



The 1st International Conference on Local Resource Exploitation

www.lorexp.org / info@lorexp.org
REF: LOREXP_2021_A1062 Pages: 301–315



Valorisation des pommes d'anacardes dans la production de vin au Cameroun

Valorisation des pommes d'anacardes dans la production de vin au Cameroun

P.S. Kahou^{1,*}, J. Ngatchic¹, C. Saïdou¹ et S.C. Desobgo¹

¹ Université de Ngaoundéré, P.O. Box 455, Ngaoundéré-Cameroun.

* Auteur Correspondant : kahou.peguy@gmail.com

RÉSUMÉ :

L'objectif principal de cette recherche était d'étudier d'une part, l'effet des proportions relatives des anacardes (rouges et jaunes) et de la betterave rouge, et d'autre part du temps de fermentation et la quantité de sucre ajouté, sur l'évolution des différents paramètres de qualité des vins, ceci dans l'optique de proposer un projet de valorisation des pommes d'anacardes dans la production des vins blancs et rouges. A cet effet, les pommes d'anacardes ont premièrement été caractérisées sur le plan physique et physicochimique, les moûts ont été extraits, mélangés et fermentés suivant un plan D-optimal à cinq facteurs. Il en est sorti 33 formulations, qui ont été augmentées de deux formulations témoins constituées respectivement de 100 % des anacardes des deux variétés. Sur le plan physique, les pommes d'anacardes ont une masse de 55,36 g \pm 5,94 pour la variété rouge et 55,09 g \pm 5,94 pour la variété jaune ; avec des indices de sphéricité et de calibre respectifs de 23,54 cm \pm 7,18E-15 (variété rouge), 23,14 cm \pm 2,37E-14 (variété jaune) et 8,21 cm \pm 3,59 E-14 (variété rouge), 8,12 cm \pm 5.8E-14 (variété jaune). Sur le plan physicochimique, les pommes d'anacardes présentent, pour les variétés rouges et jaunes respectivement, des teneurs en sucres réducteurs de 0,988 \pm 0,012 et 0,955 \pm 0,002 (g/100 g), des teneurs polyphénols de 3,846 \pm 0,07 et 3,752 \pm 0,03 (g d'acide gallique/100 g), des teneurs en vitamine C de 0,322 \pm 0,006 et 0,331 \pm 0,008 et des acidités titrables de 0,56 \pm 0,066 et 0,55 \pm 0,02 (g d'acide tartrique/100 g). Les vins obtenus ont été analysés sur le plan physicochimique et sensoriel. Les réponses physicochimiques ont fait l'objet de modélisation en fonction des facteurs. A la fin des analyses sensorielles, un regroupement suivant la méthode des K-means a permis d'éliminer 16 formulations présentant les plus mauvaises caractéristiques sur le plan physicochimique, et les formulations restantes ont été soumises à l'analyse sensorielle. Les deux formulations sensoriellement intéressantes que sont le Vin blanc et le Vin rosé ont été optimisées sur le plan physicochimique. Les compositions optimales des vins ont été déterminées, ainsi que les conditions de fermentation. Les optimums ont présenté sur le plan physicochimique, pour l'optimum Vin blanc, un degré Brix de 7,342 ; une acidité titrable de 4,215 mg d'acide tartrique/L ; une Couleur de 0,556 ; un taux de Vitamine C de 0,434 g/L ; une teneur en sucres réducteurs de 3,353 g/L un pH de 4 ; une densité de 1,035 ; une teneur en polyphénols de 3,676 g/L et un Titre alcoométrique : 11 °vol. L'optimum Vin rosé quant à lui, a présenté un degré Brix de 9,465 ; une acidité titrable de 4,08 mg d'acide tartrique/L ; une Couleur de 1,19 ; un taux de Vitamine C de 0,478 g/L ; un taux de Sucres réducteurs de 1,312 g/L ; un pH de 3,80 ; une densité de 1,003 ; une teneur en Polyphénols de 60,27 g/L et un Titre alcoométrique de 8,31 °vol.

Mots clés : Anacarde, Betterave, Vin, Fermentation.

ABSTRACT:

The main objective of this research was to study on the one hand, the effect of the relative proportions of cashew nuts (red and yellow) and beetroot, and on the other hand of the fermentation time and the amount of added sugar, on the evolution of the various wine quality parameters, this with a view to proposing a project to promote cashew apples in the production of white and red wines. To this end, the cashew apples were first characterized on a physical and physicochemical level, the musts were extracted, mixed and fermented according to a D-optimal five-factor plan. 33 formulations emerged, which were increased by two control formulations consisting respectively of 100 % cashew nuts of the two varieties. Physically, cashew apples have a mass of 55.36 g \pm 5.94 for the red variety and 55.09 g \pm 5.94 for the yellow variety; with respective sphericity and caliber indices of 23.54 cm \pm 7.18E-15 (red variety), 23.14 cm \pm 2.37E-14 (yellow variety) and 8.21 cm \pm 3.59E-14 (red variety), 8.12 cm \pm 5.8E-14 (yellow variety). From a physicochemical point of view, cashew apples have, for the red and yellow varieties respectively, reducing sugar contents of 0.988 \pm 0.012 and 0.955 \pm 0.002 (g/100 g), polyphenol contents of 3.846 \pm 0.07 and 3.752 \pm 0.03 (g gallic acid/100 g), vitamin C contents of 0.322 \pm 0.006 and 0.331 \pm 0.008 and titratable acidities of 0.56 \pm 0.066 and 0.55 \pm 0.02 (g of acid tartaric/100 g). formulations presenting the worst characteristics on the physicochemical level and the remaining formulations were subjected to sensory analysis. The two sensorially interesting formulations, White wine and Rosé wine, have been optimized on the physicochemical level. The optimal compositions of the wines were determined, as well as the fermentation conditions. The optima presented on the physicochemical level, for the white optimum, a Brix degree of 7.342; a titratable acidity of 4.215 mg tartaric acid/L; a Colour of 0.556; a vitamin C level of 0.434 g/L; a reducing sugars content of 3.353 g/L at a pH of 4; a Density of 1.035; a polyphenol content of 3.676 g/L and an alcoholic strength: 11 °vol. The pink optimum had a Brix level of 9.465; a titratable acidity of 4.08 mg of tartaric acid/L; a Colour of 1.19; a vitamin C level of 0.478 g/L; a rate of reducing sugars of 1.312 g/L; a pH of 3.80; a Density of 1.003; a Polyphenol content of 60.27 g/L and an alcoholic strength of 8.31 °vol.

