-742.
- Tehrani A., J. Javanbakht, S. Askari, M. A. Hassan, A. Solati, S. Golami, H. Akbari (2012) Haematological Studies on Broiler Chickens Fed with Different Levels of Artemia Urmiana. *Journal of Biotechnology & Biomaterials*, 2(138), doi:10.4172/2155-952X.1000138
- Teow C. C., V. D. Truong, R. F. McFeeters, R. L. Thompson, K. V. Pecota, G. C. Yencho (2007) Antioxidant activities, phenolic and β -carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. *Food Chemistry*, 103, 829-838. doi:10.1016/j.foodchem.2006.09.033
- Thaipong K., U. Boonprakob, K. Crosby, L. C. Zevallos, D. H. Byrne (2006) Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 669-675. doi:10.1016/j.jfca.2006.01.003
- Ume S. I., C. I. Ezeano, D. Elisha, O. N. Edeh (2016) Analysis of socio-economic determinants to broiler production by rural women in Imo State of Nigeria, *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 1(4), 1046-1053, doi:10.22161/ijeab/1.4.59
- Vijayakumari, P. C. Vengaiah, P. Kiranmayi (2014) Physicochemical and functional characteristics of powder prepared from palmyra fruit pulp (*Borassus flabellifer* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 3(9), 352-356.
- Wandati T. W., G. M. Kenji, J. M. Onguso (2013) Phytochemicals in edible wild mushrooms from selected areas in Kenya. *Journal of Food Research*, 2(3), 137-144.

doi:10.5539/jfr.v2n3p137

- Wecke C., F. Liebert (2013) Improving the reliability of optimal in-feed amino acid ratios based on individual amino acid efficiency data from N balance studies in growing chicken, *Animals*, 3, 558-573; doi:10.3390/ani3030558
- Williams C. M. (2000) Dietary Fatty Acids and Human Health, *Annales de Zootechnie*, 49, 165-180
- Wood J. E., S. T. Senthilmohan, A. V. Peskin (2002) Antioxidant activity of procyanidin containing plant extracts at different pHs, *Journal of Food Chemistry*, 77, 155-161, doi:10.1016/S0308-8146(01)00329-6
- Yao N. R., A. F. Oule, K. D. N'goran (2013) Etude de vulnérabilité du Secteur agricole face aux changements climatiques en Côte d'Ivoire, 105 pages
- Zanu H. K, P. Asiedu, M. Tampuori, M. Abada, I. Asante (2012) Possibilities of using Moringa (*Moringa oleifera*) leaf meal as a partial substitute for fishmeal in broiler chickens' diets, *Online Journal of Animal and Feed Research*, 2(1), 70-75
- Zhao P. Y., I. H. Kim (2017) Effect of diets with different energy and lysophospholipids levels on performance, nutrient metabolism, and body composition in broilers, *Poultry Science*, 0, 1–7, doi:10.3382/ps/pew469
- Zongo O., F. Tapsoba, F. Leray, C. Bideaux, S. Guillouet, Y. Traore, A. Savadogo (2019) Nutritional, biochemical and microbiological composition of *Borassus aethiopum* Mart. sap in Burkina Faso, *Journal of Food Science and Technology*, doi:10.1007/s13197-019-04078-w

Annexes

Annexe 1

Tiho T., Adima A. A., Brou Y. C., Traoré N., Kouassi G. F., Kouamé T. R., Kouba M. (2018) *Borassus aethiopum* Mart Ripe Fruits' Parts, and Drying Temperature effect on its Pulp Protein, Fat, Sugars, Metabolizable Energy, and Fatty Acids Profile; *American Journal of Food and Nutrition*,6(3), 67-75, doi:10.12691/ajfn-6-3-2

***Borassus aethiopum* Mart Ripe Fruits' Parts, and Drying Temperature Effect on Its Pulp Protein, Fat, Reducing Sugars, Metabolizable Energy and Fatty Acids Profile**

TIHO Tagouèlbè^{1,*}, ADIMA Amissa Augustin², BROU Yao Casimir¹, TRAORE Nabayo¹,
KOUASSI Gouha Firmin¹, KOUAME Thierry Roland³, KOUBA Maryline⁴

¹Département Agriculture et Ressources Animales, Ecole Supérieure d'Agronomie, Institut National Polytechnique Felix Houphouët Boigny (INP-HB), B.P. 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Département de Sciences Alimentaires, Ecole Supérieure d'Agronomie, Institut National Polytechnique Felix Houphouët Boigny (INP-HB), B.P. 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

³Département Forêts, Eaux et Environnement, Ecole Supérieure d'Agronomie, Institut National Polytechnique Felix Houphouët Boigny (INP-HB), B.P. 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

⁴Institut National de Recherche Agronomique (INRA), Agro-campus Ouest, Unité Mixte de Recherche 1348 Physiologie, Environnement et Génétique pour l'Animal et les Systèmes d'Élevage, 35590 Saint-Gilles, Rennes, France

*Corresponding author: tihotag@gmail.com

Received March 10, 2018; Accepted May 28, 2018; Online Published June 25, 2018

Abstract The aim of this work was to study *Borassus aethiopum* dried pulp nutritional value for its incorporation in poultry diets. Firstly, the mature fruits' parts (sepals, peels, pulps, and seeds) were assessed. Secondly, the pulp was dried at 40, 50, 60, 70, and 80°C. Thereafter, analyses were performed for fat, protein, total sugars, Calcium (Ca), phosphorus (P), Magnesium (Mg), and fatty acid profile monitoring. As a result, the fruits weighed 1,591.35 grams, delivered 516.73 and 677.82 grams of pulp and seeds, respectively. Mainly, increasing heat adversely affected the outputs. Consequently, the fat results were 14.12, 12.97, 8.93, 8.89 and 5.56%; protein contents were 11.64, 10.15, 8.97, 8.84 and 8.42%; total sugar deliveries were 6.28, 6.05, 5.26, 5.02, and 4.76%, and these figures were significantly different ($p < 0.01$) between 40 and 60°C. Thereafter, the metabolizable energies were 3,785.22; 3,834.28; 3,616.62; 3,667.03; and 3,608.33 kcal/kg (DM) at 40, 50, 60, 70 and 80°C, respectively. Additionally, Ca contents were 0.51, 0.55, 0.69, 0.77 and 0.81%, while phosphorus general mean was 0.17%, because the single means were not different ($p > 0.01$). So, Ca/P ratios were 2.79, 3.04, 4.10, 4.71 and 4.95. Finally, fatty acids (FA) profile assessments revealed 22.33% saturated (SFA) and 77.67% unsaturated (UFA), from which 67.59% monounsaturated (MUFA). Interestingly, the rising heat depressed n-6/n-3 ratios those were 1.1, 1.1, 0.45 and 0.38, respectively at 40, 50, 70 and 80°C. In short, drying did not only enhance the product shelf life but it also improved the nutritional value. Thus, *Borassus aethiopum* mature fruits' pulps dried at 70°C are good functional foods, with more than 66% MUFA, and energy source for poultry nutrition.

Keywords: *Borassus aethiopum*, Fatty acids profile, Metabolizable energy, Minerals, Protein

Cite This Article: TIHO Tagouèlbè, ADIMA Amissa Augustin, BROU Yao Casimir, TRAORE Nabayo, KOUASSI Gouha Firmin, KOUAME Thierry Roland, and KOUBA Maryline, "*Borassus aethiopum* Mart Ripe Fruits' Parts, and Drying Temperature Effect on Its Pulp Protein, Fat, Reducing Sugars, Metabolizable Energy and Fatty Acids Profile." *American Journal of Food and Nutrition*, vol. 6, no. 3 (2018): 67-75. doi: 10.12691/ajfn-6-3-2.

1. Introduction

Firstly, as important sources of food after severe droughts in West Africa, and secondly because of their socio-economic additional non-farm income contribution to rural families' wellbeing, palm forests are important in the developing world. In Senegal, even if people enjoy the fibrous pulp, they do prefer the fresh albumen from *Borassus aethiopum* immature fruits. In addition, all over the world, craftsmen use palm leaves (*Elaeis guineensis*, B.

aethiopum, *B. flabellifer*, *Phoenix dactylifera*, and *Raphia hookeri*) to make hats, bags, baskets, and many other artisanal articles. In addition, the tree trunks are used to make beehives, fences, and hut roofs in rural areas [1,2].

Unfortunately, regardless these sustainable practices of palm product use, more and more social culture and eating habits lead to palm trees forest destructions. As an illustration, in Côte d'Ivoire, because of sap wine collection on apical pods, *Borassus aethiopum* trees are killed, leading to the conclusion that some traditional methods are no longer sustainable for *Borassus aethiopum* and *Raphia hookeri* forests [3]. Fortunately, when the

financial profit in long run is clearly perceived to be higher than the short term one, rural people tend to protect the natural forests, and even they grow the trees [3]. So, *Elaeis guineensis* forests which had high financial and socioeconomic profits were found not to be in danger [3].

Indeed, rural people around *B. aethiopum* forests enjoy its sap wine, so some persons are collecting this juice through the whole year as their main job. We assume that, finding ways to enhance the socio-economic profit of *B. aethiopum* ripe fruits may lead to the protection of its natural forests, or better, the establishment of new farms. Its mature fruit fresh pulp contains, Carotenoids (26.6 mg), Vitamin C (134.82 mg), Magnesium (20.61 mg), Phosphorus (567 mg) and Calcium (107.61 mg) in 100 grams [4]. Interestingly, this fresh pulp was found to be very rich in polyphenols with more than 274.2 mg/100 grams [4]. Accordingly, dried at 70°C until constant weight, and extracting by decoction in distilled water, *Borassus aethiopum* pulp exhibited 447.87 milligrams gallic acid equivalent per gram of dried matter (mg G.A.Eq./g (DM)) basis [5]. In short, the nutritional value is clearly established.

Due to the climate change effect through rainfall shortage, and unpredictable weather, South Saharan African (SSA) countries are experiencing corn shortage [6]. Actually, overall cereals production is still seriously low, with less than 2 metric tons per hectare [6]. So, the instability in yellow corn availability makes necessary to look for ways of reducing yellow corn incorporation in poultry feed formulation, for alternative energy sources. Therefore, along with the objective of using *Borassus aethiopum* dried pulp in intensive poultry breeding and contribute to the reduction of malnourished children proportion in rural zones, the study aimed to assess the ripe fruits' parts, dried products protein, fat, total sugar content, and the metabolizable energy. In addition, calcium (Ca), iron (Fe), potassium (K), magnesium (Mg), sodium (Na) and phosphorus (P) contents were assessed. The hypothesis was that the drying temperature affects the dried pulp nutritional value. So, these experiments aimed to ascertain the good drying temperature that keeps a good nutritional value. In short, we believe that, finding ways for an industrial use of *Borassus aethiopum* mature fruits' dried pulp could help to revalue its esteem among the rural population and thus reduce *Borassus aethiopum* forests destruction.

2. Material and Methods

2.1. Samples Preparation

Borassus aethiopum fruits were collected in gardens, farms and in nature. Then, they were sorted [2]. Firstly, each whole fruit was weighed. Thereafter it was split into its different components, sepals, peel, pulp, and kernels. Then, again each part was weighed. These results were monitored, so that we could evaluate each part proportion in a whole fruit. Secondly, the pulps were dried in ovens at 40, 50, 60, 70 and 80°C, until reaching a constant weight. Afterward, they were crushed manually in a traditional wooden mortar and sieved [5]. The powder was kept in glass bottles completely wrapped in aluminum

paper, put in plastic bags, and kept at room temperature until further analysis. Before an analysis, about 2 grams of powder were warmed up at its previous drying temperature for two hours in a digital screen oven (Froilabo Air Performance, from France).

2.2. Dry Matter Percentage

The dry matter determination was performed [7]. The porcelain crucibles were well cleaned and placed in an oven at 105°C for 30 minutes. Then, they were removed, cooled in a desiccator for 15 minutes and each was identified with a reference. Thereafter, each crucible was weighed and its weight was recorded W_{cr} . We weighed about 2 grams of sample and put it in the crucible (W_1 : crucible + sample). The crucible containing the sample was then placed in the oven at 105°C for 24 hours. The next day, it was cooled in the desiccator for thirty (30) minutes and weighed (W_2 : crucible weight + dried sample at 105°C). Then, the remaining material mass was the dry matter (DM), thus the percentage was computed.

2.3. Protein Content

The determination of nitrogen content was done following Kjeldahl method [8]. These steps are shortened as digestion; neutralization-distillation, titration with 0.01N NaOH. When the equilibrium point was reached, the solution turned from red to green. Finally, the amount of nitrogen was assessed. Then, this nitrogen percentage was converted into protein ($N \times 6.25$).

2.4. Fat Content

A well-mixed and homogenized sample was prepared, and about 1 gram (MS) was weighed in a blotting paper (M1: Ms+paper) and placed into an extractor. Then, a flask filled with 250 mL of hexane was placed below the extractor, and above we had a refrigerant. The heating temperature was set at 400°C, and the extraction lasted 2 hours. When it boiled, the hexane rose from the flask to the extractor, got in touch with the paper containing the sample, and extracted the fat. As soon as, the extractor was filled, the hexane went down by siphoning. At the end of the extraction, the paper containing the sample was placed in an oven for 2 additional hours at 105°C. Afterwards, it was cooled in the desiccator and weighed (M2). By weight difference, the total weight loss was determined [8].

2.5. Fiber Content

The dietary fiber is the organic matter that remains insoluble after acid and alkaline treatments [7]. This analysis was carried out using the Fibertec apparatus. One gram of sample was weighed (P0) and placed in a crucible of porosity 2, then we added 100 mL of boiling 1.25% sulphuric acid (H_2SO_4) solution. The whole was brought to a moderate boil for 30 minutes. Afterwards, the sample in the crucible was filtered, washed 3 times with hot water. Then 100 mL of boiling 1.25% sodium hydroxide (NaOH) solution was added and heated again for 30 minutes. Then, heating was stopped and we filtered and, washed 3 times

again with hot water. Finally, acetone was added and allowed to act for 2 minutes and then filtered. The residue was placed into an oven at 103°C overnight. The next day, it was removed, cooled in a silica desiccator and then weighed (P_1). Then, it was incinerated in the furnace at 550°C for 2 hours, cooled in the silica desiccator and weighed (P_2). The amount of fiber was obtained [7].

2.6. Minerals Composition

For minerals assessment, a clean porcelain crucible was weighed (W_{cr}), and about 5 grams of sample were put in it (W_1 , crucible + sample). Following, it was placed in the muffle furnace at 550 °C for 8 hours, thus we obtained the ash. After, the crucible was cooled in the desiccator, weighed and its weight was recorded as W_2 (crucible + ash). Then, the portion of mineral was computed [7].

2.7. Total Carbohydrates, and Metabolizable Energy (ME)

After the results of dry matter, protein, fat, and ash analysis, the total carbohydrates were evaluated by difference [9]. Again, for the metabolizable energy computation, we used the coefficients related to all vegetable, except lemons, applied on protein, fat and total carbohydrate [9]. So, all contents were reported in percentage on dry matter basis (1). Finally, with [9] (2), we computed the metabolizable energy (ME) in kilocalories per kilogram (kcal/kg (DM)).

$$\begin{aligned} (\%) \text{Total carbohydrates} \\ = 100 - \%(\text{protein} + \text{fat} + \text{water} + \text{ash}) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} ME_{(kcal/g)} = 3.36 * \text{Protein} + 8.37 * \text{Fat} \\ + 3.6 * (\text{Total Carbohydrates}). \end{aligned} \quad (2)$$

For a comparison purpose, we used poultry metabolizable energy assessment model (4) [10]. The starch was evaluated with (3) [11]. In these equations, all data should be in percentage.

$$\text{Starch} = 0.9 * (\text{Total carbohydrate} - \text{Total sugars}) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} ME_{(MJ/kg)} = 0.155 * \text{Protein} + 0.343 * \text{Fat} \\ + 0.13 * (\text{Total Sugar}) + 0.167 * \text{Starch}. \end{aligned} \quad (4)$$

Where, ME: Metabolizable energy; MJ: Mega joule.

