

ÉTUDE DU SÉCHAGE MICROONDE PAR INTERMITTENCE SUR LA QUALITÉ PHYSICOCHIMIQUE DES FÈVES DE CACAO

Arsène L. I. NOGBOU^{1,2}, Djedjro C. AKMEL¹, Kouakou BROU²
et Emmanuel N. ASSIDJO^{1*}

¹Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse et de l'Environnement,
Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny (INP-HB),
BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Unité de Formation et de Recherche des Sciences et Technologies des
Aliments (UFR-STA), Université Nangui Abrogoua,
02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

*Correspondance, e-mail : assidjo@yahoo.fr

RÉSUMÉ

L'objectif de cette étude est d'analyser l'amertume, l'astringence et l'acidité au cours du séchage microonde par intermittence des fèves de cacao. Des expériences de séchage ont été menées sur des fèves de cacao fermentées, à l'aide d'un four à microonde domestique. Trois niveaux de puissances (450 W, 600 W, 700 W) ont été utilisés. Les paramètres physicochimiques analysés sont la teneur en polyphénols totaux, le pH, l'acidité volatile, l'acidité totale et la teneur en acide gras libre. Les résultats de cette étude ont montré que la teneur en polyphénol est comprise entre $21,33 \pm 2,31$ et $44 \pm 4,66$ mg EAG/g de poudre de cacao. Le pH a varié entre $4,97 \pm 0,01$ et $5,04 \pm 0,01$. L'acidité volatile a fluctué entre $0,71 \pm 0,02$ et $0,74 \pm 0,01$ mL de NaOH/ g de poudre de cacao. L'acidité totale est comprise entre $3,51 \pm 0,12$ et $3,83 \pm 0,14$ mL de NaOH/ g de poudre de cacao. La teneur en acide gras libre est rangée entre $1,32 \pm 0,01$ % et $1,36 \pm 0,05$ %. Les analyses statistiques ont montré que la puissance microonde influence significativement les paramètres physicochimiques analysés, à l'exception de la teneur en acide gras libre. Le séchage microonde par intermittence favorise la réduction de l'amertume, de l'astringence et de l'acidité, avec l'augmentation de la puissance microonde.

Mots-clés : séchage, cacao, microonde, acidité, amertume, astringence.

ABSTRACT

Study of microwave pulse drying on the physico-chemical quality of cocoa beans

This study aimed to analyze the bitterness, astringency and acidity during cocoa beans microwave pulse drying. Drying experiments carried out on fermented cocoa beans, using a domestic microwave oven. Three microwave power levels (450 W, 600 W and 700 W) were used. The studied physico-chemical parameters are the total polyphenols content, the pH, the volatile acidity, the total acidity and the free fatty acid content. The results showed that the total polyphenols content ranged from 21.33 ± 2.31 to 44 ± 4.66 mg EAG/g in cocoa powder. The pH varied from 4.97 ± 0.01 to 5.04 ± 0.01 . Volatile acidity fluctuated from 0.71 ± 0.02 to 0.74 ± 0.01 mL of NaOH / g in cocoa powder. Total acidity ranged from 3.51 ± 0.12 to 3.83 ± 0.14 ml of NaOH / g in cocoa powder. The free fatty acid content varied between 1.32 ± 0.01 % and 1.36 ± 0.05 %. The statistical analysis showed that microwave power influences the observed physico-chemical parameters, except for the free fatty acid content. Microwave pulse drying contribute to reducing the bitterness, astringency and acidity.

Keywords : *drying, cocoa, microwave, astringency, bitterness, acidity.*

I - INTRODUCTION

La culture du cacao est une activité importante dans la vie et l'économie de la Côte d'Ivoire. Avec une production de 1 780 000 tonnes au titre de la campagne 2014 et 2015 [1], la culture du cacao représente environ 10 % du produit intérieur brut et 31 % des recettes d'exportation [2, 3]. Depuis plusieurs années, le taux d'humidité d'une partie de la production nationale n'est pas conforme à la norme de 8 % ; Il est supérieur à celle-ci [4]. Les raisons de cette situation sont complexes et entraînent parfois, une dépréciation de la qualité du cacao, des surcoûts de traitements pour les industriels et des pertes financières importantes. Elles peuvent, néanmoins, s'expliquer par les méthodes de séchage utilisées, les besoins financiers du producteur ou encore les pratiques des pisteurs qui consiste à acheter le cacao quel que soit le taux d'humidité [5]. Ces raisons, en outre, montrent la nécessité d'améliorer le séchage en cacaoculture en réduisant significativement la durée de séchage. Le séchage en cacaoculture constitue une opération post-récolte importante pour la qualité des fèves de cacao. Il permet de réduire l'acidité et la teneur en eau (de 55 % à 7,5 %) des fèves [6].