Keywords: Cashew, Beet, Wine, Fermentation.

1. INTRODUCTION

Le gouvernement Camerounais, à travers divers programmes, a initié une politique de vulgarisation de la culture de l'anacardier dans les régions ayant un climat favorable à son développement (Une partie de la région du Centre, l'Est et les trois régions du Septentrion) (IRAD,2014). Cette politique promeut la culture de l'anacardier pour le reboisement, mais également la transformation de ses différents produits. Toutefois, aucun accent n'est mis sur le devenir de la pomme d'anacarde (Faux fruit) après le retrait de la noix (Vrai fruit). Les travaux de Hédiblé et al. (2017) ont montrés que, les moûts extraits des anacardes étaient fermentescibles et pouvaient être utilisés dans la production d'alcool alimentaire et de boissons spiritueuses. La production Camerounaise d'anacarde est de 108 tonnes de noix d'anacarde (ACFCAM, 2019). En général, la masse de la pomme d'anacarde est obtenue en multipliant la masse de la noix d'anacarde par un facteur variant entre 5 et 10 (Soro, 2012) ; soit entre 540 et 1 080 tonnes de pommes d'anacardes. Cette filière étant en sous exploitation de ses potentialités (ACFCAM, 2019), le Cameroun s'est fixé comme objectif, la mise en place de 10 000 ha d'anacarde entre 2020-2025, sur un programme de 50 000 ha à atteindre en 2028 (MINEPAT, 2018). L'Anacarde est une ressource du sol Africain qui présente des fortes potentialités nutritionnelles et qui reste non valorisé. La difficulté dans la transformation des pommes d'anacardes est liée à sa teneur élevée en tanin, qui provoque l'astringence et l'instabilité colloïdale des Jus extraits (Lautié et al., 2001). Les tanins sont pourtant un critère qualitatif pour le choix des vins. Par ailleurs, une comparaison des propriétés physicochimiques des pommes d'anacardes et de certains fruits prisés pour leur apport nutritionnel, confirme les hautes potentialités nutritionnelles de la pomme d'anacarde. En effet, les anacardes présenteraient 6 fois plus de vitamine C que l'orange (Haendler et al., 1970), 12 fois plus que l'ananas, 3 fois plus de vitamine A que l'orange et 5 fois plus que l'ananas (Hédiblé et al., 2017).

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel Biologique

Pommes d'Anacarde : Le matériel végétal utilisé était constitué de pommes d'anacardes échantillonnées dans la région du Nord Cameroun dans la localité de Djalingo. Une fois récoltées, les pommes ont été lavées et débarrassées de leur noix, puis triées afin de séparer les pommes de phénotype rouge de celles de phénotype Jaune.

Les levures : Les levures utilisées dans les expérimentations étaient de l'espèce *Saccharomyces cerevisiae*.

2.2. Production des vins

Les différentes matières premières (Pommes d'anacardes et racines de betteraves) ont été lavées, triées et broyées à l'aide d'un broyeur de marque SINGSUNG de puissance 500W pendant 15 secondes. Le jus fibreux obtenu a été dilué à 50g de matière par litre avec de l'eau potable. Les moûts ont été corrigés, pasteurisés et fermentés suivant le plan d'expérience.

2.3. Analyses physiques

Détermination de la Masse : La masse des pommes a été mesurées à l'aide d'une balance numérique portative POCKET SCALE MH-Série, calibrée automatiquement avec une température d'opération recommandée comprise entre 10 et 30 °C avec une précision de 0,1 g.

Détermination des Indices de sphéricité et de calibre : Les dimensions de la pomme de cajou ont été déterminées grâce à un pied à coulisse de model JUNIOR avec une précision de 1/50. Les propriétés physiques mesurées étaient la hauteur de la pomme, la largeur et l'épaisseur. La mesure de ces dimensions a été faite suivant la méthode

de Silou décrite par Diakabana et al. (2013). Les indices de calibre (I_c) et de sphéricité (I_s) ont été calculés en utilisant les formules respectives des équations 1 et 2 :

$$I_c = \sqrt{D.L.l} \quad (1)$$

Et

$$I_s = \sqrt[3]{D.L.l} \quad (2)$$

Avec D : diamètre, L : longueur et l : largeur

2.4. Analyses physicochimiques

Détermination du pH : Le pH a été déterminé par la méthode OIV-MA-BS-13 de type 1 décrite par l'organisation internationale de la vigne et du vin (2014).

Détermination du degré Brix : La teneur en matière sèche des échantillons a été déterminée selon la méthode AOAC 44-15A (AOAC, 1984).

Détermination de la teneur en Sucres réducteurs : Les sucres réducteurs ont été extraits et dosés par la méthode décrite par Fischer et Stein (1961).

Détermination de l'acidité titrable : l'acidité titrable a été déterminée par la méthode de l'AFNOR (1982).

Détermination des Composés phénoliques totaux : La teneur en composés phénoliques a été déterminée par la méthode décrite par Marigo (1973).

Détermination de la teneur en Vitamine C : L'extraction de la vitamine C a été réalisée par trituration à l'acide acétique 95 % et son dosage effectué à l'aide d'une solution d'iode. Le blanc du dosage était constitué d'une gamme de solution de vitamine C titré.

Détermination de la teneur en protéines : L'azote total a été déterminé après minéralisation des échantillons selon la méthode de Kjeldahl (AFNOR, 1984), et dosage selon la technique colorimétrique de Devani et al. (1989).

Détermination de l'intensité colorante : L'intensité colorante des vins a été déterminée par la méthode décrite par l'OIV (2006).

Détermination du taux d'alcool : la teneur en alcool des vins a été déterminée par la méthode décrite par l'OIV (2019).

2.5. Analyses sensorielles

Sur le plan sensoriel, un test hédonique a été utilisé pour décrire l'appréciation des produits à travers leur aspect visuel (couleur, brillance et limpidité), gustatif (sucre, acidité, astringence) et leur acceptabilité générale.