2.8. Total Reducing Sugars Content

Total reducing sugar assessment methodology was slightly modified to comply with *Borassus aethiopicum* pulp powder high absorbency [13]. So, to 5 grams of sample introduced into a 200 mL flask was added 50 mL of distilled water heated to 60°C. The mixture was then stirred until cooling. After this infusion, the mixture was centrifuged at 4,000 rounds per minute for 10 minutes and the supernatant was filtered with paper filter (Prat Dumas France, ϕ 190 mm, Lot n° 106-12-0315, Ref: j019106-100 units). The filtrate was placed into a 100 mL volumetric flask and filled with distilled water to the gauge line. Because of the pulp high sweetness, again, 1 mL of the

medium was collected, placed in 50 mL volumetric flask, and then filled with distilled water to the gauge line. Subsequently, 100 μ L of the extract were collected, and introduced into a test tube. Then, 0.9 mL of distilled water, 1 mL of phenol (5%, w/v) and 5 mL of analytic concentrated sulphuric acid (95%) were added, successively. The mixture was left to stand about 8 hours at room temperature in dark. Finally, we proceeded with JASCO V530 UV/Vis spectrophotometer readings at 490 nm with distilled water as a blank. The total reducing sugar (S) contents were given in micrograms per milliliter (μ gS/mL) [13]. The result can be converted into micrograms of total reducing sugars per milligram of sample (μ gS/mgSa) by multiplying by a factor of 70 (7 mL/0.1 mg), where 7 mL is the final medium volume used for readings, and 0.1 mg is the corresponding weight of the sample in this final medium. A calibration curve was previously established, based on a range of 1 μ g/mL glucose stock solutions prepared under the same conditions as the test (Figure 1). Finally, this content is reported to the dry matter basis (5).

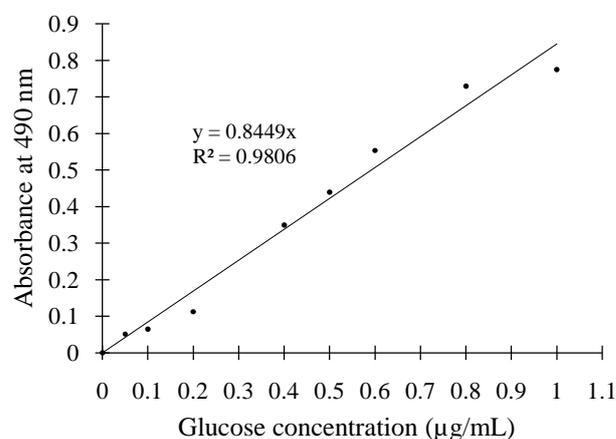


Figure 1. Standard curve for total reducing sugars assessment established with glucose solutions

$$\begin{aligned} \text{Total Sugar Content} \\ = \frac{\mu\text{g.S}}{\text{ml}} * \frac{70\text{ml}}{\text{mg.Sa} * \text{DM}} = \frac{70\mu\text{g.S}}{\text{mg.Sa} * \text{DM}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Where Sa: Sample, S: Total reducing sugars content, DM: Dry matter

2.9. Ca, Mg, K, P and Trace Elements Content

About 2 grams of sample were put in a 30 mL porcelain crucible, which was then placed in a muffle furnace set at 550°C for 2 hours [7]. After cooling the ashes, 2 mL of chloric acid (HCl) solution were added. Then, it was heated on a hot plate at moderate temperature. Thereafter the evaporation, the sample was placed in an oven at 100°C for 1 hour. Then, 2 mL of chloric acid solution were added. Then, the crucible was rinsed, and the solution was filtered into a 100 mL flask. Following the filtration, the extract was collected for Ca, Mg, K and the trace elements (Fe, Na) determination, by using atomic absorption spectrometry. The determination of the phosphorus extract was carried out by Spectro-

colorimetry at 400 nm, after the phosphomolybdic complex development.

2.10. Fatty Acids Profile

The total fatty acids profiles were carried out at INRA, Joint Research Unit 1348, 35590 Saint-Gilles, Rennes, France. The fatty acid profiles were determined by gas chromatography (GC) method (Agilent 6890N, Bios Analytic, Toulouse, France). The chromatograph was equipped with an injector model 7683. A fused silica capillary column was used (BPX 70, 60 m x 0.25 mm, SGE, Villeneuve-St Georges, France) with a stationary polar phase of 70% cyanopropyl polysilphenylene-siloxane (0.25 μm film thickness). The flame ionization detector temperature was maintained at 260°C, and that of the injector was 250°C with a split 1:10 ratio. The gas carrier was helium, and the flow rate was constant, 1.5 mL/min. The initial oven temperature was 150°C, then increased from 1.3°C/min to 220°C, then from 40°C/min to 260°C, held at 260°C for 5 min [14].

2.11. Statistical Analysis

The data were generated by 3 replicates and submitted to an analysis of variance (ANOVA), using XLSTAT 2014. The least square means were separated according to Duncan multiple range tests in a confidence interval of 99% for the chemical analysis data, and 95% for *Borassus aethiopum* fresh fruits' parts.

3. Results and Discussion

3.1. Fruits' Parts

In normal development conditions, when there is no ovary abortion, each normal fruit contains 3 kernels. But some fruits were found to have one or two kernels only. In the aim to avoid getting hurt by the sharp knife, the small fruits were discarded. So, herein data are about the fruits containing at least 2 kernels (Table 1). The fruit sizes are still statistically much spread in a very large range, regarding Cameroun *Borassus aethiopum* fruit standards [2]. While we had an average of 1,496.02 \pm 434.42 grams per whole fruit with a coefficient of variation of 29.04%, Ali et al. [2] announced a mass of 1,324.55 \pm 86 grams for the heaviest, in Kousseri zone. Looking at our findings, their data were less dispersed.

The large range we got may be due to varied sources. 1) The tree age is important. In fact, old trees tend to bear big fruits while young trees have middle size ones. 2) Human action on environment greatly affects fruit sizes. In fact, without bushfires, trees tend to bear a large number of big fruits, while under bushfires, the fruits are less and have generally an average size. When people burn the forests, bushfires destroy some green leaves, thus reduce the tree photosynthesis ability. Since the fruits are the reserves of the synthesized organic matter, when trees metabolism is reduced, the resulted reserves are slowed down. Accordingly, the biggest fruits were collected in gardens or farms under old trees, while those collected in the wild under annual bushfires were relatively small. So, we got

some small fruits weighing 730,12 grams. 3) The gap on whole fruit mass between Kousseri (Cameroon) and Yamoussoukro (Côte d'Ivoire) may be due to the difference between these zone rainfalls. Since Kousseri is a Sahelo-Soudanian zone (latitude 12°04' North), whereas Yamoussoukro is in a transition zone between the forest and the savannah (latitude 6°49' North), it rains more in Yamoussoukro than in Kousseri, thus the fruits tend to be bigger at Yamoussoukro than those from Kousseri.

In fact, the first edible part for human nutrition is the yellow-orange colored pulp. Then after sowing the ripe fruits, with the hypocotyls, people make some flour [4]. When the peel is taken off, the pulp can be removed from the kernels. Herein results showed an important pulp mass average per whole fruit, 516.73 \pm 183 grams (Table 1a). Accordingly, this result is closed to 512 \pm 37 grams [2].

Table 1. Fruits, sepals, peel, pulp and kernels weights and their percentages (a); and Pearson correlation matrix (b) showing the correlation coefficient between the components

a. Fruits' parts					
Variable	Minimum	Maximum	Mean	SE	Cv (%)
Fruits (g)	730.12	2872.94	1496.02	434.42	29.04
Peels (g)	101.06	624.40	276.54	83.70	30.27
Pulps (g)	197.04	1207.41	516.73	182.99	35.41
Seeds (g)	262.04	1277.35	677.82	215.57	31.80
Peels (%)	5.35	30.96	18.93	4.34	22.92
Pulps (%)	23.49	66.79	34.74	5.45	15.87
Seeds (%)	29.21	58.03	45.06	5.11	11.35
b. Pearson correlation matrix					
Variables	Fruits	Peels	Pulps	Seeds	
Fruits	100				
Peels	73.80	100			
Pulps	90.54	57.55	100		
Seeds	94.72	64.71	78.26	100	

Notes: Masses are in grams (g), n=160 fruits, SE: Standard Error, Cv: Coefficient of variation, significance level $\alpha=0.05$.

This result clearly states that we can expect more than a half kilogram of pulp per normal fruit that weights 1,590 grams. Additionally, this pulp represents 34.74 \pm 4.45% of the whole fruit mass. Furthermore, the Table 1b reveals a good correlation coefficient between the whole fruit and its derived pulp mass. Indeed, the correlation coefficient (R^2) equals to 90.54%, whereas the whole fruit weight forecasts the kernels mass with more accuracy, $R^2=94.72\%$. Hence, a big fruit will allow an important pulp mass, and big seeds. On overall, in exception of the very hard seed hulls, the guinea-pigs (*Cavia porcellus*) and the rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) can eat the fresh hard white albumen and peels.

3.2. Protein (N*6.25), and Fat Content

Looking at protein content, unless the laboratory has sophisticated equipment for analysis, the nitrogen (N) content conversion factor to crude protein is 6.25 [9]. So, the drying temperature effect on the protein trend can be accurately followed through nitrogen (N) behavior (Figure 2a). The results revealed that protein content was inversely proportional to the increasing drying temperature (T). Moreover, looking at the curve shape, 2 intervals are clearly distinguishable. The first goes from 40 to 60°C and

the second from 60 to 80°C. The corresponding flow charts showed very high correlation coefficients between protein percentage and the drying temperature, those were 99.58 and 90.87% for intervals 40-60°C and 60-80°C, respectively (6), and (7).

From 40 to 60°C, an increase of 20°C induced 22.94% protein content decrease, because it dropped from 11.64 to 8.97%, and the results were significantly different ($p < 0.01$) (Figure 2a).

$$\text{Protein}(\%) = -1.3356 * T + 12.924; \quad (6)$$

$$R^2 = 99.58\%, 40 \leq T \leq 60^\circ\text{C},$$

$$-0.2762 * T + 9.294; R^2 = 90.87\% \quad (7)$$

$$60 \leq T \leq 80^\circ\text{C}$$

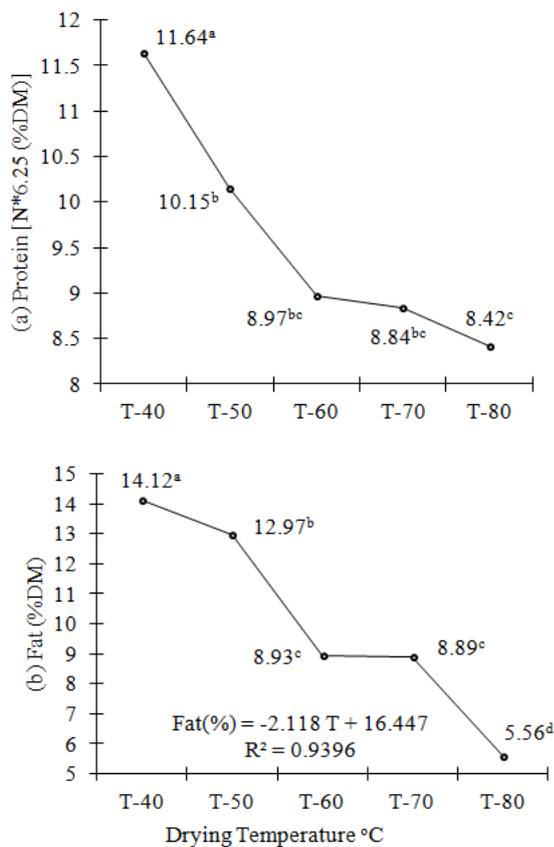


Figure 2. Drying temperature effect on (a) Protein and (b) Fat contents. Means with different superscript significantly differ, by Duncan multiple ranges test ($\alpha = 0.01$)

This trend is in accordance with [15], who argued that proteins may be subjected to denaturation under heat stress. Furthermore, this denaturation may be reversible or irreversible by cleaving hydrogen bridges, ionic and hydrophobic bonds. Likewise, [16] observed that by drying the lactic gel samples at 80, 85, 90 and 95°C, the protein proportions were 4.86, 4.71, 4.49 and 4.04%, respectively. Similarly, when heat treatment was applied to *Citrillus lanatus* seeds for its incorporation in animal feedstuffs, fat and protein contents decreased by 30% from 47.01% to 32.9%, and by 26.94% from 68.03% to 49.70%, respectively [17]. Also, due to its important protein content, the edible mushroom, *Volvariella volvacea* protein content fluctuated greatly under heat treatments [18]. So, during a roasting process, its protein content

decreased by 28.14%, from 36.06 to 22.32% [18], respectively from raw to roasted product. Herein results revealed that, from 40 to 60°C the protein denaturation rate was the highest. So, the means at 40, 50 and 60°C were significantly different ($p < 0.01$). But, beyond 60°C, the denaturation rate lowered and led to non-significant difference between means at 60, 70 and 80°C, with 8.97, 8.84 and 8.42% of protein, respectively ($p > 0.01$). Nonetheless, at higher drying heat, some more denaturation occurred, so the protein contents were less. By removing some water from the matrix, the heat may lead to some irreversible denaturation. In fact, the unfolded peptide chains may have been stabilized by interacting with other chains [15]. Due to the observed high solubility of the samples during the extractions in distilled water, 70% acetone and 70% methanol aqueous solutions [5], the heat may have caused an irreversible denaturation that destroyed the highly ordered structure [15], so leading to some conversions.

Beside the heat effect on protein, this nutrient content should be considered. Referring to the whole corn grain dried under the sun, its protein content fluctuated between 7.9 and 8.3% [19], even lower 7.2% [20]. Herein outputs ranged between 8.42 (80°C) for the lowest, and 11.64% (40°C) for the highest. So, this dried pulp exhibited a higher protein content than the whole yellow corn grain.

Concerning the fat (Figure 2b), the trend was alike protein content following the drying heat. From 40 to 80°C, for each step up of 10°C, the fat ratio dropped by 2.12% (8).

$$\text{Fat}(\%) = -2.12 * T + 16.447; R^2 = 93.96\%. \quad (8)$$

Looking at the total reducing sugars' contents (Figure 3), these decreasing reducing sugar contents alongside an increasing drying temperature agreed with [15], when they assessed the temperature dependence of some sugars' relative sweetness. Furthermore, they discovered that during the drying process, while D-Glucose content decreased, following an increasing drying heat, some new products such as fructopyranose and fructofuranose appeared. In the same way, drying Pumpkin (*Cucurbita pepo*) pulp into an oven at 45°C until reaching a constant mass, [24] observed that fructose and glucose contents decreased from 18.87 to 13.47 and from 17.77 to 12.84%, respectively, meaning some losses of 28.59 and 27.76%.

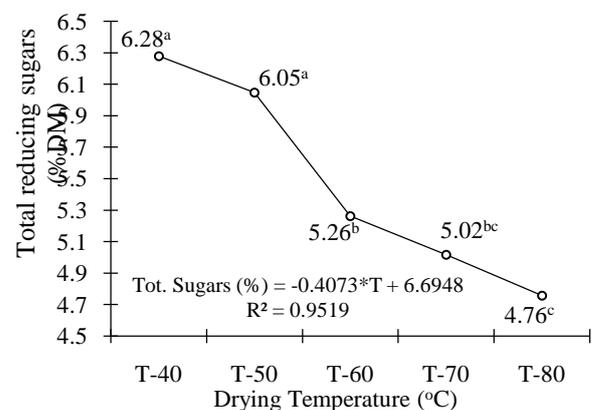


Figure 3. Drying temperature effect on total reducing sugars content on dry matter basis. Means with different superscript significantly differ, by Duncan's multiple ranges test ($\alpha = 0.01$)

In fact, these non-enzymatic browning reactions between proteins and reducing sugars are well documented [24,25]. To summarize these views, [25] stated that this non-enzymatic glycosylation or glycation is a covalent attachment of sugars to α - or ϵ -NH₂ groups of amino acids and proteins to form glycated proteins.

Therefore, when a fruit contains non-negligible content of proteins and sugars, during the drying process, the glucose reacts with the proteins. After the Amadori product rearrangements, the final products may be β -furanosyl, or β -pyranosyl [25]. Moreover, fructose can also be engaged in similar reactions, leading to fructoselysine formation [15]. Because of these combinations, the reducing sugars content decline from 6.28 to 5.26%, respectively from 40 to 60°C, and these means were significantly different ($p < 0.01$). Moreover, the outputs at 60 (5.26%) and 70°C (5.02%) were not statistically different ($p > 0.01$).