Plusieurs méthodes de séchage sont utilisées en cacaoculture. Ces méthodes peuvent être classées en deux catégories notamment le séchage solaire et le séchage artificiel [7]. En Côte d'Ivoire, le séchage solaire demeure la méthode la plus courante et la plus utilisée [5]. Il dure environ 7 jours, lorsque les conditions climatiques sont bonnes et peut parfois se prolonger de 15 à 20 jours lorsque celles-ci ne sont pas favorables [5, 6]. Cette contrainte favorise d'une part, les risques de reprise d'humidité avec pour corollaire le développement des moisissures, l'augmentation de la teneur en acide gras libre et le développement de goûts indésirables. D'autre part, elle suscite chez les planteurs, l'usage de dispositifs de séchage non recommandés tels que le bitume, la tôle ou encore le feu de bois [4]. Dans le but d'apporter des solutions à ces insuffisances, des travaux ont été menés et ont permis d'aboutir sur des dispositifs séchage artificiel [6,7]. Ces dispositifs, en général, utilisent la convection forcée comme mode d'apport de la chaleur, contrairement aux dispositifs de séchage solaire, qui utilisent la convection naturelle. Dans l'ensemble, les dispositifs de séchage artificiels ont permis de réduire la durée de séchage et le risque de reprise d'humidité. Malheureusement, lorsque le séchage artificiel est trop rapide, certaines insuffisances, tels que la rétention des acides volatils dans les cotylédons apparaissent [8].

Les insuffisances constatées au cours du séchage du cacao mettent en relief les limites des dispositifs utilisant la convection comme mode d'apport de la chaleur. En outre, elles soulignent la nécessité d'innover dans la recherche des dispositifs encore plus performants. En ce sens, l'utilisation des techniques de séchage microonde peut constituer une voie d'amélioration alternative. Les techniques de séchage microonde offrent des opportunités considérables [9]. Elles peuvent réduire significativement la durée de séchage sans dégrader la qualité des produits biologiques [10-12]. Elles peuvent être, une technique de destruction thermique des microorganismes, à cause de la chaleur produite [9, 13, 14]. Plus encore, elles peuvent être employées pour inactiver les enzymes, notamment les lipases responsables de la dégradation de la matière grasse [15]. L'utilisation des techniques de séchage microonde en cacaoculture exige donc la connaissance des effets de ce mode de séchage sur la qualité du cacao, particulièrement sur le beurre ou encore sur le potentiel aromatique. Toutefois ces informations ne sont pas disponibles car il existe très peu de travaux sur le séchage microonde des fèves de cacao [16, 17]. L'objectif de cette étude est d'analyser les caractéristiques physicochimiques des fèves de cacao séchées au four microonde. Il s'agit spécifiquement de déterminer la teneur en polyphénols totaux et les différents types d'acidité du cacao : pH, l'acidité totale, l'acidité volatile et la teneur en acides gras libres.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Préparation des échantillons

Les expériences ont été réalisées sur des fèves de cacao fermentées (*Theobroma C*) provenant de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). Des échantillons de 200 g de fèves fermentées ont été préparés, répartis dans des sacs polyéthylènes puis stockés en chambre froide (Ocean NJ55TLL, Italie) à -4°C. Avant chaque expérience, les échantillons (200 g) sont décongelés à l'aide d'un four à microonde domestique (Samsung MW712K, Malaisie) puis exposé à la température ambiante du laboratoire (27°C ± 2°C) pendant 1 h. La température finale des fèves a été de 28 ± 0,5°C.