2.6. Analyses statistiques

Les formulations ont été déterminées à l'aide d'un plan d'expérience de type D-optimal à 5 facteurs, donc 3 facteurs liés au mélange (proportions relatives des deux variétés d'anacardes et de la betterave) et deux facteurs de procédé (temps de fermentation et quantité de sucre ajouté). Les facteurs sont codés respectivement A (proportion d'anacarde jaune), B (proportion d'anacarde rouge), C (proportion de betterave rouge), D (quantité de sucre ajouté) et E (temps de fermentation). Le plan d'expérience a été créé et analysé grâce au logiciel Design Expert 11. A l'aide du logiciel Statgraphics, un test statistique de student (t) à un seuil de 95 % a été utilisé pour la comparaison des moyennes des résultats pour les critères étudiés. Les réponses physicochimiques ont été modélisées sous forme mathématique et représentées sous forme de surface de réponse à l'aide du logiciel Design

Expert 11. L'acceptation des modèles a été réalisé sur la base des coefficients de détermination réels et ajustés, de l'AADM, du facteur de biais et du facteur d'exactitude. Les réponses sensorielles ont été représentées suivant une analyse en composante principale (ACP) grâce au complément XLSTAT 2014 de Excel.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Caractérisation de la matière première

3.1.1. Caractérisation physique

L'analyse du tableau 1 permet de d'observer que les masses moyennes des pommes d'anacardes sont de $55,36 \pm 5,94$ (Rouge) et $55,09 \pm 5,94$ (Jaune). Les indices de calibre et de sphéricités sont respectivement de $23,54 \pm 7,18E-15$ et $8,21 \pm 3,59E-14$ pour la variété rouge et $23,14 \pm 2,37E-14$ et $8,12 \pm 5.8E-14$ pour la variété jaune. Par ailleurs, les pommes jaunes et rouge sont statistiquement différents sur la base leurs indices de formes, mais leurs masses ne diffèrent pas de façon significative. Ces résultats sont en accord avec les travaux réalisés par Abou et al. (2015) en ce qui concerne la détermination de la masse des deux variétés, par contre, ils sont différents des valeurs données par de Hédiblé et al. (2017) qui ont analysé les pommes d'anacardes d'un cultivar provenant du Benin et ont trouvé que les indicateurs de formes variaient de 47,64 à 54,66 (indice de calibre) et de 0,73 à 0,78 (indice de sphéricité).

Tableau 1. Caractéristiques physiques des deux variétés de pommes d'anacardes

<i>Caractéristiques physiques</i>	<i>Valeurs obtenues (Variété rouge)</i>	<i>Valeurs obtenues (Variété jaune)</i>
<i>Masse (g)</i>	$55,36 \pm 5,94^a$	$55,09 \pm 5,94^a$
<i>Longueur (cm)</i>	$5,60 \pm 0,9^a$	$5,55 \pm 0,72^a$
<i>Largeur (cm)</i>	$2,91 \pm 0.61^a$	$2,77 \pm 0.73^b$
<i>Diamètre (cm)</i>	$2,75 \pm 0,5^a$	$2,55 \pm 0,71^b$
<i>Indice de calibre</i>	$8,21 \pm 3,59E-14^a$	$8,12 \pm 5.8E-14^b$
<i>Indice de sphéricité</i>	$23,54 \pm 7,18E-15^a$	$23,14 \pm 2,37E-14^b$

3.1.2. Caractérisation physicochimique

Les caractéristiques physicochimiques des pommes d'anacardes sont regroupées dans le tableau 2. Les variétés d'anacardes rouge et jaune ne sont pas statistiquement différentes sur le plan physicochimique, notamment en ce qui concerne les paramètres teneur en eau, degré Brix, pH, acidité titrable et taux de composé phénoliques. Les teneur moyenne en eau de ces derniers sont de 82,46 % pour la variété rouge et 83,88 % pour la variété jaune. Cette observation est en accord avec les travaux de Gnonlonfin et al. (2011), qui avait abouti à une teneur en eau de 82,71 % pour les deux anacardes.

Le degré Brix ($10,706 \pm 0,015$ pour la variété rouge et $10,863 \pm 0,015$ pour la variété jaune) et le taux de sucres réducteurs ($0,988 \pm 0,012$ pour la variété rouge et $0,955 \pm 0,002$ pour la variété jaune) sont proches des valeurs définies à partir des travaux de Lautié (2001). En effet, ceux-ci montraient que le taux moyen de sucre réducteur dans l'anacarde était de 0,853 g/100 g et que le degré Brix des extraits d'anacarde était en moyenne compris entre 8,2 et 10,2.

Le pH des pommes d’anacardes ($4,11 \pm 0,03$ pour la variété rouge et $4,00 \pm 0,05$ pour la variété jaune) est proche des valeurs données par Dionisio et al. (2018) qui ont étudiés les pommes d’anacardes provenant d’un cultivar Ivoirien (4,2), mais l’acidité titrable des pommes d’anacardes est supérieure a celle des pommes Ivoiriennes (0,25 g/100 g pour les pommes Ivoiriennes).

Le taux de polyphénols ($3,846 \pm 0,07$ pour la variété rouge et $3,752 \pm 0,03$ pour la variété jaune) est compris dans l’intervalle donné par les travaux de Hédiblè et al. (2017) qui s’étend de 2,506 à 4,247 g d’acide gallique/100 g de matière fraîche.

La teneur en vitamine C ($0,322 \pm 0,006$ pour la variété rouge et $0,331 \pm 0,008$ pour la variété jaune) quant à elle, se rapproche des résultats des travaux de Haendler et al. (1970) qui l’ont évalué à 3,72 g/100 g de matière fraîche.

Tableau 2 : Caractérisation physicochimique des pommes d’anacardes

<i>Eléments</i>	Anacarde rouge	Anacarde Jaune
<i>Teneur en eau (%)</i>	$82,46 \pm 2,89^a$	$83,88 \pm 2,43^a$
<i>Brix</i>	$10,706 \pm 0,015^a$	$10,863 \pm 0,015^a$
<i>pH</i>	$4,11 \pm 0,03^a$	$4,00 \pm 0,05^b$
<i>Acidité Titrable (g d’acide tartrique/100 g)</i>	$0,56 \pm 0,066^a$	$0,55 \pm 0,02^a$
<i>Vitamine C (g/100 g)</i>	$0,322 \pm 0,006^a$	$0,331 \pm 0,008^b$
<i>Polyphénols (g d’acide gallique/100 g)</i>	$3,846 \pm 0,07^a$	$3,752 \pm 0,03^a$
<i>Protéines Totaux (g/100 g)</i>	$0,501 \pm 0,027^a$	$0,513 \pm 0,043^b$
<i>Sucres réducteurs (g/100 g)</i>	$0,988 \pm 0,012^a$	$0,955 \pm 0,002^b$

Sur la même ligne, les chiffre avec la même lettre en exposant ne sont pas significativement différents au seuil de 5 %.

3.2. Caractérisation des vins

3.2.1. Analyses physicochimiques

Les résultats de l’analyse physicochimique des vins, ont été considérés comme réponses du plan d’expérience, ont fait l’objet de modélisation mathématique à l’aide du logiciel Design Expert 11.