3.3. Metabolizable Energy

The metabolizable energy (ME) evaluation follows 2 methods [9]. The first one is based on the total carbohydrates, and the second is based on the available carbohydrates [9]. Due to the sensibility of the models, we selected the total carbohydrates' method, thus, the total ME. Obviously, some undigested dietary fibers may be fermented by the intestine microflora, and the resulted gases such as the carbon dioxide, hydrogen and methane may participate to intermediary metabolisms [9].

Table 2. Drying temperature effect on metabolizable energy (ME, kcal/kg(DM)) according to [9] and [10] models. Means with different superscript significantly differ, by Duncan multiple ranges test ($\alpha=0.01$)

Drying Temperature	[9] (FAO, 2003)	[10] (Fisher and McNab, 1987)
40	3,785.22±31.21 ^{ab}	3,767.67±31.21 ^{ab}
50	3,834.28±31.21 ^a	3,813.69±31.21 ^a
60	3,616.62±31.21 ^c	3,601.91±31.21 ^c
70	3,667.03±31.21 ^{bc}	3,653.04±31.21 ^{bc}
80	3,608.33±31.21 ^c	3,598.72±31.21 ^c

Mean± Standard Error

Means with different superscript significantly differ, by Duncan multiple ranges test ($\alpha=0.01$)

We assumed that, these components are useful and may participate to the whole process. The results revealed a similarity between FAO [9] and Fisher and McNab [10] methods at each drying temperature (Table 2). Assuming that, through the years, the ME assessment methods were improved with better scientific instruments, we focused on [9] model results.

Remarkably, these two models got the same tendency, and better [9] model delivered higher results. Indeed, the maximum gap of 0.54% increase was observed at 50°C, from [10] to [9] model; 3,813.69 and 3,834.28 kcal/kg (DM), respectively. Then, the remaining node gap percentages were 0.46% (3,767.67 versus 3,785.22 kcal/kg), 0.41% (3,601.91 versus 3,616.62), 0.38% (3,653.04 versus 3,667.03), and finally 0.27% (3,598.78 versus 3,608.33 kcal/kg(DM)) at 40, 60, 70 and 80°C, respectively. When we were powdering the dried products, the 40°C product was hardly crushable. Whereas, at 50°C, the pulp was

easily separated from its fibers whose were remaining relatively hard. So, at 40 and 50°C, during the sieving process, the collected powder was relatively pure, free from small broken fibers. Thus, the flour was smooth. But, at 60, 70 and 80°C, the proportion of broken dietary fiber was important. In fact, at these relative high heats, the well dried fibers were broken in small particles quite easily and passed through the sieve. As a result, at 60, 70 and 80°C the fiber proportions in the sieved products were important, the collected flour was no longer smooth. Thus, the ashes' proportions were higher at 60, 70 and 80°C, whereas they were relatively low at 40 and 50°C.

Accordingly, through the method by difference for total carbohydrate assessment [9], the ME results were relatively higher at 40 and 50°C than those of 60, 70 and 80°C products. In fact, the ash rates were lower at 40 and 50°C than those of 60, 70 and 80°C. Nevertheless, *Borassus aethiopum* pulp is very energetic, because the lowest metabolizable energy result recorded at 60°C was 3,616.62 kcal/kg. These *Borassus aethiopum* dried pulps' ME results were similar to those reported for yellow corn [17].

Indeed, [17] found that the whole yellow corn grains, containing 7.9 to 8.3% of crude protein, delivered 3,346 and 3,516 kcal/kg (DM). Also, [19] announced 3,840 kcal/kg for the whole corn grain in Brazil. So, because *Borassus aethiopum* dried pulp ME fluctuated between 3,785.22 kcal/kg at 40°C and 3,608.33 kcal/kg at 80°C, it can be a good supplement in poultry feed, as energy source. Observing the similarity between the figures (Table 2), we plotted the ME [9] on abscissas and ME [10] on ordinates. Then, we found that the derived curve (not shown) was almost a line. Furthermore, the correlation coefficient was very good ($R^2=99.97\%$) (9).

$$ME[10] = 0.9636 * ME[9] + 119.44; R^2 = 99.97. \quad (9)$$

The metabolizable energy at 40°C (3,785.22 kcal/kg) was not statistically different from those obtained at 50°C (3,834.28 kcal/kg) and 70°C (3,667.03 kcal/kg) ($p > 0.01$). But, the metabolizable energy at 50°C was higher than that obtained at 70°C ($p < 0.01$). Similarly, when [26] assessed *Borassus aethiopum* pulp proximate nutrient compositions, they reported 3,670 kcal/kg (DM).

3.4. Minerals

Since drying consists in reducing the moisture, the contents of the ingredients that were not influenced by heat increased (Table 3). Alike [4,26], we discovered that *Borassus aethiopum* pulp is very rich in calcium. In agreement with [28] findings when they worked on corn under different drying temperatures, the calcium (Ca) content increased alongside the increasing drying heat. Unlike the depression they got on phosphorus contents, our results revealed stable outputs ($p > 0.01$). Looking at phosphorus (P) content, it varied in a narrow interval, from 0.18 (40°C) to 0.16% (70-80°C), and these results were not statistically different. Similarly, to [28] observations on Ca/P ratio, Table 3 shows that the ratio significantly increased with the rising heat ($p < 0.01$). Following an unchanged phosphorus content, the increasing Ca proportion induced an increasing Ca/P ratio. Thus, from

2.79 (40°C) to 4.95% (80°C), the 77.2% increase was significant and led to different means ($p < 0.01$). This high mineral content of *Borassus aethiopum* pulp was reported [25].

Table 3. Phosphorus (P), Potassium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), iron (Fe), Sodium (Na) contents in the dried pulp on dried matter basis (%DM), and Ca/P ratio

T	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Na (ppm)	Ca/P
40	0.18	1.03	0.51 ^c	0.18 ^c	5.11	6.04 ^a	2.79 ^c
50	0.18	1.19	0.55 ^{bc}	0.19 ^c	6.18	5.87 ^a	3.04 ^{bc}
60	0.17	1.28	0.69 ^{abc}	0.25 ^{bc}	4.60	5.77 ^{ab}	4.10 ^{ab}
70	0.16	1.22	0.77 ^{ab}	0.31 ^{ab}	4.36	4.81 ^{bc}	4.71 ^a
80	0.16	1.29	0.81 ^a	0.40 ^a	3.26	4.58 ^c	4.95 ^a
μ	0.17	1.20			4.44		
δ	0.01	0.11			0.72		

Means within a column, with different superscript significantly differ, by Duncan multiple ranges test ($\alpha = 0.01$).

In 100 grams of dried product, they got 142.4 mg of K, 41.81 mg of Ca, 64.77 mg of Mg, 3.15 mg of Fe, 17.8 mg of Na, 0.82 mg of Zn, and 1.3 mg of Cu. Regarding the dried pulp nutritional quality for Ca and P, with reference to corn, [20] announced 0.01 and 0.24% for Ca and P contents in corn, respectively. So, Ca/P ratio was 4.17 [20]. Thus, when *Borassus aethiopum* ripe fruit pulp is dried between 60 and 70°C, it may be a good phosphorus source for poultry feeding. Better, its potassium (K) content is higher than that of corn, 1.20% versus 0.28% for *Borassus aethiopum* pulp and corn, respectively [19]. In fact, Table 3 shows a non-thermal dependence for K, because its increases from 1.03 (40°C) to 1.29% (80°C) were not statistically different ($p > 0.01$), giving an overall average of 0.11. Also, when [23] assessed *Raphia hookeri* fruit pulp minerals content, they reported similar important contents for Ca, K, Na, and P. For example, for raw and cooked products, they reported 0.87 and 0.8% for Ca, 1.07 and 0.67% for K, 0.02 and 0.01% for Na, and finally 0.08 and 0.06% for P. Regarding Magnesium (Mg), its importance for health issues is widely reported, due to its acts as a cofactor in many biological functions [29]. Since Mg salts are easily dissolved in water [29], by removing the water from the vegetable cells matrix during the drying process, Mg content tends to increase, giving higher averages at higher drying temperature ($p < 0.01$). As observed during *Citrillus lanatus* seeds drying [17], Mg content increased during drying. These results show that, the heat affects the palm fruit pulp chemical composition.

3.5. Fatty Acids Profile

The drying heat seriously influenced the derived dried pulp fatty acid composition (Table 4). For human nutrition, as excess saturated fatty acids (SFA) consumption causes heart coronary diseases and increase the low lipoprotein density cholesterol (LDL-C) in the blood, the foods containing an important proportion of unsaturated fatty acids are preferred [27]. In more details, lauric (C12:0), myristic (C14:0) and palmitic (C16:0) fatty acids are the main factors for LDL cholesterol increases in plasma [27]. Herein results reveal that, all the way long, the unsaturated fatty acids (UFA) contents remained higher than those of SFA. Indeed, UFA and SFA percentages were 78.67,

76.35, 77.16 and 78.50 versus 21.33, 23.65, 22.84, and 21.50 at 40, 50, 70 and 80°C, respectively. Remarkably, within this high UFA proportion, the major role was held by the monounsaturated fatty acids (MUFA), with 69.78%, 67.99%, 66.02%, and 66.57%, in the same preceded heat order. Hence, from 40 to 70°C, the MUFA gradually decreased when the heat increased. Alongside these MUFA results, the polyunsaturated fatty acids (PUFA) contents were 8.89%, 8.36%, 11.14% and 11.93%, respectively, at 40, 50, 70 and 80°C, respectively.

Calling back Lavoisier concept "nothing is lost, nothing is created, everything is transformed", a careful look at the changes alongside the increasing drying temperature showed that, MUFA contents were inversely proportional to the increasing heat. From 40 to 70°C, MUFA results lowered, whereas PUFA parts increased, except at 50°C (Table 4, Table 5). For example, from 40°C, MUFA contents decreased by 2.56, 5.39 and 4.6% at 50, 70, and 80°C, respectively (Table 5). This denaturation of MUFA is in accordance with [15] results, because they reported a decrease of Oleic acid proportion (C18:1(9)) from 45.3 to 42.9% when the soya oil was fried. Similarly, [20] observed some significant fatty acids lessening from cold to hot fat extraction. Alike, Olive oil which UFA contents are between 82.38 and 86.14% [30], can show fluctuations under different drying temperatures. Even for just 10 minutes exposure, from 180 to 220°C, [30] got 0.8% decrease of free fatty acid as percentage of Oleic acid.

Table 4. *Borassus aethiopum* mature fruit dried pulp Fatty acids profile (% of total fatty acid) under different drying temperatures, and some ratios

Fatty acids	Drying Temperature (°C)			
	40	50	70	80
Saturated fatty acids (SFA)	21.33	23.65	22.84	21.50
C12:0 - Lauric	0.35	0.18	0.19	0.14
C14:0 - Myristic	0.34	0.28	0.25	0.23
C15:0 - Pentadecanoic	0.23	0.21	0.26	0.21
C16:0 - Palmitic	16.27	16.50	16.91	15.95
C18:0 - Stearic	2.48	3.41	2.84	2.70
C20:0 - Arachidic	0.34	0.60	0.40	0.40
C22:0 - Behenic	0.32	0.83	0.59	0.58
C24:0 - Lignoceric	1.01	1.64	1.40	1.28
Unsaturated fatty acids (UFA)	78.67	76.35	77.16	78.50
Monounsaturated fatty acids (MUFA)	69.78	67.99	66.02	66.57
C16:1, n-9 - Hexadecenoic	0.33	0.31	0.41	0.41
C16:1, n-7 - Palmitoleic	5.68	5.29	4.79	4.90
C17:1 - Heptadecenoic	0.33	0.39	0.30	0.33
C18:1, n-9 - Oleic	27.46	29.04	28.10	27.54
C18:1, n-7 - Vaccenic	35.83	32.79	32.29	33.39
C20:1, n-9 - Eicosenoic	0.15	0.16	0.13	0.00
Polyunsaturated fatty acids (PUFA)	8.89	8.36	11.14	11.93
C18:2, n-6 - Linoleic	3.04	3.37	2.63	2.56
C18:2, n-7 - Linolenic	3.08	1.92	2.67	2.63
C18:3, n-3 - Linolenic	2.77	3.08	5.85	6.75
n-6/n-3	1.10	1.10	0.45	0.38
MUFA/SFA	3.27	2.87	2.89	3.10
PUFA/SFA	0.42	0.35	0.49	0.55
UFA/SFA	3.69	3.23	3.38	3.65

Table 5. Variations in fatty acid contents (%DM) according to the drying temperature

Fatty acids	Drying Temperature (°C)			
	40	50	70	80
MUFA	69.78	67.99	66.02	66.57
Variation from 40°C (%)	0	-2.56	-5.39	-4.6
C16:1, n-7 - Palmitoleic	5.68	5.29	4.79	4.90
Variation from 40°C (%)	0	-6.87	-15.67	-13.73
C18:1, n-7 - Vaccenic	35.83	32.79	32.29	33.39
Variation from 40°C (%)	0	-8.48	-9.88	-7.21
C18:3, n-3 - Linolenic	2.77	3.08	5.85	6.75
Variation from 40°C (%)	0	+11.19	+111.19	+143.68

For an adaptation of the fungi *Neurospora crassa*, and *Paecilomyces persicinus* to their living environments, [31] discovered that their polyunsaturated fatty acid contents decreased when the living medium temperature increased. Specifically, Linoleic (C18:2), and Linolenic (C18:3) acid contents decreased by 7 and 19% for *Neurospora crassa*, and by 35.9 and 10.8% for *Paecilomyces persicinus*, respectively [31]. In contrary, in the aim to keep the cell membrane fluidity, the monounsaturated (C18:1) fatty acid content increased, by a hydrogenation process in these fungal organisms [31].

But, when it comes to a drying process, it is about a desaturation. So, two hydrogen and one oxygen atoms (H₂O) from a fatty acid are removed, and a carbon-carbon double bond is created. Consequently, herein, Linolenic (C18:3, n-3) fatty acid content increased gradually by 11.19, 111.19 and 143.68%, from 2.77% (40°C) to 3.08% (50°C), 5.85% (70°C) and 6.75% (80°C), respectively (Table 5).

These Linolenic acid (C18:3, n-3) increases may be due to Palmitoleic (C16:1, n-7) and Vaccenic (C18:1, n-7) acids decrease. In fact, from 40 to 50, 70 and 80°C, these acid contents lessened by 6.87, 15.67, 13.73 and 8.48, 9.88, 7.21% for Palmitoleic (C16:1, n-7) and Vaccenic (C18:1, n-7) acids, respectively. These results agree with [22] conclusion for the unsaturated fatty acids such as Oleic, and linoleic acids. With consistency, under an increasing heat stress, these unsaturated fatty acid contents decrease [22].

3.6. Ratio n-6/n-3

The coronary heart diseases may be related to an inappropriate imbalance between n-6 and n-3 fatty acids, by increasing thrombotic and inflammatory states [31]. Additionally, [31] notified that, the lack of n-3 leads to hypertension, and immune disorders. Similarly, [12] summarized that a high n-6/n-3 ratio should be avoided. Moreover, because no trouble has been associated with a high content of n-6 [12], then the meals should have important n-3 contents. Table 4 shows that, when n-6 content was decreasing, that of n-3 was increasing. As a result, n-6/n-3 ratio quickly decreased, from 1.1 (40-50°C) to 0.45 and 0.38 at 70 and 80°C, respectively.

4. Conclusion

The nutritional value of *Borassus aethiopicum* Mart mature fruit dried pulp is highly influenced by the drying temperature. In fact, it is due to its high content of sugars (6.28% and 5.02%), fat (14.12% and 8.89%), proteins (11.64%, and 8.84%), respectively at 40 and 70°C. During drying, covalent bonds of sugars to α - or ϵ -NH₂ groups of amino acids and proteins were formed, and led to glycated proteins. Hence, both protein and reducing sugars contents decreased. In addition, because of its high percentage of unsaturated fatty acid ($\geq 76.35\%$, which is the lowest at 50°C), this pulp may be helpful for an eventual palm oil (*Elaeis guineensis*) enrichment, because that one has too much saturated fatty acids. Moreover, drying did seriously improve the product nutritional quality by depressing the n-6/n-3 ratio. Finally, the dried pulp is highly energetic because it delivers more than 3,600 kcal/kg. Thus, dried at 70°C, *B. aethiopicum* dried pulp may be an important energy source for poultry nutrition.

Acknowledgements

The authors are grateful to Lacina Traoré, from Côte d'Ivoire, Ph.D student at Huazhong Agricultural University, Wuhan, China, E-mail: anical27@yahoo.fr, and Mamadou Gandeka, from Guinea (Conakry), Ph.D student at Fujian Agricultural and Forestry University, Fujian, China, E-mail: mgandeka@yahoo.fr, for kindly providing some discussion materials, and revising the manuscript.