II-2. Procédure de séchage

Les expériences de séchage microonde des fèves de cacao ont été effectuées à l'aide d'un four à microonde domestique (Samsung MW712K, Malaisie). Le séchage microonde par intermittence, avec un rapport d'impulsion (RI) de 6 a été adopté afin de limiter les surchauffes locales. Le RI a été défini par l'expression suivante [10]:

$$RI = \frac{t_{on} + t_{off}}{t_{on}} \quad (1)$$

Avec : t_{on} : Temps de mise en marche des microondes (60 s) ; t_{off} : Temps d'arrêt des microondes (300 s).

Les expériences ont été menées avec 3 niveaux de puissances (450 W, 600 W, 700 W). Au cours des expériences de séchage microonde, chaque échantillon (200 g ; cv= 0,28 %) a été mis sur le plateau rotatif placé au centre du four à microonde. La teneur initiale moyenne en eau des fèves a été de 57,38 % ± 0,13 % (base humide) au début des expériences. L'énergie microonde a été appliquée par intermittence, jusqu'à ce que la masse de l'échantillon ait atteint un niveau minimum correspondant à une teneur en eau de 7,5 % (base humide), considérée comme la teneur en eau du cacao marchand. Pour chaque niveau de puissance, 9 essais ont été effectués.

II-3. Caractérisation physico-chimique des fèves de cacao

A la fin de chaque essai de séchage, caractérisée par une teneur en eau des fèves inférieure à 8 % (base humide), les coques des fèves de cacao ont été éliminées.

Les amandes obtenues ont été broyées à froid rapidement jusqu'à l'obtention d'une poudre fine et homogène grâce à un broyeur à couteaux (IKA M20, Allemagne). La poudre obtenue est emballée dans un sachet plastique et conservé au congélateur à -4°C pour des analyses ultérieures. Avant chaque analyse, les échantillons après être sortis du congélateur, ont été entreposés à la température ambiante du laboratoire ($26^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$) pendant 60 min.

II-3-1. Détermination des polyphénols totaux

La détermination des polyphénols de la poudre de cacao a été effectuée en trois phases qui sont : l'élimination de la matière grasse, l'extraction et l'estimation des polyphénols.

II-3-1-1. Elimination de la matière grasse

La matière grasse de la poudre de cacao a été éliminée à l'aide d'une extraction au soxhlet pendant 8 h. Le solvant utilisé a été l'hexane. Après l'extraction de la matière grasse, la poudre dégraissée a été mise dans une étuve (Mettler, Allemagne) à 40°C pendant 15 min. Elle a été ensuite conservée à 4°C dans un flacon, muni d'un bouchon hermétique jusqu'à la phase d'extraction des polyphénols.

II-3-1-2. Extraction des polyphénols

L'extraction a été réalisée à l'aide de la procédure suivante. Une quantité de poudre dégraissée de cacao (0,5 g) a été introduite dans un ballon de 100 mL. Après ajout de 80 mL d'une solution d'acétone (80 %) à la poudre dégraissée de cacao, le ballon a été placé dans un bain à ultrasons (Selecta, Espagne), pendant 1 h à la température ambiante. L'extrait polyphénolique contenu dans le ballon, a été ensuite filtré à l'aide d'un papier filtre et le résidu a été rincé par la solution d'acétone (80 %). La phase organique de l'extrait a été éliminée à l'aide d'un évaporateur rotatif (Buchi R11, Suisse), à 45°C . Le ballon contenant la phase aqueuse de l'extrait a été plongé dans le bain à ultrason pendant 1 min. L'extrait a été recueilli dans un flacon puis conservé à 4°C .

II-3-1-3. Estimation de la teneur en polyphénols totaux

La teneur en polyphénols totaux dans les extraits a été déterminée à l'aide de la méthode de Folin-Ciocalteu décrite par [18]. Dans un tube à essai, 2,5 mL du réactif de Folin-Ciocalteu (10 %) ont été ajoutés à 30 μL d'extrait polyphénolique de poudre de cacao. Le milieu réactionnel (mL) a été placé dans l'obscurité pendant 2 min. Ensuite, 2 mL de carbonate de sodium (75 g/L) ont été ajoutés au milieu réactionnel (m_1).