La modélisation de l’évolution du degré Brix en fonction des paramètres du plan d’expérience a donné lieu a l’équation 3. Les critères de validation associés à ce modèle ont été satisfaisantes. L’analyse des Variances associée à ce modèle montre que seul l’effet de la quantité de sucre ajouté est significatif (Tableau 3). Une représentation graphique (Figure 1) présente une évolution croissante du degré Brix en fonction de la quantité de sucre initialement ajouté. Mounir et al. (2016) ont effectué des observations pareilles en étudiant l’influence de la pression osmotique sur la fermentation alcoolique. A cet effet, ils ont soumis des souches de *saccharomyces cerevisiae* à des concentrations croissantes en sucre et en éthanol. Le sucre serait donc responsable d’un stress osmotique provoquant l’inhibition de l’activité métabolique des levures, et même la mort par cytolysse.

$$\begin{aligned} \text{Brix} = & +7,36 A + 7,68 B + 7,14 C + 10,71 D - 0,2179 E + 4,99 AB + 6,51 AC + 0,9731 AD - 0,7917 AE \\ & + 1,86 BC + 1,05 BD - 0,0827 BE - 0,7501 ABD - 8,07 ABE + 8,04 ACD - 0,5157 ACE - 1,19 ADE \\ & + 0,7508 BCD - 3,06 BCE - 0,4440 BDE - 0,3298 CDE + 5,22 AD^2 + 0,1821 AE^2 + 3,32 BD^2 + 1,80 BE^2 \\ & + 5,71 CD^2 - 1,14 CE^2 \end{aligned} \quad (3)$$

$$R^2 = 0,9974 ; R^2\text{Ajusté} = 0,9860 ; AADM = 0,034; Bf = 0,99 ; Af = 1,034$$

La modélisation de l'évolution de l'acidité titrable en fonction des paramètres du plan d'expérience a donné lieu à l'équation 4. Les critères de validation associés à ce modèle ont été satisfaisantes. L'analyse des Variances associée à ce modèle montre que certains effets de facteurs sont significatifs (Tableau 4). Une représentation graphique (Figure 2) présente une évolution de l'acidité titrable en fonction de la quantité de sucre initialement ajouté (D) et du temps de fermentation (E). Cette courbe présente des évolutions dont la phase croissante a été décrite par Gancedo (2008), comme provenant de la transformation de quelques intermédiaires du cycle de l'acide tricarboxylique. Les enzymes de cette voie seraient soumises à une répression catabolique causée par le sucre. De ce fait, cette voie métabolique se diviserait en une branche oxydative et une branche réductrice dont le produit final commun est le succinate. Les phases décroissantes seraient dû à une complexation des acides organiques par les minéraux. En effet, sous l'effet de la montée du taux d'alcool, les sels d'acides deviennent moins solubles, c'est notamment le cas de la forme monopotassique de l'acide tartrique dont la cristallisation entraîne une baisse de l'acidité totale, puisque l'hydrogénotartrate de potassium ne possède plus qu'une fonction acide carboxylique (Akin, 2008).

$$\text{Acidité} = 4,23 + 0,2435 D - 2,65 E + 0,2799 DE - 1,08 D^2 - 0,7016 E^2 - 0,6322 D^2 E + 0,3781 DE^2 + 0,4227 D^3 - 3,47 E^3 \tag{4}$$

$$R^2 = 0,9240 ; R^2 \text{ Ajusté} = 0,8942 ; \text{AADM} = 0,076 ; \text{Bf} = 1,003 ; \text{Af} = 1,078$$

Tableau 3 : Analyse des variances associée au Suivi du degré Brix.

Source	P-value	Significatif
Model	< 0.0001	Significatif
⁽¹⁾ Linear Mixture	0,4837	
D-Sucre	< 0.0001	
E-Temps	0,7224	
AB	0,1339	
AC	0,0572	
AD	0,2847	
AE	0,3762	
BE	0,9238	

Tableau 4 : Analyse des Variances associée au Suivi de l'acidité titrable.

Terme	P-value	Significatif
Modèle	< 0.0001	Significatif
D-Sucre	0,7195	
E-Temps	0,0025	
DE	0,0102	
D ²	< 0.0001	
E ²	< 0.0001	
DE ²	0,0321	
D ³	0,5457	
E ³	0,0002	

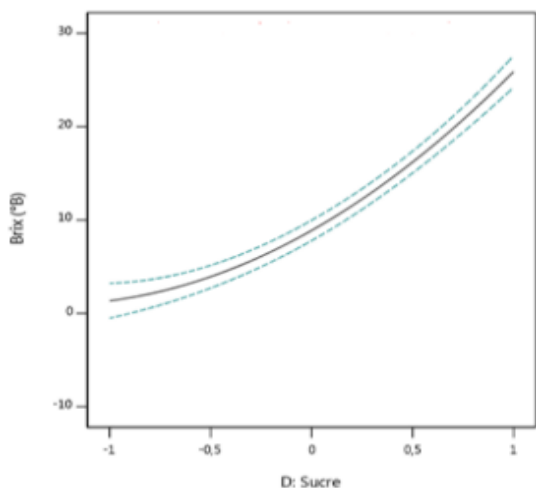


Figure 1 : Evolution du degré Brix en fonction de la quantité de sucre ajouté

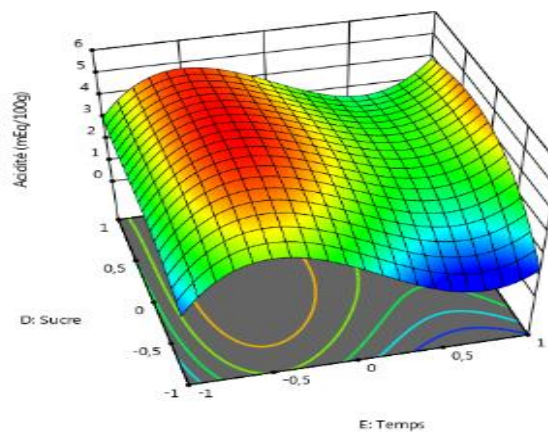


Figure 2 : Evolution de l'acidité titrable en fonction de la quantité de sucre ajouté et du temps de fermentation