References

- [1] Giffard P. L. (1967). Le Palmier Rônier *Borassus aethiopicum* Mart, *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, 116: 3-13.
- [2] Ali A., Tchiegang C., Alhadji D., Saidou C., and Mohamadou B. A. (2010a). Drying the African Palm Tree (*Borassus aethiopicum* Mart) Fruits in View of Producing Edible Flour. *Journal of Food Technology*, 8(5):211-216.
- [3] Mollet M. (1999). L'utilisation Durable des Palmiers *Borassus aethiopicum*, *Elaeis guineensis* et *Raphia hookeri* pour l'Extraction de Vin de Palme en Côte d'Ivoire, 83 pages.
- [4] Ali A., Alhadji D., Tchiegang C., and Saidou C. (2010b). Physico chemical properties of palmyra palm (*Borassus aethiopicum* Mart) fruits from Northern Cameroon. *African Journal of Food Science*, 4(3): 115-119.
- [5] Tihou T., Yao N. J. C., Brou Y. C., and Adima A. A. (2017). Drying Temperature Effect on Total Phenols and Flavonoids Content, and Antioxidant Activity of *Borassus aethiopicum* Mart Ripe Fruits' Pulp. *Journal of Food Research*, 6(2): 50-64.
- [6] Chauvin N. D., Mulangu F., and Porto G. (2012). Food Production and Consumption Trends in Sub-Saharan Africa: Prospects for the Transformation of the Agricultural Sector, WP 2012-011, 76 pages.
- [7] AOAC (Association of Official Analytical Chemists), Official Methods of Analysis, Agricultural Chemicals, Contaminants, Drugs, volume 1, 15th Edition, 1990, pp.771.
- [8] Chang S. K. C. (2010). Protein analysis in Food analysis, Nielsen S. S., Springer, 4th edition, pp: 133-146.
- [9] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2003). Food Energy - Methods of Analysis and Conversion Factors, Report of a Technical Workshop, Rome, 3-6 December 2002, Food and Nutrition, paper 77, 93 pages.

- [10] Fisher C., and McNab J. M. (1987). Techniques for Determining the Metabolizable Energy (ME) Content of Poultry Feeds. In *Recent Advances in Animal Nutrition*, Haresign W., J. A. D. Cole (eds), Butterworths, London, 3-18.
- [11] Bertrand G., and Thomas P. (1919). *Guide pour les Manipulations de Chimie Biologie*. 3e edition, Dunod H. et Pinat E., Paris, 468 pages.
- [12] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nation), (2010). *Fats and Fatty Acids in Human Nutrition*, Report of an Expert Consultation, Food and Nutrition, paper 91, 180 pages.
- [13] Dubois M., Gilles K. A., Hamilton J. K., Rebers P. A., and Smith F. (1956). Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances, *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356
- [14] Legrand P., Beauchamp E., Catheline D., Pédrone F., and Rioux V. (2010). Short chain saturated fatty acids decrease circulating cholesterol and increase tissue PUFA content in the rat, *Lipids*, 45(11), 975-86.
- [15] Belitz H. D., Grosch W., and Schieberle P. (2004). *Amino Acids, Peptides, Proteins in Food Chemistry*, 3rd revised Edition, Springer, 8-91.
- [16] Anwer M., Ahmad S., Sameen A., and Ahmed S. (2013). Effect of Different Heating Temperatures on the Rheological Properties of Lactic Gel made from Buffalo Milk, *Journal of Food Chemistry and Nutrition*, 01(01), 33-41.
- [17] Milala M. A., Luther A., and Burah B. (2018) Nutritional Comparison of Processed and Unprocessed *Citrillus lanatus* (Watermelon) Seeds for Possible Use in Feed Formulation, *American Journal of Food and Nutrition*, 6(2), 33-36.
- [18] Asamoah A. A., Essel E. A., Agbenorhevi J. K., and Oduro I. N. (2018). Effect of Processing Methods on the Proximate Composition, Total Phenols and Antioxidant Properties of Two Mushroom Varieties, *American Journal of Food and Nutrition*, 6(2), 55-59.
- [19] Dale N., and Jackson D. (1994) True Metabolizable Energy of Corn Fraction, *Journal of Applied Poultry Resource*, 3, 179-183.
- [20] Bellaver CZanotto., D. L., Guidoni A. L., and De-Brum P. A. R. (2004) Metabolizable Energy and Amino Acids Relationships with the Soluble Fractions of Protein and Fiber of Vegetable Feed Ingredients, *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(6), 2274-2282.
- [21] Barbut S., and Youssef M. K. (2016) Effect of Gradual Heating and Fat/Oil Type on Fat Stability, Texture, Color, and Microstructure of Meat Batters, *Journal of Food Science*, 00(0), C1-C7.
- [22] Murugesu S., Ariffin A. A., Ping T. C., and Chern B. H. (2013) Physicochemical Properties of Oil Extracted from the Hot and Cold Extracted Red Pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) Seeds, *Journal of Food Chemistry and Nutrition*, 01(02), 78-83.
- [23] Edem D. O., Eka O. U., and Ifon E. T. (1984) Chemical Evaluation of the Nutritive Value of the Raffia Palm Fruit (*Raphia hookeri*), *Food Chemistry*, 15, 9-17.
- [24] Priccina L., and Karklina D. (2014) Determination of Major Sugars in Fresh and Dried Spices and Vegetables using High Performance Liquid Chromatography, *Foodbalt*, 198-201.
- [25] Friedman M. (1996) Food Browning and Its Prevention: An Overview, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(3), 631-653.
- [26] Oryema C., and Oryem-Origa H. (2016) Analysis of the Fresh Pulps of *Borassus aethiopicum* Fruits of Gulu District, Uganda, *American Journal of Food and Nutrition*, 4(6), 177-181.
- [27] Williams C. M. (2000) Dietary Fatty Acids and Human Health, *Annales de Zootechnie*, 49, 165-180.
- [28] Rojas-Molina I., Gutiérrez E., Rojas A., Cortés-Álvarez M., Campos-Solís L., Hernández-Urbiola M., Arjona J. L., Cornejo A., and Rodríguez-García M. E. (2009) Effect of Temperature and Steeping Time on Calcium and Phosphorus Content in Nixtamalized Corn Flours Obtained by Traditional Nixtamalization Process. *Cereal Chemistry*, 5, 16-521.
- [29] Jahnen-Dechent W. and Ketteler M. (2012) Magnesium basics, *Clinical Kidney Journal*, 5[Suppl 1]: i3-i14.
- [30] Li X., Bremer G. C., Connell K. N., Ngai C., Pham Q. A. T, Wang S., Flynn M., Ravetti L., Guillaume C., Wang Y., S. and Wang C. (2016) Change in chemical composition of Olive oil under different heating temperature similar to home cooking, *Journal of Food Chemistry and Nutrition*, 04(01), 07-15.
- [31] Neidleman S. L. (1987) Effect of Temperature on Lipids Unsaturation, *Journal of Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 5, 245-268.

Annexe 2

Tiho T., N. J. C. Yao, Y. C. Brou, A. A. Adima (2017) Drying Temperature Effect on Total Phenols and Flavonoids Content, and Antioxidant Activity of *Borassus aethiopum* Mart Ripe Fruits' Pulp; *Journal of Food Research*, 6(2), 50-64 doi:10.5539/jfr.v6n2p50

Drying Temperature Effect on Total Phenols and Flavonoids Content, and Antioxidant Activity of *Borassus aethiopum* Mart Ripe Fruits' Pulp

Tagou ðb èTiho¹, N'guessan J. C. Yao², Yao C. Brou³ & Amissa A. Adima²

¹Laboratory of Animal Science, Department of Agriculture et Animal Resources, National Polytechnic Institute Félix Houphouët Boigny (INP-HB), Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Laboratory of Industrial Processes, Synthesis, Environment and New Energies, National Polytechnic Institute Félix Houphouët Boigny (INP-HB), Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

³Laboratory of Agronomy, Department of Agriculture and Animal Resources, National Polytechnic Institute Félix Houphouët Boigny (INP-HB), Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Correspondence: Tagou ðb èTiho, Laboratory of Animal Science, Department of Agriculture and Animal Resources, INP-HB, P.o.Box 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire. Tel: 225-0587-3114. Email: tihotag@gmail.com

Received: January 14, 2017

Accepted: February 21, 2017

Online Published: March 2, 2017

doi:10.5539/jfr.v6n2p50

URL: <http://dx.doi.org/10.5539/jfr.v6n2p50>

Abstract

We assessed the total phenols content (TPC) by Folin-Ciocalteux method, total flavonoids content (TFC), and antioxidant activity (AOA) using ABTS radical cation of *Borassus aethiopum* Mart ripe fruits; uniquely its pulp was considered. Fresh and dried at 40, 50, 60, 70 and 80°C pulps were analyzed, through maceration and decoction, and distilled water (DW), aqueous acetone (DW+Aceto, DW/acetone, 30/70, v/v) and aqueous methanol (DW+Meth) prepared in the same way were used. Though 80°C product extracted through decoction delivered the highest extracts of TPC with DW, DW+Aceto and DW+Meth, 654.434, 780.066 and 729.934 mg GAE/g respectively; we could not retain it as the best. Very likely, the sugars were caramelizing and the derived product had an intense brown color. Whereas, at 70°C, TPCs were 447.866, 337.334 and 327.066 mg GAE/g, respectively, by decoction and in the same above solvents order. The best extract obtained with DW was statistically different from that of DW + Aceto and DW + Meth, which were not significantly different from each other, with Duncan least squares means comparison test in a confidence interval of 99%. The corresponding TFCs and AOAs were (59.34, 68.34, and 51.66 mg QE/g) and (0.4404, 0.52088, and 0.6524 µmol TE/g). The flour has a nice chocolate color. Except 60°C, an increase of the drying temperature led to a rising amount of TPC. Taking each factor, the extraction mode and drying temperature were main effects for extracts ($p < 0.0001$). The overall regression analysis showed significant correlation coefficient between TPC and AOA, with $R^2=0.8394$.

Keywords: ABTS, antioxidant activity, *Borassus aethiopum* Mart, flavonoids, Folin-Ciocalteux, phenols

1. Introduction

Among the agricultural products, the grains such as corn, rice, sorghum, millet and some leguminous whose group peas, beans and soya have a very low water content at physiological maturity. In contrary a lot of agricultural products are bulky with very high water content; among those are yams, cassava, potatoes, and a large variety of fruits. Subsequently, due to their high water content they are very perishable (Ali, Alhadji, Tchiegang, & Saidou, 2010a). So in the aim to reduce this perishability and enhance their shelf life, in natural conditions considering ambient humidity and temperature, the drying methods are being used since antiquity. Indeed, according to Ali et al. (2010a) drying contributes to reduce weight and ease transport. Conversely, drying is a trade-off between the enhancement of the shelf life and the nutritional quality of the derived dried food. Many fruits are qualified to be very rich in various vitamins such as A, B, C, and others (Ali et al., 2010a). Most of these vitamins can't be synthesized by human being organism, whereas though they are crucially important for a good metabolism. Unfortunately, many of these micronutrients are denatured by heat. Regarding vitamin C, at 50, 60 and 70°C the phytochemical losses were 69.1, 80, and 86% respectively (Veras, Bettega, F. Freire,

Barrozo, & J. Freire, 2012). In the same way, Mkandawire, Manani, Mkabambe and Phiri (2016) realized that compare to 15°C, storing processed mango juice at 30°C led to higher losses in vitamin C.

Beside the phytochemical vitamin C, phenolic compounds are known to have important health benefits. For instance, Karaca and Newman (2015) shown that natural phenolic compound from plants contain major antimicrobial components, thus contribute to control foodborne pathogens. In contrary to heat depressive effect on vitamin C, by changing the heating temperature and its duration, Jeong et al. (2004) demonstrated that antioxidant activities and total phenolic content of citrus peel can change increasingly following the temperature elevation in certain drying temperature and heat duration interval. As an illustration, compared to non-heat treated control, heat treatment of citrus peels at 150 °C for one hour increased the total phenols content (TPC), and radical scavenging activity (RSA) of 70% ethanol extract from 71.8 to 171.0 micromole tannic acid equivalent per millilitre ($\mu\text{mol TAE/ml}$) (138.18%), and from 29.64 to 64.25% (116.77%) of inhibition, respectively.

So, we may think that higher temperature may lead to higher values of TPC and RSA. In contrast, working with Litchi fruit pericarp tissues at 25, 35, 45, 55 and 65 °C, Ruenroengklin et al. (2008) showed that the heating interval from 45 to 60 °C exhibited a relatively high antioxidant activity. Importantly, when people are looking for polyphenols source by eating potatoes, Lachman, Hamouz, Sulc, Orsak and Dvorak (2008) proved that compare to yellow-fleshed, purple-fleshed potatoes should be preferred. In brief, this finding revealed the importance of raw material colour at maturity as polyphenols potential source. Interestingly, Dantas et al. (2016) confirmed that during the ripening period, total chlorophyll content declines when polyphenols compound content such as carotenoids increases, leading to an improvement of total antioxidant activity.

In fact, beside common agricultural products, the contribution of non-timber forest products (NTFP) to rural populations' wellbeing is getting more and more important (Dantas et al. 2016). In addition to the traditional medicine benefits, *Borassus aethiopum* fruits contribute greatly to poverty alleviation (Ali et al., 2010a; Ali, Fadimatou, Tchiegang, Saidou, & Adji, 2010b; Ali, Tchiegang, Alhadji, Saidou, & Mohamadou, 2010c). They mentioned that, in West Africa, all part of *B. aethiopum* Mart trees is used. Additionally, its fruits provide an abundant yellow-orange fibrous pulp that rural people cook for porridge. Furthermore, these fruits' kernels can be sowed in grumble sand, and then the germinating shoots are harvested 6 to 8 months later, dried to make edible flour, as illustrated by Barminas et al. (2008).

Due to the revealed importance of orange, purple or yellow coloured foodstuffs, known as important sources of polyphenols (Lachman et al., 2008; Dantas et al., 2016), whilst we didn't come across of a paper on the drying temperature impact on Palmira palm pulp nutritional value, we assessed *B. aethiopum* mature fruits pulp nutritional quality under different drying temperatures. So, the hypothesis investigated in this paper was that the drying temperature can affect total phenols and flavonoids content, thus the antioxidant activity of *Borassus aethiopum* Mart ripe fruits' pulp. This investigation aims to ascertain the best drying temperature that leads to the highest nutritional value in terms of total phenols and total flavonoids content, thus the best antioxidant activity. Alongside these direct assessments on TPC, TFC and AOA, an implicit question was "is product, solvent or extraction a main effect for the extracts?". This result may be useful to small and middle size companies which could promote the uses of *B. aethiopum* Mart dried pulp in human nutrition for its nutritional health benefits.

2. Materials and Methods

2.1 Samples Preparation

Firstly, daily fallen *B. aethiopum* Mart ripe fruits were collected in the garden of the graduate school of agriculture, at National Polytechnic Institute Felix Houphouët Boigny in Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). They were sorted, undamaged by falling choc and unspoiled were kept for two or three days more in the laboratory at room temperature. During this short storage period, the yellowish hard skin softens a bit. Secondly, the sepals were taken off, and the fruits were washed with fresh water to eliminate all impurities. Then, using a sharpened knife, the fruits were peeled. The kernels were separated, and finally the fibrous pulp was removed. Thirdly, the obtained pulp was dried into oven at different temperatures (40, 50, 60, 70 and 80°C) until reaching an unchanged weight evolution, meaning the pulp could not release any more water. The pulp was laid thinly on the perforated aluminium tray, then it needed 8, 7, 6, 5 and 4 days for reaching the constant weight, respectively, from the lowest to the highest drying temperature. Using a traditional wooden mortar, the samples were crushed just after taking them out of oven. Therefore, they were powdered and with a laboratory test sieve (Iso 3310-1BODY 36 LMESHs-Steel / RF S/N 04003699, Body = 200 mm x 50 mm) the fine powder was separated from the big particles. The fine dried pulp was collected, placed in dark plastic bags in accordance with the drying temperature, and kept in dry places at room temperature, out of light until analysis.