La modélisation de l'évolution du pH en fonction des paramètres du plan d'expérience a donné lieu à l'équation 5. Les critères de validation associés à ce modèle ont été satisfaisantes. L'analyse des Variances associée à ce modèle montre que certains effets de facteurs sont significatifs (Tableau 5). Une représentation graphique (Figure 3) présente une évolution du pH en fonction des proportions relatives des éléments du mélange. De cette figure, on note une variation faible du pH en fonction des proportions relatives des anacardes et de la Betterave.

$$\begin{aligned}
 pH = & +3,61A + 3,54B + 3,58C - 69,37AD + 47,19AE - 2,91BD - 117,02BE + 72,49CD + \\
 & 66,82CE - 0,0792ADE - 0,2417BDE - 0,1425CDE + 0,0333AD^2 + 0,1926AE^2 - 0,1240BD^2 + \\
 & 0,3090BE^2 + 0,7432CD^2 - 0,1291CE^2 + 5,43AD^2E + 2,20ADE^2 + 1,60BD^2E - 7,76BDE^2 - \\
 & 5,71CD^2E + 4,53CDE^2 + 67,09AD^3 - 52,62AE^3 + 10,69BD^3 + 115,60BE^3 - 77,37CD^3 - \\
 & 60,98CE^3
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

$$R^2 = 0,9985 ; R^2 \text{ Ajusté} = 0,9842 ; AADM = 0,001 ; Bf = 1,000 ; Af = 1,001$$

Tableau 5 : Analyse des Variances associée au Suivi du pH.

Source	P-value	
Model	0,0024	Significatif
⁽¹⁾ Linear Mixture	0,0009	
AD	0,2594	
AE	0,0573	
BD	0,9738	
BE	0,4251	
CD	0,5968	
CE	0,6577	
ADE	0,0297	
BDE	0,0013	
CDE	0,0059	

Tableau 6 : Analyse des Variances associée au

Source	P-value	
Model	0,0052	Significatif
⁽¹⁾ Linear Mixture	0,0002	
D-Sucre	0,0702	
E-Temps	0,0066	
AB	0,6774	
AC	0,5149	
AD	0,6449	
AE	0,3100	
BC	0,0582	
BD	0,8911	
BE	0,2627	

La modélisation de l'évolution du pH en fonction des paramètres du plan d'expérience a donné lieu à l'équation 6. Les critères de validation associés à ce modèle ont été satisfaisantes. L'analyse des Variances associée à ce modèle montre que certains effets de facteurs sont significatifs (Tableau 6). Une représentation graphique (Figure 4) présente une évolution du pH en fonction des proportions relatives des éléments du mélange. Cette figure montre que la coloration évolue de façon croissante avec l'augmentation de la proportion de betterave rouge dans le mélange. Cette observation est appuyée par les travaux de Dieter et al. (2003) qui pensent que la plus importante source de bétanines connue jusqu'à nos jours reste la betterave rouge. En effet, les bétanines sont un groupe de pigment d'une coloration variant du rouge au violet pour les bétacyanines et jaune pour les bétaxanthines. La composante bétacyanine serait donc à l'origine de la coloration de la betterave rouge (Dieter et al., 2003) et par conséquent de l'intensité de coloration des vins dans lesquels la betterave est incorporée.

$$\begin{aligned}
 \text{Couleur} = & +0,5542 A + 0,5093 B + 2,28 C + 0,3295 D + 0,6088 E - 0,3220 AB - 0,4907 AC + \\
 & 0,1028 AD - 0,2351 AE - 1,59 BC - 0,0303 BD - 0,2620 BE + 0,0525 ABD - 1,03 ABE + 1,16 ACD - \\
 & 0,1821 ACE + 0,0773 ADE + 0,6082 BCD - 2,14 BCE + 0,2768 BDE + 0,2219 CDE + 0,7725 AD^2 - \\
 & 0,2786 AE^2 + 0,4241 BD^2 + 0,2758 BE^2 + 0,5796 CD^2 - 0,2821 CE^2
 \end{aligned}$$

(6)

$$R^2 = 0,9758 ; R^2 \text{ Ajusté} = 0,8711 ; AADM = 0,078 ; Bf = 1,003 ; Af = 1,08$$

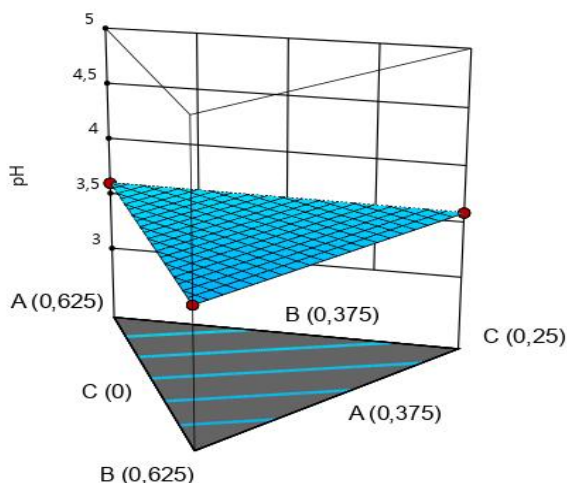


Figure 3 : Evolution du pH en fonction des Proportions relatives des éléments du mélange.

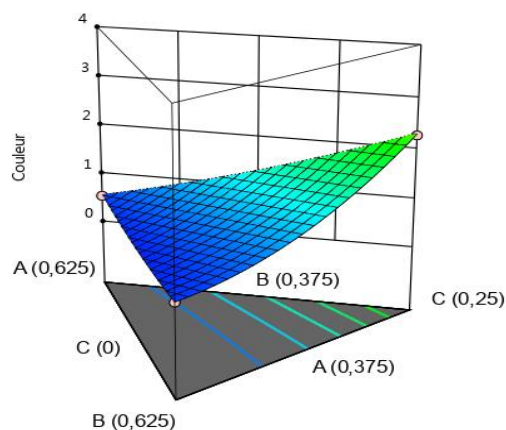


Figure 4 : Evolution de la couleur en fonction des Proportions relatives des éléments du mélange.

La modélisation de l'évolution du taux de vitamine C en fonction des paramètres du plan d'expérience a donné lieu à l'équation 7. Les critères de validation associés à ce modèle ont été satisfaisantes. L'analyse des Variances associée à ce modèle montre que certains effets de facteurs sont significatifs (Tableau 7). Une représentation graphique (Figure 5a) présente une évolution du taux de vitamine C en fonction des proportion relatives des éléments du mélange. La figure 5b quant à elle présente l'évolution du taux de vitamine C en fonction du temps de fermentation et de la quantité de sucre ajouté. De la figure 5a, on note une augmentation de la teneur en vitamine C avec la quantité de Betterave Rouge (B). Ceci montre que c'est l'anacarde qui serait responsable du plus grand apport de vitamine C dans les échantillons de vin. Cette observation est en corrélation avec les études de Haendler et al. (1970) qui ont donné pour la teneur en acide ascorbique dans l'anacarde, une valeur de 372 mg/100 g de matière fraîche. La figure 5b montre que la teneur en vitamine C est d'autant plus élevée que la quantité de sucre ajouté et le temps de fermentation sont élevés ; cette observation témoigne d'une éventuelle synthèse de vitamine C pendant la fermentation. En effet, Branduardi et al. (2007) ont montré qu'en période de stress, les levures de l'espèce *saccharomyces cerevisiae*, étaient capable de convertir le D-Glucose en acide ascorbique en passant par une séquence réactionnelle faisant intervenir respectivement le D-glucose-6-phosphate, le D-fructose-6-phosphate, le D-mannose-6-phosphate, le D-mannose-1-phosphate, le GDP-D-mannose, le GDP-L-galactose, le Galactose-1-phosphate, le L-galactose, le L-galactono-1,4-lactone et finalement l'acide L-ascorbique.

$$\text{Vitamine C} = +0,3435 A + 0,4301 B + 0,2365 C + 0,1090 AD + 0,2377 AE - 0,0759 BD + 0,0434 BE + 0,0103 CD + 0,0192 CE + 0,1029 ADE + 0,0880 BDE + 0,0081 CDE$$

(7)

$$R^2 = 0,9498 ; R^2 \text{ Ajusté} = 0,7322 ; AADM = 0,090 ; Bf = 1,005 ; Af = 1,0901$$

Tableau 7 : Analyse des variances associée au Suivi du taux de vitamine C.

Source	P-value	
Model	0,0001	Significatif
Mixture	0,0054	
AD	0,0111	
BD	0,0661	
BE	0,2811	
CD	0,7935	
CE	0,6296	
ADE	0,0301	
BDE	0,0600	
CDE	0,8565	

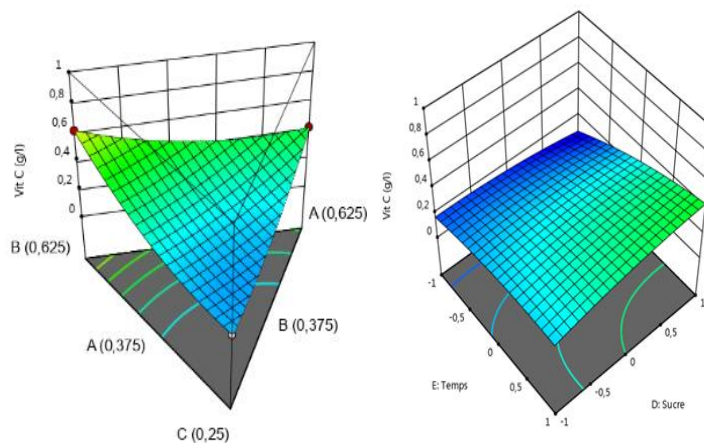


Figure 5 : Evolution du taux de vitamine en fonction des facteurs du mélange (5a) et du procédé (5b).

La modélisation de l'évolution du taux de polyphénols en fonction des paramètres du plan d'expérience a donné lieu à l'équation 8. Les critères de validation associés à ce modèle ont été satisfaisantes. L'analyse des Variances associée à ce modèle montre que certains effets de facteurs sont significatifs (Tableau 8). Une représentation graphique (Figure 6) présente une évolution du taux de polyphénols en fonction des proportions relatives des éléments du mélange. De cette figure, il ressort que le taux de polyphénols évolue positivement avec les proportions d'anacardes rouge et de betterave rouge. Cette observation est en accord avec les concentrations en polyphénols données par Dionisio et al. (2018), à savoir, 2,5 à 4,24 g/L pour les anacardes. Parallèlement, la betterave rouge contiendrait des polyphénols à hauteur de 0,507 g/L (Lee,2014).

$$\begin{aligned}
 \text{Polyphénols} = & +3,62 A + 2,89 B + 3,38 C - 1113,20 AD - 210,52 AE - 1598,11 BD - 2807,99 BE + \\
 & 2674,26 CD + 2945,72 CE + 0,2545 ADE + 0,3231 BDE - 0,0151 CDE - 10,45 AD^2 + 9,85 AE^2 - 2,84 BD^2 + 2,84 \\
 & BE^2 + 3,29 CD^2 - 3,37 CE^2 + 115,39 AD^2E - 43,21 ADE^2 + 136,04 BD^2E - 190,24 BDE^2 - 210,50 CD^2E + 195,89 \\
 & CDE^2 + 1156,58 AD^3 + 94,82 AE^3 + 1788,27 BD^3 + 2671,78 BE^3 - 2869,84 CD^3 - 2735,47 CE^3
 \end{aligned}$$

(8)

$$R^2 = 0,9888 ; R^2 \text{ Ajusté} = 0,8809 ; AADM = 0,007 ; Bf = 1,000 ; Af = 1,007$$

Tableau 8 : Analyse des variances associée au Suivi du taux de polyphénols.

Source	P-value	
Model	0,0459	Significatif
⁽¹⁾ Linear Mixture	0,0270	
AD	0,0181	
AE	0,0657	
BD	0,0255	
BE	0,0185	

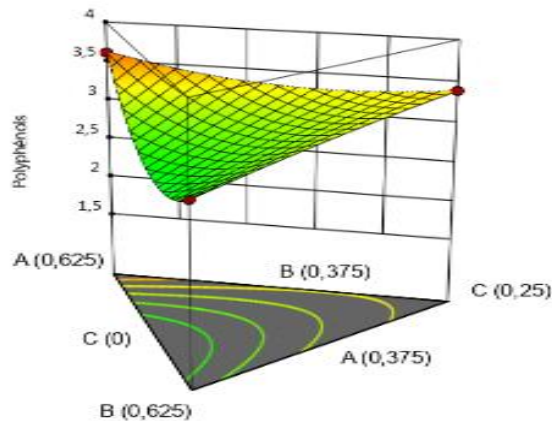


Figure 6 : Evolution du taux de polyphénols en fonction des proportions du mélange

La modélisation de l'évolution du taux de sucres réducteurs en fonction des paramètres du plan d'expérience a donné lieu à l'équation 9. Les critères de validation associés à ce modèle ont été satisfaisantes. L'analyse des Variances associée à ce modèle montre que les effets directs des facteurs sur l'évolution du taux de sucre réducteur, ne sont pas significatifs (Tableau 9).