2.2 Solvents Preparation and Extractions

Before extraction, for dried products, about 2 grams of each sample were reheated at their previous drying temperature for one hour in order to remove the humidity. Thereafter, they were cooled in a silica gel bottle for 30 minutes for water vapours cleaning. Finally, one gram (fresh or dried) was used for one extraction. Three solvents, which were distilled water (DW), analytic Methanol solution (DW/Meth, 30/70, v/v) (DW+Meth), and analytic Acetone solution (DW+Aceto) formulated in the same way, were made following Jeong et al. (2004) approach. Also, when Karimi, Min, Brownmiller and Lee (2015) checked for the best solvent and water mixing ratio for total phenols and scavenging activity assessments, they came to the conclusion that 60/40 and 80/20 delivered the highest extracts. Furthermore, these extracts were not significantly different. So, we decided to stay in the middle by using a mixing ratio of 70/30. Regarding the extraction methods, the decoction and the maceration were performed. Firstly, the maceration was performed by putting 1 gram of the sample in a 50 ml flask container and poured 20 ml of solvent. A magnetic agitator was immersed in the solution, and the flask was therefore put on an electric agitator. The container was closed to avoid evaporation, and the extraction lasted 8 hours. Using combed cotton, the solution was filtered. Secondly, for the decoction, a closed circuit system was made by adding a cooling system on a heating one. As the previous method, the same preparation was done, and the flask was heated at 100°C for 30 minutes on an electric furnace. Just after, the heater was turn off and removed under the flask. Then, the solution was kept on the cooling system for some additional 30 minutes to collect the last drops. To end, the decoction was filtrated.

2.3 Spectrophotometric Determination of Total Phenols

The method of Wood, Senthilmohan and Peskin (2002) was used for the determination of total phenols. A volume of 2.5 ml of Folin-Ciocalteu reagent diluted to one-tenth was added to 30 µl of the extract. The mixture was kept for 2 minutes in the dark at room temperature, then 2 ml of sodium carbonate solution (75g/l) were added. Then the mixture was placed for 15 minutes in a water bath at 50 °C and then quickly cooled. The absorbance was measured at 760 nm, using a UV-visible spectrophotometer (Shimadzu UV-1601 PC, Kyoto, Japan), with distilled water as a blank. A calibration curve ($R^2=0.9607$) was performed with Gallic acid at different concentrations (Figure 1). The assays were performed in triplicate and the total phenols content was expressed as gram Gallic acid equivalent per litre (g GAE/l) of extracts. In details, from 1g of a given product (fresh or dried) in 20 ml of solvent during the maceration or decoction, we had 1.5mg of the product in 4.53ml of Folin-Ciocalteux and sodium carbonate solution. The obtained results through the spectrophotometer can be converted into gram Gallic acid equivalent per gram of sample (g GAE/g) by multiplying by a factor of 3.02 (4.53ml/1.5mg), where 4.53ml is the final medium volume used for analysis and 1.5 mg is the weight of the sample in the medium.

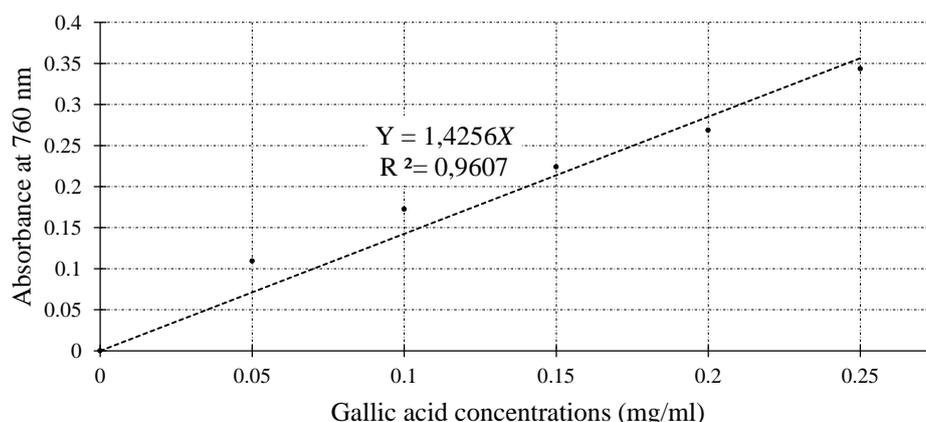


Figure 1. Calibration curve with Gallic acid at different concentrations for Polyphenols content determination

2.4 Spectrophotometric Evaluation of Total Flavonoids

The determination of total flavonoids was performed according to the method described by Marinova, Ribarova and Atanassova (2005). In a 25 ml flask, 0.75 ml of sodium nitrite (NaNO_2) at 5% (w/v) was added to 2.5 ml of extract. To the mixture, 0.75 ml of aluminium chloride (AlCl_3) at 10% (w/v) was added and then the whole was incubated for 6 minutes in the dark. Thereafter, 5 ml of sodium hydroxide (1N, NaOH) were added, and the

volume was completed to 25 ml. The preparation was vigorously shaken prior to assay of total flavonoids evaluation at 510 nm UV-visible spectrophotometer. A calibration curve ($R^2=0.9976$) was performed with Quercetin at different concentrations (Figure 2). The total flavonoids content was expressed in gram quercetin equivalent per litre of extract (g QE/l). The tests were performed in triplicate, on fresh or dried Pulp from 40 to 80°C. The results can be converted into gram Quercetin equivalent per gram of sample (g QE/g) by multiplying by a factor of 0.2 (25ml/125mg), where 25ml is the final medium volume used for analysis and 125mg is the weight of the sample in the final medium.

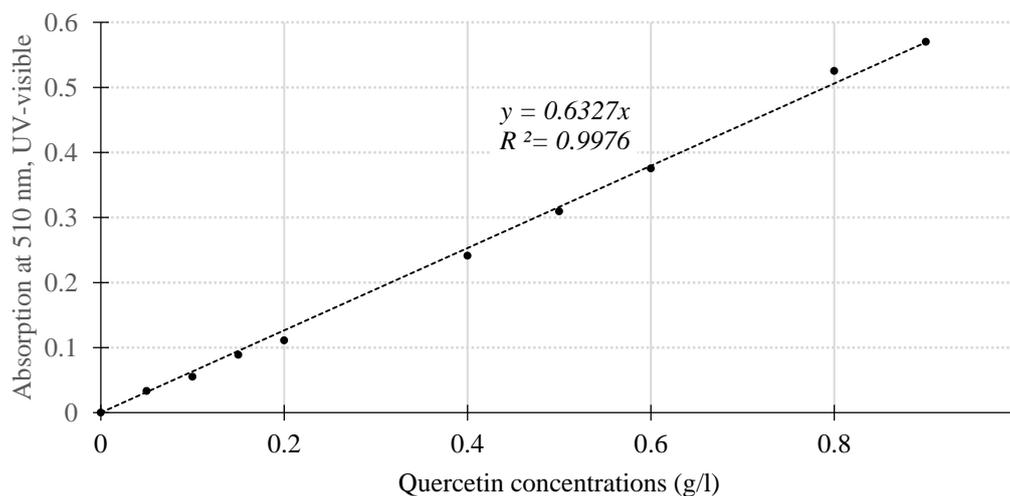


Figure 2. Calibration curve with quercetin at different concentrations, for Total Flavonoids Content determination

2.5 Evaluation of Antioxidant Activity

The antioxidant activity (AOA) was performed according to the method described by Teow et al. (2007). The radical cation $ABTS^{*+}$ was produced by reaction of 8 mM. ABTS (87.7 mg in 20 ml of distilled water) and 3 mM of potassium persulfate (0.0162 g in 20 ml distilled water) in a ratio 1:1 (v/v). The mixture was then incubated in the dark at room temperature for 12-16 hours. This $ABTS^{*+}$ solution was diluted with methanol to obtain a solution whose absorbance was 0.7 ± 0.02 at 734 nm. Thus, 3.9 ml of diluted $ABTS^{*+}$ solution was added to 100 μ l of the extract. After shaking, the mixture was incubated for 6 minutes in the dark ($T=30 \pm 2$ °C). The residual absorbance of the radical $ABTS^{*+}$ was then measured at 734 nm by visible-UV spectrophotometer and should be between 20% -80% of the absorbance of the blank. The tests were performed in triplicate and the results were expressed in micromole Trolox equivalent per litre (μ mol TE/l) of extract. The results can be converted into micromole Trolox equivalent per gram (μ mol TE/g) of sample extract by multiplying by a factor of 0.8 (4ml/5mg), where 4 ml is the final medium volume used for analysis and 5 mg is the weight of sample in this solution. The activity of the compounds is expressed as Trolox equivalent (TE), corresponding to the concentration of Trolox, thus, the higher the TE value is, the higher the antioxidant is effective. For a calibration curve (Figure 3, $R^2=0.9961$), the following concentrations of Trolox: 0.375; 0.5; 0.625; 1; 1.125; 1.375; and 1.5 μ mol were prepared and the rate of inhibition I (%) $ABTS^{*+}$ was expressed as follows:

$$I(\%) = \frac{[(Abs)_{Control} - (Abs)_{Extract}]}{(Abs)_{Control}} * 100 \quad (1)$$

Where: $Abs_{Control}$ is the diluted ABTS absorbance, $Abs_{Extract}$ is the diluted ABTS + Sample absorbance.

$$\text{Extract concentration or Extract antioxidant activity} = (I(\%) * DF) / 4.9901 \quad (2)$$

The number 4.9901 stands for the slope of the standard Trolox line, and DF is the dilution factor.

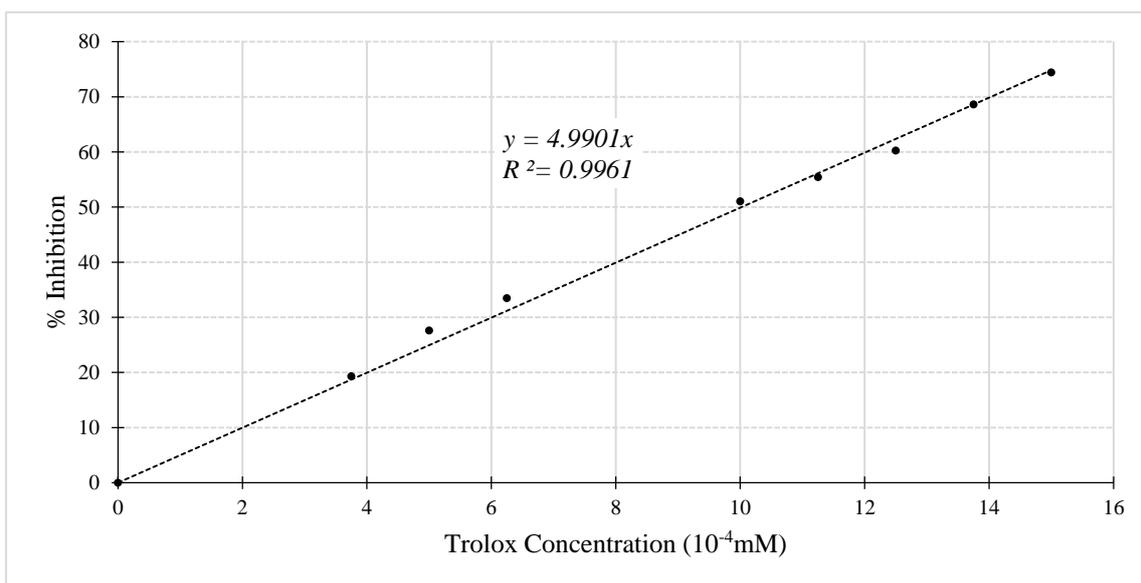


Figure 3. Calibration graph of Inhibition percentage related to Trolox concentration (10⁻⁴ mM) for antioxidant activity determination

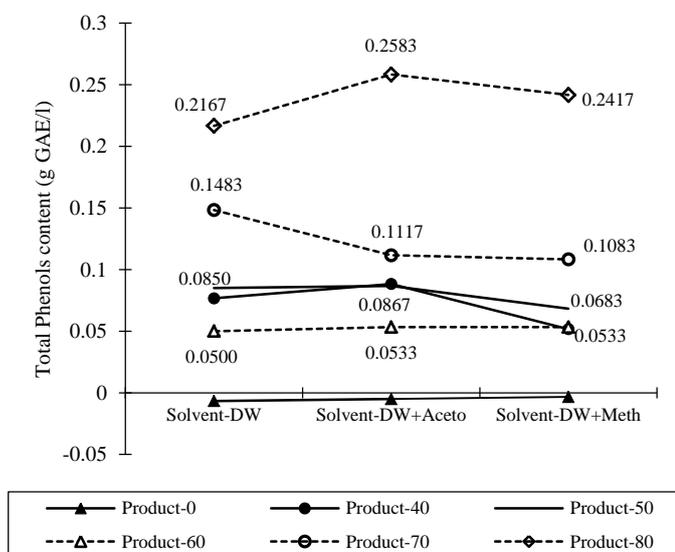
2.6 Statistical Analysis

The data were submitted to a factorial analysis of variance (Two-ways, ANOVA), using XLSTAT 2014. The least squares means were separated according to Duncan’s multiple range tests in a confidence interval of 99%. The results were given in terms of interaction between two factors effect on the extracts.

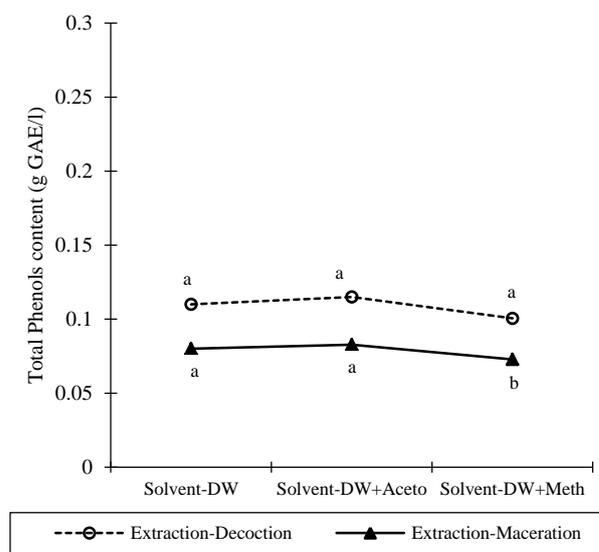
3. Results and Discussion

3.1 Total Phenols

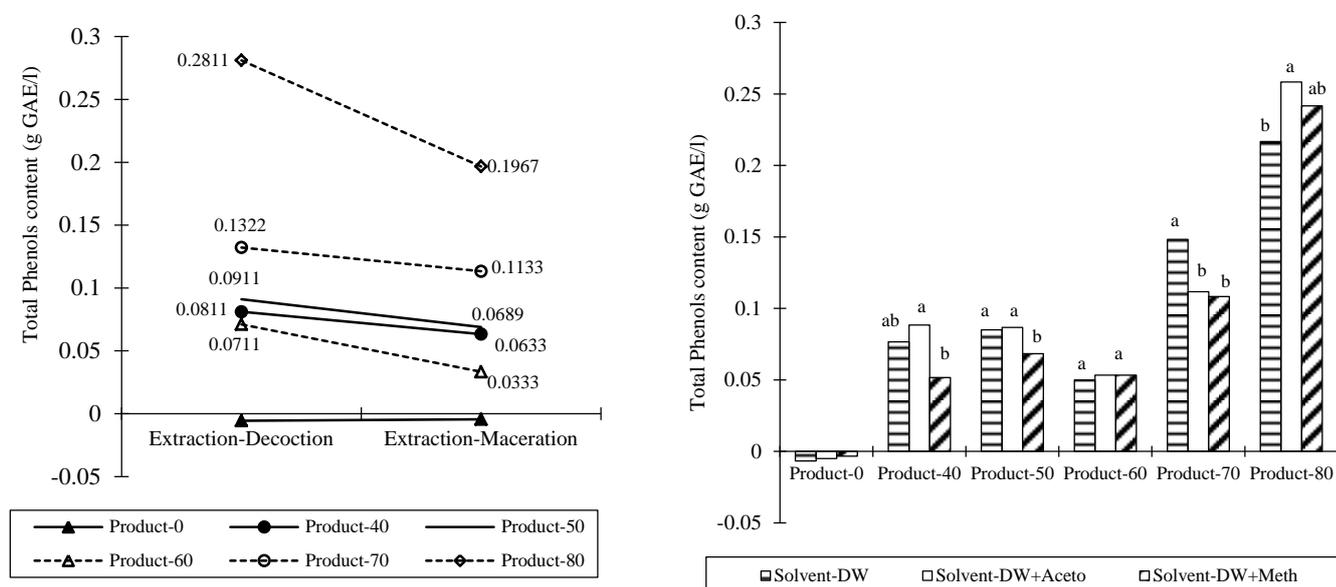
According to Marinova et al. (2005), polyphenols are a large group of phytochemicals in edible fruits. Additionally, Khadem and Marles (2010) reported that polyphenols molecule may have one aromatic ring, thus one phenol, or more leading to polyphenols. The changes observed from fresh pulp (product 0) to hot controlled air drying effect on the pulp are delivered on Figure 4.