$$\begin{aligned} \text{Sucres Réducteurs} = & +3,36 A + 2,68 B + 2,79 C + 7,87 AB + 0,5241 AC + 1,23 AD - \\ & 0,6736 AE + 15,90 BC + 1,66 BD - 0,0390 BE + 1,94 CD + 0,0908 CE - 9,89 ABD - 10,96 ABE - \\ & 4,66 ACD - 7,86 ACE - 0,5017 ADE + 1,36 BCD - 30,17 BCE - 0,2707 BDE - 0,3178 CDE + \\ & 59,45 ABDE - 2,66 ACDE - 143,82 BCDE \end{aligned} \tag{9}$$

$$R^2 = 0,9012 ; R^2 \text{ Ajusté} = 0,6487 ; \text{AADM} = 0,0390 ; \text{Bf} = 1,000 \text{ Af} = 1,385$$

La modélisation de l'évolution du taux d'alcool en fonction des paramètres du plan d'expérience a donné lieu à l'équation 10. Les critères de validation associés à ce modèle ont été satisfaisantes. L'analyse des Variances associée à ce modèle (Tableau 10), montre que combiné des facteurs D et E sur l'évolution du taux d'alcool est significatif. Une représentation graphique (Figure 7), montre que le taux d'alcool suit une évolution quadratique avec une concavité orienté vers le bas.

$$\begin{aligned} \text{Alcool Potentiel} = & +6,87 + 1,58 D + 1,35 E + 1,28 DE - 3,73 D^2 - 0,7976 E^2 - 1,05 D^2 E - \\ & 0,9832 DE^2 + 0,9157 D^3 + 0,8374 E^3 \end{aligned} \tag{10}$$

$$R^2 = 0,9207 ; R^2 \text{ Ajusté} = 0,8896 ; \text{AADM} = 0,314 ; \text{Bf} = 1,060 ; \text{Af} = 1,246$$

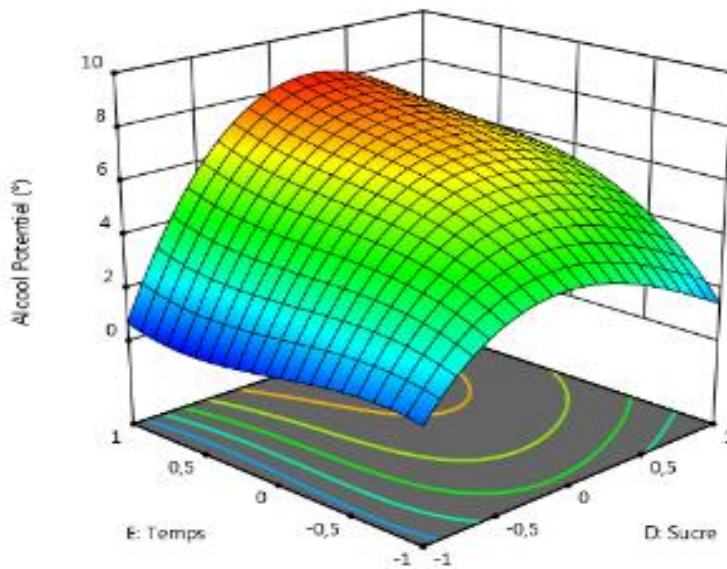


Figure 7 : Evolution du taux d’alcool en fonction de la quantité de sucre ajouté et du temps de fermentation.

Tableau 9 : Analyse des variances associée au Suivi du taux de sucres réducteurs.

Source	P-value	
Model	0,0263	Significatif
⁽¹⁾ Linear Mixture	0,8222	
AB	0,0985	
AC	0,9023	
AD	0,2303	
AE	0,4994	
BC	0,0030	
BD	0,1160	
CD	0,0736	
CE	0,9265	

Tableau 10 : Analyse des variances associée Suivi du taux d’alcool.

Source	P-value	
Model	< 0.0001	Significatif
D-Sucre	0,4030	
E-Temps	0,5383	
DE	0,0001	
D ²	< 0.0001	
E ²	0,0344	
D ² E	0,0383	
DE ²	0,0424	
D ³	0,6350	
E ³	0,7032	

3.2.2. Optimisation

Dans l’optique d’améliorer les caractéristiques des vins blanc et rosé, une optimisation a été conduite et le cahier de charge pour l’optimisation des deux vins est présenté dans le tableau 11.

Tableau 11 : Cahier de charge pour l’optimisation des vins.

Paramètre	Vin blanc		Vin rosé	
	Objectif	Valeur	Objectif	Valeur
A : Anacarde Rouge	Intervalle	0,375 – 0,625	Intervalle	0,375 – 0,625
B : Anacarde Jaune	Intervalle	0,375 – 0,625	Intervalle	0,375 – 0,625
C : Betterave Rouge	Intervalle	0 – 0,25	Intervalle	0 – 0,25
D : Sucre	Intervalle	-1 à +1	Intervalle	-1 à +1
E : Temps	Intervalle	-1 à +1	Intervalle	-1 à +1
Degré Brix	Intervalle	4,5 - 10	Intervalle	4,5 - 10
Acidité (mg AT/L)	Minimiser		Maximiser	
Couleur	Minimiser		Maximiser	
Vitamine C (mg/L)	Maximiser		Maximiser	
Sucres réducteurs (mg/L)	Maximiser		Maximiser	
pH	Intervalle		Intervalle	
Densité	Intervalle		Intervalle	
Alcool (°)	Maximiser		Maximiser	
Polyphénols (g/L)	Maximiser		Maximiser	
Turbidité (NTU)	Intervalle		Intervalle	

Le tableau 12 donne les résultats de l’optimisation. Les solutions sont celles présentant les meilleures desirabilités vis-à-vis de l’ensemble des objectifs du cahier de charge. Les valeurs de desirabilité obtenues ont été de 0,806 et 0,863 respectivement pour le vin blanc et le vin rosé

Tableau 12. Solutions optimales pour les vins blanc et rosé.