a.) Interaction between Product and Solvent



b.) Interaction between Extraction and Solvent



c.) Interaction between Product and Extraction

d.) Interaction between Solvent and Product

Figure 4. Factors interaction analysis between extraction modes (maceration, decoction), solvents (DW, DW+Meth, DW+Aceto) and Products (Fresh (0), 40, 50, 60, 70, 80°C) on Polyphenols content (g GAE/l). Different letters within a given product mean statistical difference by Duncan's multiple ranges at $p \leq 0.01$ (Figure 4. b, d)

Using DW, DW+Meth and DW+Aceto as solvents on the first hand, the maceration and decoction as extraction modes on the second hand, no polyphenols compounds were found in the fresh pulp (Figure 4. a, c, d). Nonetheless this uncanny result, it doesn't mean the fresh pulp has no polyphenols effectively. In fact, even though the polyphenols, belonging to cell vacuoles, are said to be water soluble, Wood et al. (2002) recalled that some flavonoids can bind to proteins. Moreover, they came to the point that basic medium (pH=8) is potent than distilled water and acidic medium as solvents for polyphenols extraction. Simultaneously, the 30 μ l of the extract used for the assessment of total polyphenols may be too little, because of the high water content in the fresh product. Due to the high content of protein in *Elaeis guineensis* pulp between, this may be the reason why Rodríguez et al. (2016) used 50 μ l of the extract for total phenols assessment, instead of 30 μ l, on raw sample. They extracted 0.263 mg GAE/g on fresh hybrid palm oil. The palm yellow or yellow-orange colour fruits may contain an important amount of polyphenols. For instance, Gil, Francisco, Barberan, Pierce and Kader (2002) extracted important amounts of polyphenols from fresh fruit fleshes. In arctic star white and red jim flesh, they extracted 0.154 and 0.415 mg GAE/g respectively; demonstrating that the colour is a key factor. Equally important, some colourful foodstuff pulps such as yellow or purple fleshed sweet potatoes exhibit very good amount of phenols. In this case, Karin yellow flesh exhibited 3.44 and valfi purple flesh 4.81 mg GAE/g (Lachman et al., 2008). In addition, cactus pear fruits' pulp, *Opuntia ficus-indica*, has 0.892 for the purple colour and 0.698 mg GAE/g for the yellow one on fresh matter (Albano et al., 2015). Working on Nectarine, Peach, and Plum, Gil et al. (2002) came to the conclusion that peels generally contain more total phenols than fleshes. Considering red jim, they got 1.403 in peels and 0.415 mg GAE/g in flesh. Similarly, at a fully ripe stage, *Tacinga inamoena* showed 3.4895 in peels and 0.2867 μ g/g in pulp for total carotenoids content (Dantas et al., 2016). For coloured fruits, the natural barriers between the content and the atmosphere, the peels exhibit better total phenols content than the pulps.

Also, according to Saleh, Tawfik and Tarboush (2011), phenols content determined by Folin-Ciocalteu method could be affected by protein, ascorbic acid, and reducing sugars in the medium. Indeed, Ali et al. (2010c) found that *B. aethiopicum* Mart pulp contains more than 0.22 g of total sugars, 0.04 g of crude protein, and an important amount of ascorbic acid (vitamin C) in a gram of either fresh or dried pulp at 40°C during 48 hours. Again, Vijayakumari, Vengaiyah and Kiranmayi (2014), replicating Ali et al. (2010c) experiment on *B. flabellifer* pulp powder in Asia, found 0.225 g of total sugars, 0.0124 g of protein, and 0.016 mg of ascorbic acid in a gram of dried pulp. So, in the working conditions, total phenols assessment could have been severely affected. Thus the

conditions were not met for polyphenols extraction on *B. aethiopum* fresh pulp (Product-0).

On dried products, looking at the interaction between the solvents and the products (Figure 4. a, d), from 40 to 60°C, numerical differences were observed, and these results were sometimes significantly different at Duncan multiple means comparison at 99% interval of confidence, in a given product. At 40°C, the maximum extract was obtained in DW+Aceto with 0.0883 (266.667), then it dropped to 0.0867 (261.834) at 50°C and ended at 0.0533 g GAE/l (160.966 mg GAE/g). Similarly, when *M. oleifera* seeds were dried around 50 and 55°C, extracted with aqueous methanol (their best solvent extractor), total phenols extracts were 49.53 mg GAE/g (Singh, Negib, & Radha, 2013), which were 4.16 times lower than *B. aethiopum* extracts at 50°C in DW+Meth (0.0683 g GAE/l, 206.266 mg GAE/g), the worst extractor. Singularly, the 60°C product line (Figure 4. a), resulting from solvents effect, appeared almost flat. This product presented a steady point (Figure 4. d), with a minimum extract of 0.05 (151) in DW and a maximum of 0.0533 g GAE/l (160.966 mg GAE/g) in DW+Aceto and DW+Meth, respectively. The observed gap was just 0.0033 g GAE/l (9.966 mg GAE/g), meaning 6.6%. Madrau et al. (2009) argued that during low drying temperatures from 55 to 60°C, in presence of oxygen, it occurs a polyphenoloxidase (PPO) enzymatic activity. Thus, since low drying temperature requires longer drying periods compare to high temperature, the resulting polyphenols content slows down. These findings corroborate our results since above 60°C the total phenols content increased quickly.

Since the solvent DW+Aceto led to higher extractions (Figure 4.d) above 70°C, we followed its variations from 60 to 80°C. From 60 (0.0533), via 70 (0.1117) to 80°C (0.2583 g GAE/l) the extraction effectiveness grown for 109.57 and 384.62% respectively at 70 and 80 from 60°C. Duncan multiple means comparison at 99% interval of confidence showed differences at 70°C. Illustrated on figure 4. d, DW extracted 0.1483a g GAE/l (447.866 mg GAE/g), and this amount was statistically higher from the results of DW+Aceto (0.1117b g GAE/l; 337.334 mg GAE/g) and DW+Meth (0.1083b g GAE/l; 327.066 mg GAE/g), which were non-significant to each other. For example, from dried grape at 70°C during 100 hours, Rajha et al. (2014) extracted 4.92 mg GAE/g of total phenols. Thus, *B. aethiopum* Mart pulp is greatly richer, 91.03 times, than grape for total phenols content. Beside ligneous vegetables, edible mushrooms are said to be very good sources of polyphenols. To illustrate, Wandati, Kenji and Onguso (2013) dried at 70°C a large variety of mushrooms, extracted them in aqueous ethanol, and the highest extract of total phenols was 15.8 mg GAE/g. Herein, the least extraction was 0.1083 g GAE/l (327.066 mg GAE/g) in DW+Meth.

At high temperature, following Madrau et al. (2009) remarks, the PPO enzymatic reaction doesn't occur because of a relative short exposure time. In addition, Lohani and Muthukumarappan (2015) indicated that the phenolic compounds can be liberated by heat treatment, and moreover, Jeong et al. (2004) came to the conclusion that phenols should have different bound status along with plant species. In accordance with Lohani and Muthukumarappan (2015), compare to raw material, dried products exhibit higher phenolic compound extracts. For example, the fresh exhibited 3.125 versus 3.5 mg GAE/g for the dried apple pomace at 50°C. Furthermore, they found that, when the product is fermented then dried, it exhibits higher total phenols extracts. Despite the advantage provided by fermentation, their findings were still lower than *B. aethiopum* extractions at the same drying temperature. Herein, the extracts were 256.7, 261.834 and 206.266 mg GAE/g respectively in DW, DW+Aceto and DW+Meth. Thus *B. aethiopum* is richer than apple pomace for total phenols. In fact, at high drying temperature, the covalent bound in phenolic compounds can be cleaved (Lohani & Muthukumarappan, 2015). Many authors reported that an increase drying temperature leads to an increase total phenolic extract (Wood et al., 2002; Jeong et al., 2004; Ruenroengklin et al., 2008; Madrau et al., 2009). However, Rajha et al. (2014) mentioned that, at high drying temperature, when the product reaches a constant weight, meaning it can't release any more water, we should stop heating; otherwise the excessive heat leads to a degradation of polyphenols. The factorial analysis revealed that the drying temperature (fresh, 40, 50, 60, 70 and 80°C) (Figure 4. a, c) and the extraction mode (decoction or maceration) (Figure 4. c) had each a main effect on total phenols extraction. In contrary, when the extraction mode is set, the solvents (DW, DW+Meth and DW+Aceto) (Figure 4. b) extracts were not statistically different in decoction. Additionally, with maceration, no deep slop was observed, then both curves were almost parallel. Thus solvents were not main effects for polyphenols extraction.

In the frame of our experiments, the best total phenols extracts were reached at 80°C, through decoction in DW+Aceto and DW+Meth, for 0.2583a (780.06) and 0.2417ab g GAE/l (729.934 mg GAE/g) respectively. Taking into account the colour changes, from 40 to 80°C, we may deduct that 80°C is an excessive heating temperature. Initially, at 40 and 50°C, the obtained flour was quite white colour, and at 60°C the colour changed to a light chocolate. Then, with an intensification of the chocolate colour, the flour colour looked nicer at 70°C. Finally, at 80°C the product turned to intense brown colour, maybe due to the high content of sugars which were probably caramelizing. To be more exact, looking at phytochemicals content in *B. flabellifer* dried pulp at 60°C

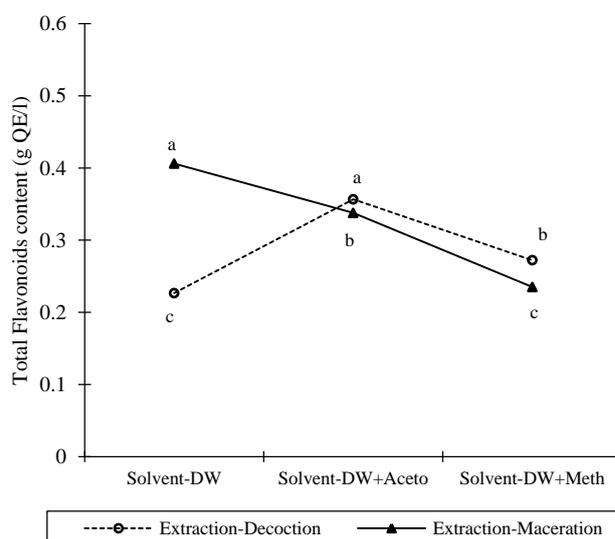
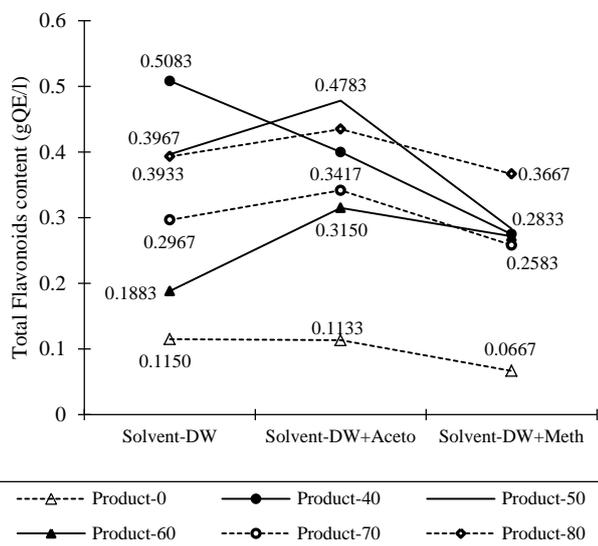
during 48 hours, Vijayakumari et al. (2014) found that it contained 22.5% of sugars; when Ali et al. (2010c) reported 23.965% in *B. aethiopicum* dried pulp at 40°C for the same drying time. Since the extraction in DW through decoction was more efficient at 70 than 40°C, respectively 0.1485 (447.866) versus 0.0767 g GAE/l (231.634 mg GAE/g), meaning an improvement of 93.61% from 40°C, we admitted 70°C as the best drying temperature, because in addition it reduced the drying period from 8 to 5 days.

3.2 Total Flavonoids

Admittedly, flavonoids are part of polyphenols (Rajha et al., 2014); therefore, some researchers use indirect ways to determine total flavonoids content when they have total phenols. In that case, they induce the precipitation of flavonoids by formaldehyde, then using again Folin-Ciocalteu method they assess the non-flavonoids compounds. Unlike Rajha et al. (2014) findings on grape by-products, the temperature had certainly a positive effect on total phenols and flavonoids extraction, but not a linear one. Herein, total flavonoids extractions did depend on the drying temperature, solvent and extraction mode. Beginning with the fresh product (Figure 5. e), we got the best extractions in DW and DW+Aceto; 0.115a (23) and 0.1133a g QE/l (22.66 mg QE/g) respectively, and these results were not statistically different. But they were statistically different from 0.0667b g QE/l (13.34 mg QE/g), the amount extracted with DW+Meth. Regarding DW+Meth, the extraction wasn't good, since compare to DW, 42.61% of extraction power was lost. Likewise, Karimi et al. (2015) works on oregano fresh leaves showed that total flavonoids content averages in cultivars Mexican (*Lippia graveolens*) and Mediterranean (*Origanum vulgare*) were 82.744 and 41.973 mg/g, respectively. In *Lippia graveolens*, the richest cultivar, they found 1.636 mg QE/g, and this amount is more than 8 times inferior to the lowest extraction with DW+Meth on *B. aethiopicum* fresh pulp. Herein, following with the drying temperature effect, DW as solvent, the 40, 50, and 60°C dried products allowed the extractions of 0.5083 (101.66), 0.3967 (79.34) and 0.1883 g QE/l (37.66 mg QE/g), respectively (Figure 5. e, h).

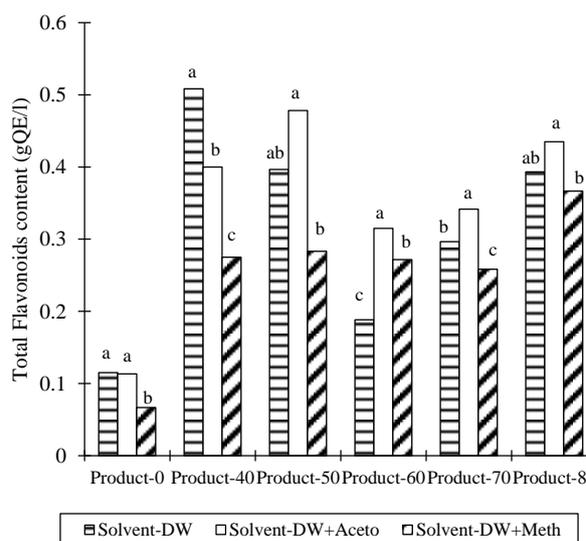
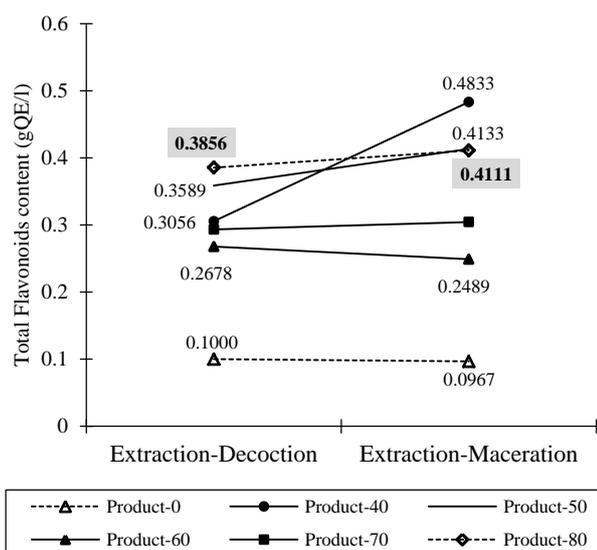
These findings contrasted with Rajha et al. (2014) results, since from 40 to 60°C the extracts decreased while drying temperatures increased. Thus, moderate temperatures such as 40 and 50°C allowed better extractions than 60°C. Hence, with DW, from 40 to 60°C, the extracts decreased about 62.95%. At 50°C, the best extraction of 0.4783g QE/l (95.66 mg QE/g) was achieved in DW+Aceto. Whereas DW led to very sensible results (Figure 5. e) in relation with each product, DW+Meth looked like a stable buffer for 40, 50, 60 and 70°C products. For instance, in DW, total flavonoids extracts moved from the highest 0.5083 at 40°C to the lowest 0.1883g QE/l at 60°C, thus the gap was 0.32g QE/l, which represented 62.955% of losses. The extracts of 50 and 70°C products were lying in between. In contrary, in DW+Meth, the results were grouped from 40 to 70°C in a narrow interval, from 0.2833b g QE/l (56.66 mg QE/g, the highest at 50°C) to 0.2583c g QE/l (51.66 mg QE/g, the lowest at 70°C). The difference is 0.025g QE/l, which is twelve times lower than 0.32g QE/l. The fresh (0) and the driest product (80°C) appeared as out layers with 0.0667 (13.34) and 0.3667g QE/l (73.34 mg QE/g), respectively. When *B. aethiopicum* pulps are dried between 40 and 60°C, aqueous methanol may not be a good medium for total flavonoids assessment.

Looking at the interaction between the products and the extraction modes (Figure 5. g), the curve obtained at 40°C presented the deepest slop from decoction to maceration, where the minimum and maximum were 0.3056 (61.12) and 0.4833 g QE/l (96.66 mg QE/g) respectively; so the slop was +58.148% from the origin. Thus, the extraction mode was a main effect for total flavonoids content assessment at 40°C, whereas it wasn't for other products. The announced PPO enzymatic reaction by Madrau et al. (2009), occurring during the long exposure at low temperatures may not affect flavonoid compounds in *B. aethiopicum* Mart mature pulp, since they are still available. Or, maybe our drying method which consisted in a thin layer of fibrous pulp in the oven led to a quick dry to reach the stable weight, so that the phenomenon was eschewed. The best drying temperature for getting the best total flavonoids extract was 40°C, and maceration was the best extraction mode in DW (Figure 5. f). Flavonoids are also known as Vitamin P, that the plants synthetize to produce yellow and other pigments, and they play important anti-inflammatory, anti-allergic and anti-cancer activities in human body. Because of these health benefits, many researches check for the presence of this phytochemical in daily consumed vegetables.



e.) Interaction between Product and Solvent

f.) Interaction between Extraction and Solvent



g.) Interaction between Product and Extraction

h.) Interaction between Solvent and Product

Figure 5. Factors interaction analysis between extraction modes (maceration, decoction), solvents (DW, DW+Meth, DW+Aceto) and Products (fresh (0), 40, 50, 60, 70, 80°C) on flavonoids content (g QE/l). Different letters within a given product column mean statistical difference by Duncan’s multiple ranges at $p \leq 0.01$ (Figure 5. f, h)

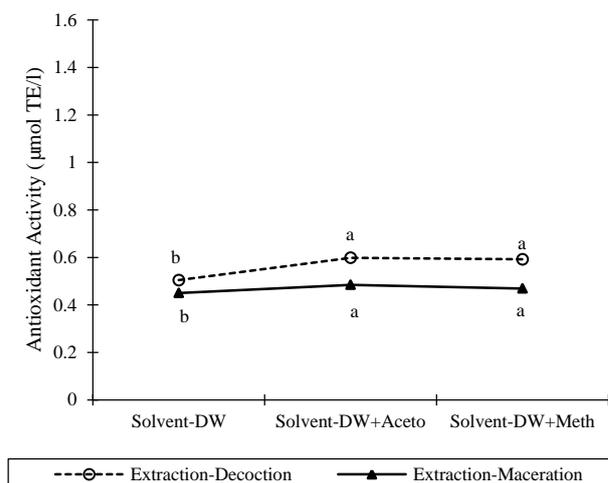
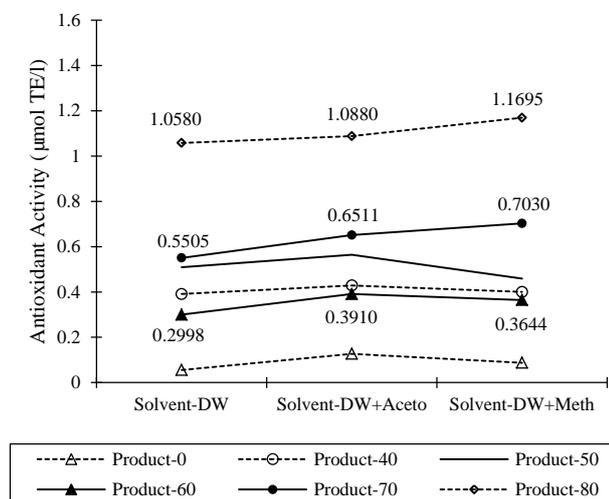
Due to its closeness to ‘‘under the sun’’ conditions in rural areas, 40°C is preferred by Ali et al. (2010a) and Vijayakumari et al. (2014) during the assessment of functional food phytochemicals. Better, Moyo, Oyedemi, Masita and Muchenje (2012) dried *M. oleifera* leaves under shade at room temperature, then they assessed total flavonoids contents. The leaves powder extracted with aqueous acetone exhibited 295.01 mg QE/g, whereas distilled water extracts were relatively poor, 45.1 mg QE/g, 7.55 times lower. Extracted with distilled water, *B. aethiopum* pulp dried at 40°C exhibited 101.66 mg QE/g, and this amount is 2.9 times lower than 295.01 mg QE/g (Moyo et al., 2012). Again, along with total phenols analysis, Wandati et al. (2013) checked for total flavonoids content in mushroom dried at 70°C. They remarked that young fruits had higher total flavonoids content than mature fruits, 11.2975 versus 8.9087 mg QE/g respectively. Precisely, the best extraction was obtained from caps, 15.1108 mg QE/g. At 70°C drying temperature, *B. aethiopum* mature pulp exhibited 68.34 mg QE/g, thus, *B. aethiopum* pulp is richer than some mushrooms. In short, considering *B. aethiopum* pulp, from fresh to 40°C dried product, DW may be the best solvent for total flavonoids assessment through maceration in

comparison to alcoholic solvents. But, above 40°C an aqueous 70% acetone may lead to better assessments than distilled water. The best drying temperature for total flavonoids assessment was 40°C. Due to the observed deep slopes (Figure 5. e, f, g), the three factors which were extraction mode, drying temperature and extraction were main effects for the total flavonoids extracts ($p < 0.0001$). Since the total phenols composed by flavonoid and non-flavonoid compounds do all contribute to functional foods effect in human body, we assessed at the last step, the derived antioxidant activity.

3.3 Antioxidant activity (ABTS^{•+})

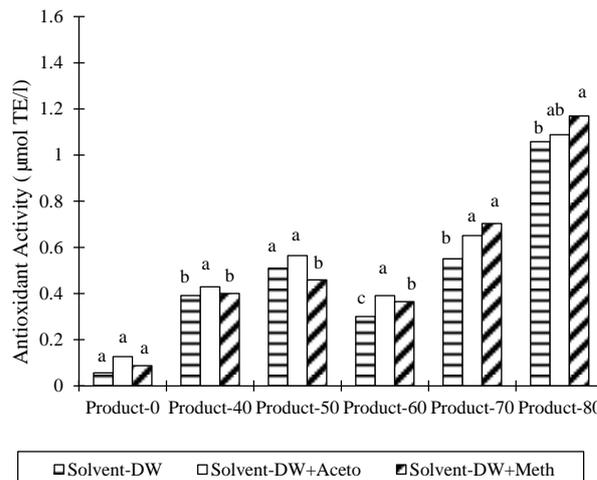
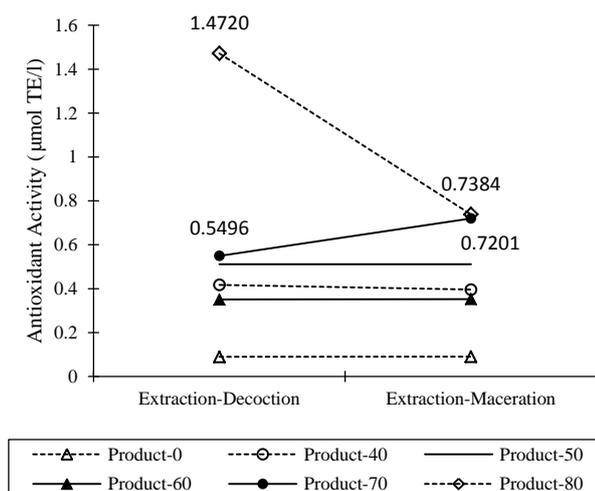
The importance of antioxidants in human body has been recalled many times. In fact, on 1996, through a review, Halliwell (1996) mentioned that antioxidants are needed to scavenge and prevent the formation of reactive oxygen species, such as superoxide ($O_2^{\bullet-}$), hydroxyl (OH^{\bullet}), peroxy (RO_2^{\bullet}), alkoxy (RO^{\bullet}), and many reactive nitrogen species like nitronium cation (NO_2^+), peroxyntrous acid ($ONOO^-$) and many others. These anions or cations presence in our body can induce serious damages. Fortunately, the antioxidants fight against these damageable systems. Antolovich, Prenzler, Patsalides, McDonald and Robards (2002) defined an antioxidant as ‘‘any substance that, when present at low concentrations, compared with those of the oxidizable substrate, significantly delays or inhibits oxidation of that substrate’’. So, these substances either prevent or repair these damages. Along with our body metabolism, many OH^{\bullet} scavengers have a high rate constant, higher than $10^{10}/(M \cdot Sec)$ (Halliwell, 1996). Among many ways to assess antioxidants in diets, Awika, Rooney, Wu, Prior, and Zevallos (2003) highlighted the fact that 2, 2'-azinobis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) is inexpensive and easy to use and above all, it's stable to pH. Similarly, Prior, Wu and Schaich (2005) preferred using ABTS^{•+} radical because it's intensively coloured and then assessing antioxidant capacity can easily be measured as the ability of the compounds to decrease the colour by reacting directly with the ABTS^{•+} radical. Above these two important aspects (inexpensive and easy to use), working on sorghum and sorghum products, Awika et al. (2003) found that compare to 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), using ABTS^{•+} cation requires least lasting time for the medium preparation. Furthermore, ABTS^{•+} was more efficient than DPPH on sorghum bran antioxidant assessment. This efficacy of ABTS^{•+} cation was observed by Candrawinata, Golding, Roach and Stathopoulos (2014) who worked on apple pomace, since extracting at 70°C for 60 min, the antioxidant activity went from 746.9 with DPPH to 1354.45 $\mu g TE/g$ with ABTS^{•+}, it means an increase of 81.34%.

Aware of such advantages, we used ABTS, and applied it on six different drying temperature products, with three solvents and two extraction modes. Additionally, in the following discussion, all the cited works were performed with ABTS^{•+} cation. In these investigation combined conditions, the effects of interactions were assessed and the Figure 6 resumes the results. The fresh product exhibited the lowest antioxidant activity (AOA) (Figure 6. i, l), opposed to the driest (80°C) which allowed the highest; for instance, in DW+Aceto, AOAs were 0.1269 (0.10152) versus 1.088 $\mu mol TE/l$ (0.8704 $\mu mol TE/g$) respectively (Figure 6. l). After homogenizing pulp and peel of guava (*Psidium guajava*), Thaiphong, Boonprakob, Crosby, Zevallos and Byrne (2006) assessed the antioxidant activity on one white fleshed ‘‘Allahabad Safeda’’ and three pink-fleshed whose were ‘‘Fan Retief’’, ‘‘Ruby Supreme’’ and an ‘‘advanced selection’’ extracted with methanol, and the AOAs were 37.9, 34.4, 22.3, 29.6 $\mu mol TE/g$ respectively. In our investigation, the methanol extracts AOA was 0.0874 $\mu mol TE/l$ (0.06992 $\mu mol TE/g$) on fresh product. Moreover, on *Opuntia ficus-indica* fresh pulp, Albano et al. (2015) detected 6.1 and 3.7 $\mu mol TE/g$ on purple and orange colour respectively. It appears that, any colour of *Opuntia ficus-indica* or guava fresh material may have a better antioxidant activity than *B. aethiopicum* Mart. Again on fresh weight basis, Awika et al. (2003) proved that the colour factor is important for total phenols, thus, and antioxidant activity deliveries. To be exact, by extracting with 70% aqueous acetone, on one hand, white and red grains exhibited 6 and 53 $\mu mol TE/g$; and on the second hand, white and red brans delivered 28 versus 53 $\mu mol TE/g$ respectively. Similarly, Teow et al. (2007) found that orange and dark orange had 5.89-10.3 versus 18.2 $\mu mol TE/g$ correspondingly. On the same way, Rodriguez et al. (2016) found that 18 weeks after anthesis, hybrid palm oil from *Elaeis oleifera* \times *Elaeis guineensis* had 0.59 $\mu mol TE/g$ of extract, demonstrating that palm oils have good properties for health benefits. In this study, a broad ascertainment could be made, such as, from fresh up to 60°C, acetone extracted better than methanol. The same phenomenon was observed on total phenols curve (Figure 4. d). Whereas above 60°C methanol took over. For instance, many authors looked for soft drying temperatures, in the aim to keep all phytochemicals intact in the cells. Using lower temperature than Ali et al. (2010c), Arunachalam, Saravanan and Parimelazhagan (2011) dried the non-germinated seed embryo of *B. flabellifer* under shade at room temperature, 25°C.



i.) Interaction between Products and Solvents

j.) Interaction between Extraction modes and Solvents



k.) Interaction between Products and Extraction modes

l.) Interaction between Solvents and Products

Figure 6. Factors interaction analysis between extraction modes (maceration, decoction), solvents (DW, DW+Meth, DW+Aceto) and Products (0, 40, 50, 60, 70, 80°C) on antioxidant activity (µmol TE/l). Different letters within a given product column mean statistical difference by Duncan's multiple ranges at p≤0.01 (Figure 6. j, l)

Effectively, the AOAs were tremendously higher than those herein findings, since they reported 5206.9 and 3438.8 µmol TE/g, respectively for aqueous acetone and methanol. Apart 70 and 80, both extraction modes gave almost equal results on fresh, 40, 50 and 60°C products, leading to parallel lines to the abscise' one (Figure 6. k). Also on Figure 6. j, the interaction between the extraction modes (decoction and maceration) and the solvents (DW, DW+Aceto, DW+Meth) showed that for a given extraction mode, DW+Aceto and DW+Meth resulted to non-significant different results, and DW extracted always the lowest quantity which was significantly different from the previous (p≤0.01). Thus, the main effect on AOA was the drying temperature for 70 and 80°C, their lines' slops were deeper than the others. So, considering the solvents, the present outputs fitted to Arunachalam et al. (2011) results at 25°C since aqueous acetone and methanol had the highest extractions (Figure 6. l). Alike the phenomenon observed during polyphenols assessment, at 60°C we got the same depressed results. Thus, breaking the increasing tendency, altogether the three bars dropped (Figure 6. l). Looking at 50°C, the highest AOA with DW+Aceto decreased from 0.5645 (0.4516) to 0.3910 (0.3128) and the lowest extract 0.4593 (0.36744) with DW+Meth dropped to 0.3644 µmol TE/l (0.29152 µmol TE/g). This depression at 60°C was reported on grape by-products, when Rajha et al. (2014) assessed the AOA from 40 to 80°C. In contrary, from 20

to 80°C, Candrawinata et al. (2014) found that an increasing temperature permitted an increasing extraction of total phenols, thus an increasing antioxidant activity. As aside results, Lohani and Muthukumarappan (2015) proved that the interaction effects between two independent variables mainly reduce the derived result. For instance, looking at the drying method (DM) and ultrasonication amplitude (UA) effects on apple pomace separately, they reported 6788.3334 and 1876.8693, respectively; while the interaction (DM*UA) led to 1594.1769 $\mu\text{mol TE/g}$. Thus, herein figures could have been influenced by the interaction effects between the solvents, the extraction modes and the drying temperatures. Seeing the curves' shape propinquity between Figure 4.d and Figure 6.1, we wondered if total phenols content can predict an accurate view on antioxidant activity.