Paramètre	Vin blanc	Vin rosé
<i>A : Anacarde Rouge</i>	0,625	0,554
<i>B : Anacarde Jaune</i>	0,375	0,375
<i>C : Betterave Rouge</i>	0	0,0706
<i>D : Sucre</i>	-0,001	0,143
<i>E : Temps</i>	0,006	0,94
<i>Brix</i>	7,342	9,465
<i>Acidité (mg AT/L)</i>	4,215	4,08
<i>Vit C (g/L)</i>	0,434	0,478
<i>Sucres Réducteurs (g/L)</i>	3,353	1,312
<i>Polyphénols (g/L)</i>	3,676	60,27

3.2.3. Analyse sensorielle

Une classification K-means (Tableau 11) basée sur les propriétés physicochimiques des vins a permis de regrouper les échantillons en classes de propriétés proches. Il en est sorti 10 classes ; les échantillons éliminés sont : La classe 1 (V1, V5, V6, V10, V12, V13, V14, V27, V30 et V33), puis ceux des classes 4 et 5 à l’exception du vin témoin (V2, V4, V7, V8, V9 et V11).

Les données de l’analyse sensorielle ont été représenté suivant une analyse en composante principale (figure 2). Il en est sorti deux formulations sensoriellement intéressantes, la formulation 16 (composée de 37,5 % d’anacarde rouge et 62,5 % d’anacarde jaune) et la formulation 26 (composée de 49,8 % d’anacarde rouge, 37,5 % d’anacarde jaune et 12,62 % de betterave rouge).

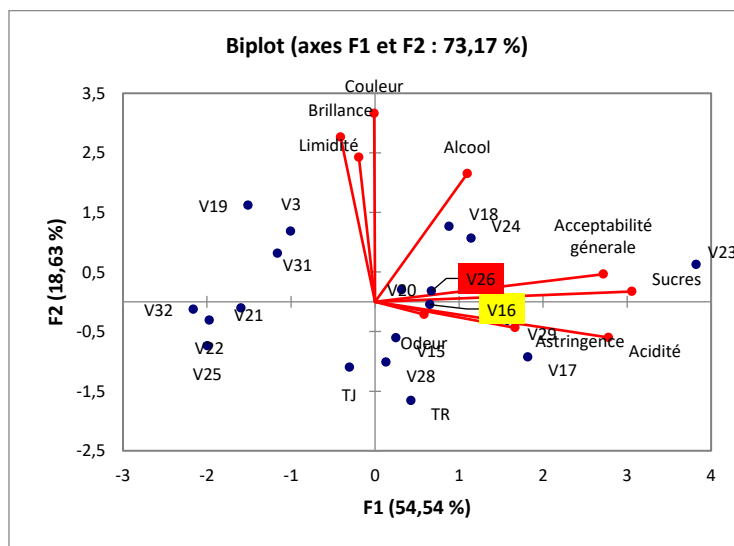


Figure 8. Représentation en ACP des données sensorielles

4. CONCLUSION

Le présent travail avait pour vocation de proposer un projet de valorisation des pommes d’anacardes dans la production de vins Camerounais. Il était question de caractériser les variétés d’anacardes ; d’extraire les moûts d’anacardes et betterave rouges (source de pigment rouge), mélanger l’ensemble suivant un plan D-optimal et fermenter afin d’obtenir des vins ; par la suite, de caractériser les vins formulés sur le plan physicochimique et sensoriel. Ainsi, pour obtenir le vin blanc optimisé, nous avons utilisé un moût composé de 37,5 % d’anacarde rouge, 62,5 % d’anacarde jaune, auquel nous avons ajouté du sucre à hauteur de -0,001 en unité codée, et fermenté pendant un temps de 0,006 en unité codée. De même, pour obtenir le vin rosé d’anacarde, nous avons utilisé un moût composé de 55,4 % d’anacarde rouge, 37,5 % d’anacarde jaune et 07,06 % de betterave rouge auquel nous avons ajouté du sucre à hauteur de 0,143 en unité codée, et fermenté pendant un temps de 0,94 en unité codée.

5. CONFLIT D’INTÉRÊT

Les auteurs déclarent qu’il n’y a aucun conflit d’intérêt.

6. RÉFÉRENCES

ACFCAM, 2019. Termes de référence pour les opérations de préparation et de mise en terre des plants pour le reboisement de la commune de Yoko, AFCAM CRIS N° 2018/400-359, 5p.

Akin Huberson, 2008. Evolution du pH pendant la fermentation alcoolique de moûts de raisins : modélisation et interprétation métabolique, thèse, Institut Nationale Polytechnique de Toulouse.

Branduardi P., Fossati T., Sauer M., Pagani R., Mattanovich D. and Poro D., 2007. Biosynthesis of Vitamin C by Yeast Leads to Increased Stress. *Plos One*, 2(10): e1092. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001092>.

Dieter Strack, Willibald Scliemann et Thomas Vogt, 2003. recent advances in betalain research. *Phytochemistry* 62(3), 247–269. DOI:10.1002/chin.200319225

Dionisio, T.S Goes, F.A.P. Abreu, 2018. Extrato Concentrado de Carotenoides Obtido da Fibra do Pedúnculo do Caju: Estabilidade Durante o Armazenamento Refrigerado (5°C), 22p.

- Gnonlonfin G.J.B, Fanou L., Fandohan P., 2011. Projet de recherche. Amélioration et contrôle de qualité des produits agricoles alimentaires au Bénin, 79p.
- Haendler et G. Duverneui L, 1970. Note sur les possibilités de transformation des fruits et des "faux fruits" de l'anacardier (*anacardium occidentale*), institut français de Recherches fruitières Outre-Mer, 379–384.
- Hédiblé L.G., AdjouE.S., Tchobo F.P., Agbangnan P., Ahohuendo B., Soumanou M.M., 2017. Caractérisation physico-chimique et morphologique de trois morphotypes de pommes d'anacarde (*Anacardium Occidental L.*) pour leur utilisation dans la production d'alcool alimentaire et de boissons spiritueuses. *Journal of Applied Biosciences*, **116**, 11546–11556.
- IRAD, GIZ, 2014. Analyse de la filière anacarde au Nord Cameroun : situation actuelle et perspective de développement, 37p.
- Lautié E., Manuel Dornier, Mauricio de Souza Filho, Max Reynes. Les produits de l'anacardier : caractéristiques, voies de valorisation et marchés. *Fruits*, EDP Sciences/CIRAD, 2001, **56**(4), 235–248.
- MINEPAT, 2018. Élaboration du schéma national d'aménagement et de développement durable du territoire du Cameroun, rapport sectoriel, page 135.
- Soro D., 2012. Couplage de procédés membranaires pour la clarification et la concentration du jus de pomme de cajou : performances et impacts sur la qualité des produits. Thèse, Montpellier Supagro, Pour l'obtention du grade de Docteur du Centre International d'Études Supérieures en Sciences Agronomiques, Spécialité Génie des Procédés, École doctorale : Sciences des Procédés-Sciences des Aliments.