3.4 Relationship between Total Phenols (Folin-Ciocalteux) Content and Antioxidant Activity (ABTS^{*+})

On Sorghum products, Awika et al. (2003) announced a very good correlation coefficient between TPC and AOA, with $R^2=97.1\%$. Also, working on guava fruits' extracts in an aqueous methanol, Thaipong et al. (2006) reported $R^2=94.09\%$, which remains a very good correlation coefficient between the two items. Equally important, when Teow et al. (2007) assessed the TPC and AOA of sweet potatoes, they announced $R^2=93.7\%$. Therefore, taking into account the effect of the interaction between the three factors (temperature, solvent and extraction mode), and looking at the distribution of the spots on the graph, we assessed the potential relationship between the TPC and AOA by using the cubic spline curve (Figure 7). Even though the correlation coefficient ($R^2=0.8394$) didn't appear to be as high as those announced by the above authors, but it was still good, since it's higher than 0.7 which was announced acceptable by Candrawinata et al. (2014). Fortunately, as mentioned by Brend, L. Galili, Badani, Hovav and S. Galili (2012), baking or cooking doesn't affect significantly the total phenol content and its derivatives such as total flavonoids and antioxidant activity. Thus, drying in an oven or cooking in a pot may lead to the same nutritional value. As a side remark, we didn't observe any quick browning due to Maillard reaction products (Vijayakumari et al., 2014), within an hour, when *B. aethiopum* Mart cut pulp was exposed to daily light.

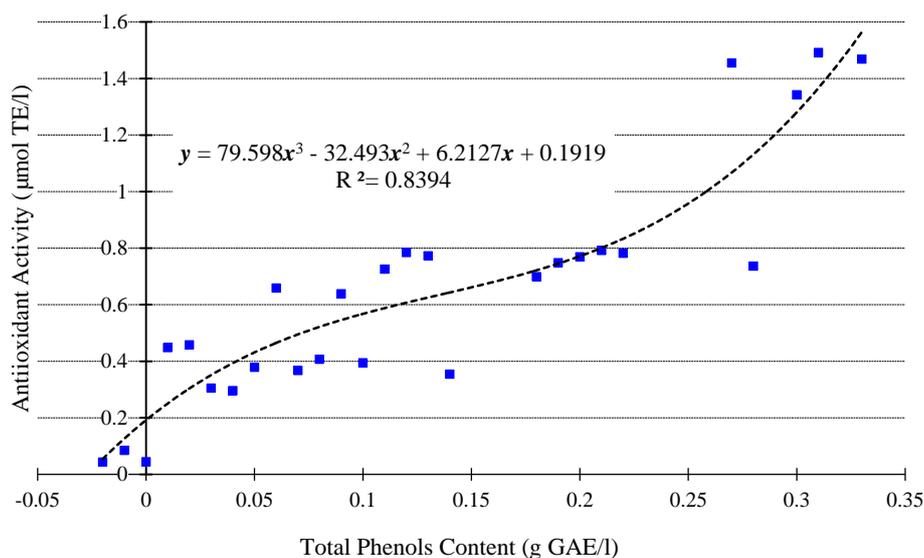


Figure 7. Cubic spline curve giving the relationship between TPC and AOA

Note: Due to duplicates, the number of nodes has been reduced from 108 to 27

4. Conclusion

In this investigation, we assessed total phenols content (TPC), total flavonoids content (TFC) and antioxidant activity (AOA) of *Borassus aethiopum* mature fruits fresh and dried pulps. During TPC, TFC and AOA assessments, six (6) products (Fresh (0), 40, 50, 60, 70 and 80°C), two (2) extraction modes (decoction and maceration), and three (3) solvents (DW, DW+Aceto, DW+Meth) were used. Truly, extraction and product (fresh or dried) significantly affected TPC, TFC and AOA ($p<0.0001$). In contrast the solvent acted partially on the three items. In fact, alone, solvent didn't affect TPC ($p=0.0778$), likewise, some interactions with solvent such as extraction*solvent ($p=0.9197$) and extraction*solvent*product ($p=0.0276$). But, solvent did for TFC and AOA ($p<0.0001$). Furthermore, looking at the final product colour, the best drying temperature admitted was 70°C.

Consequently, the cheapest solvent and best extractor to estimate TPC was DW, after an extraction by decoction. The extract with DW was 0.1483 (447.866), and it was statistically higher than DW+Aceto and DW+Meth outputs that were 0.1117 (337.334) and 0.1083 g GAE/l (327.066 mg GAE/g) respectively. Again this experiment proved that low drying temperature allows a better appreciation of TFC. Since flavonoids are denatured by heat, the lowest drying temperature (40°C) product and extracting with DW through maceration allowed their best assessment (0.5083 g QE/l; 101.66 mg QE/g).

Furthermore, this experiment consistently proved that red, yellow or yellow-orange fruit pulps have high content of total phenols and exhibit good antioxidant activity. Like *Elaeis guineensis* ripe fruits' pulp, *B. aethiopum* Mart mature fruits' pulp is an interesting source of polyphenols, thus it's an important functional food which can provide strong health benefits. Yet important quantities of these big fruits, with more than 30% fibrous pulp of a whole fruit weight, are still rotting under the trees in the bush. Surprisingly, the ripe fruits are very appreciated of the greater cane rats (*Thryonomys swinderianus*) and the African giant rats (*Cricetomys gambianus*), and moreover rural people cook and eat the fibrous pulp. Consequently, for human being, a well-organized collection and a good industrial drying system could give an added value to this wild fruit. Thus, the seasonality effect could be reduced for markets availability. However, in case of industrial drying system in control hot air conditions, the drying temperature is still the most important factor to take care off. Indeed, drying temperature was main effect for TPC. In fact, it greatly affects the total phenols and total flavonoids availability in the cell matrix, thus it affects the antioxidant activity. Additionally, it appeared that the PPO enzyme reaction happened in *B. aethiopum* Mart pulp drying at 60°C. Polyphenols content is the base line, and during drying process, the chemical structure of the derived product changes with heat amplitude and its duration.

Acknowledgement

The authors are extremely grateful to Thapelo Johannes Molatoli; Brakfontein, Mohale's Hoek 800, Lesotho, phone :+266-51643792 and Unisa Conteh Kanu; 7 Karim Drive Lumley, Freetown, Sierra Leone, phone:+232-99764590, for kindly revising the English writing structure of the manuscript.

References

- Albano, C., Negro, C., Tommasi, N., Gerardi, C., Mita, G., Miceli, A., De-Bellis, L., & Blando, F. (2015). Betalains, Phenols and Antioxidant Capacity in Cactus Pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] Fruits from Apulia (South Italy) Genotypes. *Antioxidants*, 4, 269-280. <https://doi.org/10.3390/antiox4020269>
- Ali, A., Alhadji, D., Tchiegang, C., & Saïlou C. (2010a). Physico-chemical properties of palmyra palm (*Borassus aethiopum* Mart) fruits from Northern Cameroon. *African Journal of Food Science*, 4(3), 115-119.
- Ali, A., Fadimatou, B., Tchiegang, C., Saidou, C., & Adj, M. B. (2010b). Physico-chemical and functional properties of bâchi or hypocotyle axes of *Borassus aethiopum* Mart. *African Journal of Food Science*, 4(10), 635-641.
- Ali, A., Tchiegang, C., Alhadji, D., Saidou, C., & Mohamadou B. A. (2010c). Drying the African Palm Tree (*Borassus aethiopum* Mart) Fruits in View of Producing Edible Flour. *Journal of Food Technology*, 8(5), 211-216. <https://doi.org/10.3923/jftech.2010.211.216>
- Antolovich, M., Prenzler, P. D., Patsalides, E., McDonald, S., & Robards, K. (2002). Methods for testing antioxidant activity. *Analyst*, 127, 183-198. <https://doi.org/10.1039/b009171p>
- Arunachalam, K., Saravanan, S., & Parimelazhagan, T. (2011). Nutritional Analysis and Antioxidant Activity of Palmyrah (*Borassus flabellifer* L.) Seed Embryo for Potential Use as Food Source, *Food Science and Biotechnology*, 20(1), 143-149. <https://doi.org/10.1007/s10068-011-0020-y>
- Awika, J. M., Rooney, L. W., Wu, X., Prior, R. L., & Zevallos, L. C. (2003). Screening Methods To Measure Antioxidant Activity of *Sorghum* (*Sorghum bicolor*) and Sorghum Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 6657-6662. <https://doi.org/10.1021/jf034790i>
- Barminas, J. T., Onen, A. I., Williams, E. T., Zaruwa, M. Z., Mamuru, S. A., & Haggai, D. (2008). Studies on Functional Properties of *Borassus* Starch From Fresh Germinating Nuts of Giginya (*Borassus aethiopum* Mart.) Palm. *Food Hydrocolloids*, 22, 298-304. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.11.018>
- Brend, Y., Galili, L., Badani, H., Hovav, R., & Galili, S. (2012). Total Phenolic Content and Antioxidant Activity of Red and Yellow Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Seeds as Affected by Baking and Cooking Conditions. *Food and Nutrition Sciences*, 3, 1150-1155. <https://doi.org/10.4236/fns.2012.38151>
- Candrawinata, V. I., Golding, J. B., Roach, P. D., & Stathopoulos, C. E. (2014). Total phenolic content and

- antioxidant activity of apple pomace aqueous extract: effect of time, temperature and water to pomace ratio. *International Food Research Journal*, 21(6), 2337-2344.
- Dantas, R. L., Silva, S. D. M., Dantas, A. L., Guimarães, G. H. C., Lima, R. P., Nascimento, R. D. S., Da-Silva, M. C. A., Da-Silva, R. S., Santos, D., & Mendonça, R. M. N. (2016). Bioactive compounds and antioxidant activity of *Tacinga inamoena* (K. Schum.) [NP Taylor & Stuppy] fruit during maturation. *African Journal of Agricultural Research*, 11(17), 1511-1518. <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.10541>
- Gil, M. I., Francisco, A., Barberan, T., Pierce, B. H., & Kader, D. A. (2002). Antioxidant Capacities, Phenolic Compounds, Carotenoids, and Vitamin C Contents of Nectarine, Peach, and Plum Cultivars from California. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 4976-4982. <https://doi.org/10.1021/jf020136b>
- Halliwell, B. (1996) Antioxidants in human health and disease. *Annual Review Nutrition*, 16, 33-50. <https://doi.org/10.1146/annurev.nu.16.070196.000341>
- Jeong, S. M., Kim, S. Y., Kim, D. R., Jo, S. C., Nam, K. C., Ahn, D. U., & Lee, S. C. (2004). Effect of Heat Treatment on the Antioxidant Activity of Extracts from Citrus Peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 3389-3393. <https://doi.org/10.1021/jf049899k>
- Karaca, H. C., & Newman, M. C. (2015). Antimicrobial Efficacy of Natural Phenolic Compounds against Gram Positive Foodborne Pathogens. *Journal of Food Research*, 4(6), 14-27. <http://dx.doi.org/10.5539/jfr.v4n6p14>.
- Karimi, A., Min, B., Brownmiller, C., & Lee, S. O. (2015). Effects of Extraction Techniques on Total Phenolic Content and Antioxidant Capacities of Two Oregano Leaves. *Journal of Food Research*, 4(1), 112-123. <http://dx.doi.org/10.5539/jfr.v4n1p112>
- Khadem, S., & Marles, R. J. (2010). Monocyclic Phenolic Acids; Hydroxy- and Polyhydroxy-benzoic Acids: Occurrence and Recent Bioactivity Studies. *Molecule*, 15, 7985-8005. <https://doi.org/10.3390/molecules15117985>
- Lachman, J., Hamouz, K., Sulc, M., Orsák, M., & Dvorak, P. (2008). Differences in phenolic content and antioxidant activity in yellow and purple-fleshed potatoes grown in the Czech Republic. *Plant Soil Environment*, 54(1), 1-6.
- Lohani, U. C. & Muthukumarappan, K. (2015). Effect of Drying Methods and Ultrasonication in Improving the Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Apple Pomace Powder. *Journal of Food Research*, 4(2), 68-77. <http://dx.doi.org/10.5539/jfr.v4n2p68>
- Madrau, M. A., Piscopo, A., Sanguinetti, A. M., Del-Caro, A., Poiana, M., Romeo, F. V., & Piga, A. (2009). Effect of drying temperature on polyphenolic content and antioxidant activity of apricots. *European Food Resources and Technology*, 228, 441-448. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0951-6>
- Marinova, D., Ribarova, F., & Atanassova, M. (2005). Total Phenolics and Total Flavonoids in Bulgarian Fruits and Vegetables. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 40(3), 255-260.
- Mkandawire, W., Manani, T. A. N., MKabambe, O., & Phiri, J. K. (2016). Estimation of Shelf Life of Mango Juice Produced Using Small-Scale Processing Techniques. *Journal of Food Research*, 5(6), 13-20. <http://dx.doi.org/10.5539/jfr.v5n6p13>
- Moyo, B., Oyedemi, S., Masika, P. J., & Muchenje, V. (2012). Polyphenolic content and antioxidant properties of *Moringa oleifera* leaf extracts and enzymatic activity of liver from goats supplemented with *Moringa oleifera* leaves/sunflower seed cake. *Meat Science*, 91, 441-447. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.02.029>
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005) Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 4290-4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
- Rajha, H. N., El Darra, N., Hobaika, Z., Boussetta, N., Vorobiev, E., Maroun, R. G., & Louka, N. (2014). Extraction of Total Phenolic Compounds, Flavonoids, Anthocyanins and Tannins from Grape Byproducts by Response Surface Methodology. Influence of Solid-Liquid Ratio, Particle Size, Time, Temperature and Solvent Mixtures on the Optimization Process. *Food and Nutrition Sciences*, 5, 397-409. <https://doi.org/10.4236/fns.2014.54048>
- Rodríguez, J. C., Gómez, D., Pacetti, D., Núñez, O., Gagliardi, R., Frega, N. G., Ojeda, M. L., Loizzo, M. R., Tundis, R., & Lucci, P. (2016). Effects of the Fruit Ripening Stage on Antioxidant Capacity, Total Phenolics,

- and Polyphenolic Composition of Crude Palm Oil from Interspecific Hybrid *Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64, 852-859.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04990>
- Ruenroengklin, N., Zhong, J., Duan, X., Yang, B., Li, J., & Jiang, Y. (2008). Effects of Various Temperatures and pH Values on the Extraction Yield of Phenolics from Litchi Fruit Pericarp Tissue and the Antioxidant Activity of the Extracted Anthocyanins. *International Journal of Molecular Science*, 9, 1333-1341.
<https://doi.org/10.3390/ijms9071333>
- Saleh, E. A., Tawfik, M. S., & Tarboush, A. H. M. (2011). Phenolic Contents and Antioxidant Activity of Various Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Fruits from Saud Arabia. *Food and Nutrition Sciences*, 2, 1134-1141.
<https://doi.org/10.4236/fns.2011.210152>
- Singh, R.S. G., Negib, P. S., & Radha, C. (2013). Phenolic composition, antioxidant and antimicrobial activities of free and bound phenolic extracts of *Moringa oleifera* seed flour. *Journal of Functional Foods*, 5, 1883-1891. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.09.009>
- Teow, C. C., Truong, V. D., McFeeters, R. F., Thompson, R. L., Pecota, K. V., & Yencho, G. C. (2007). Antioxidant activities, phenolic and β-carotene contents of sweet potato genotypes with varying flesh colours. *Food Chemistry*, 103, 829-838. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.033>
- Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Zevallos, L. C., & Byrne, D. H. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 669-675. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>
- Veras, A. O. M., B átega, R., Freire, F. B., Barrozo, M. A. S., & Freire, J. T. (2012). Drying Kinetics, Structural Characteristics and Vitamins C Retention of Dedo-de-Moca Pepper (*Capsicum baccatum*) During Convective and Freeze Drying. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 29(04), 741-750.
<https://doi.org/10.1590/S0104-66322012000400006>
- Vijayakumari, Vengaiyah, P.C., & Kiranmayi, P. (2014). Physicochemical and functional characteristics of powder prepared from palmyra fruit pulp (*Borassus flabellifer* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 3(9), 352-356.
- Wandati, T. W., Kenji, G. M. & Onguso, J. M. (2013). Phytochemicals in Edible Wild Mushrooms from Selected Areas in Kenya. *Journal of Food Research*, 2(3), 137-144. <http://dx.doi.org/10.5539/jfr.v2n3p137>
- Wood, J. E., Senthilmohan, S. T., & Peskin, A. V. (2002). Antioxidant activity of procyanidin containing plant extracts at different pHs. *Journal of Food Chemistry*, 77, 155-161.
[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00329-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00329-6)

Copyrights

Copyright for this article is retained by the author(s), with first publication rights granted to the journal.

This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).