Le nouveau milieu réactionnel (m_2) a été placé dans un bain marie (Memmert, Allemagne) à 50°C. Après 15 min d'incubation au bain marie, l'absorbance du milieu réactionnel (m_2) refroidi, a été mesurée à une longueur d'onde de 760 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-visible (Jasco V-350, Japon). Une droite d'étalonnage a été réalisée avec l'acide gallique à différentes concentrations ($R^2 = 0,994$). Les mesures ont été répétées trois fois et la teneur en polyphénols totaux a été exprimée en milligrammes d'équivalent acide gallique par gramme d'extrait (mg EAG/g).

II-3-2. Caractérisation de l'acidité des fèves de cacao

II-3-2-1. Détermination de l'acidité totale

La détermination de l'acidité totale a été faite selon la norme ISO 1114, (1989). Elle a été faite par suivi pH-métrique de 5 g de poudre de cacao dans 50 mL d'eau distillée bouillie et refroidie. Le dosage a été fait avec une solution fraîche de soude 0,1 N jusqu'à pH égal à 8,3.

II-3-2-2. Détermination du pH

La mesure du pH a été réalisée selon la méthode OICCC N°9 (1963). Une quantité de poudre de cacao (10 g) de poudre de cacao a été préparée dans 90 mL d'eau distillée bouillante. Le mélange a été homogénéisé puis refroidi jusqu'à 25°C. Un pH-mètre (Cyberscan 11, Singapour) étalonné à pH 4 et 7, a permis la détermination du pH de la solution placée sur un agitateur magnétique.

II-3-2-3. Détermination de l'acidité volatile

L'acidité volatile (AcV) a été déterminée selon la méthode ISO 1114 (1969). Un (1) g de poudre de cacao à 0,001 g a été introduit dans un ballon à fond rond de 500 mL avec 2 à 3 gouttes d'acide sulfurique fumant. Après ajout de 400 mL d'eau distillée, le ballon a été placé dans un chauffe ballon (Electrothermal, Royaume Uni) puis ajusté sous l'extracteur. Une colonne de distillation raccordée à un réfrigérant a été placée à la partie haute de l'extracteur. Un erlenmeyer de 500 mL, contenant 50 mL d'eau distillée, a été placé à la sortie du réfrigérant. Le ballon a été chauffé jusqu'à l'obtention de 300 mL de distillat. Le distillat a été dosé en présence de phénolphtaléine, avec une solution fraîche de soude 0,10 N placée dans une microburette de 2 mL.

II-3-2-4. Détermination de la teneur en acide gras libre

La détermination de la teneur en acide gras libre, a consisté dans un premier temps à l'extraction du beurre de cacao au Soxhlet à l'hexane pendant 8 h, et à prélever 5 g de ce beurre à 10^{-3} g près. A cette quantité sont ajoutés 100 mL d'alcool à 95 % préalablement neutralisés avec la soude 0,1 N en présence de phénoltaléine. Puis, dans un deuxième temps, une solution alcoolique de potasse (0,5 g/L) a été préparée. Le dosage de la solution de beurre de cacao obtenue a été fait sous agitation permanente, en versant goutte à goutte la solution de potasse alcoolique déjà titrée et contenue dans une microburette. L'arrêt du dosage a été marqué par un virage au rose de la solution de beurre.

II-4. Analyse statistique

L'analyse des variances (ANOVA I) et le test de Duncan ont été les outils statistiques utilisés pour l'analyse des données. Cette analyse a été réalisée à l'aide du logiciel STATISTICA 7.1 (Statsoft, France).

III - RÉSULTATS

III-1. Teneur en polyphénols totaux

L'analyse de la *Figure 1* montre que la teneur moyenne en polyphénols totaux est comprise entre $21,33 \pm 2,31$ et $44 \pm 4,6$ mg EAG/g de poudre de cacao. Le niveau de puissance 700 W présente la teneur la plus élevée en polyphénols totaux tandis que la teneur la moins élevée est observée avec la puissance 450 W. Plus la puissance microonde est élevée, plus les fèves de cacao ont des teneurs élevées en polyphénols totaux. L'analyse des variances montre que les différences observées sont significatives. Plus encore, l'analyse post hoc, à travers le test de Duncan montre que la teneur en polyphénols totaux, obtenue à la puissance 450 W, est statistiquement différent ($p < 0,05$) de celles obtenues aux puissances 600 W et 700 W. Cette analyse suggère que la chaleur générée par l'énergie microonde au cours du séchage, aurait une influence sur les teneurs en polyphénols totaux.

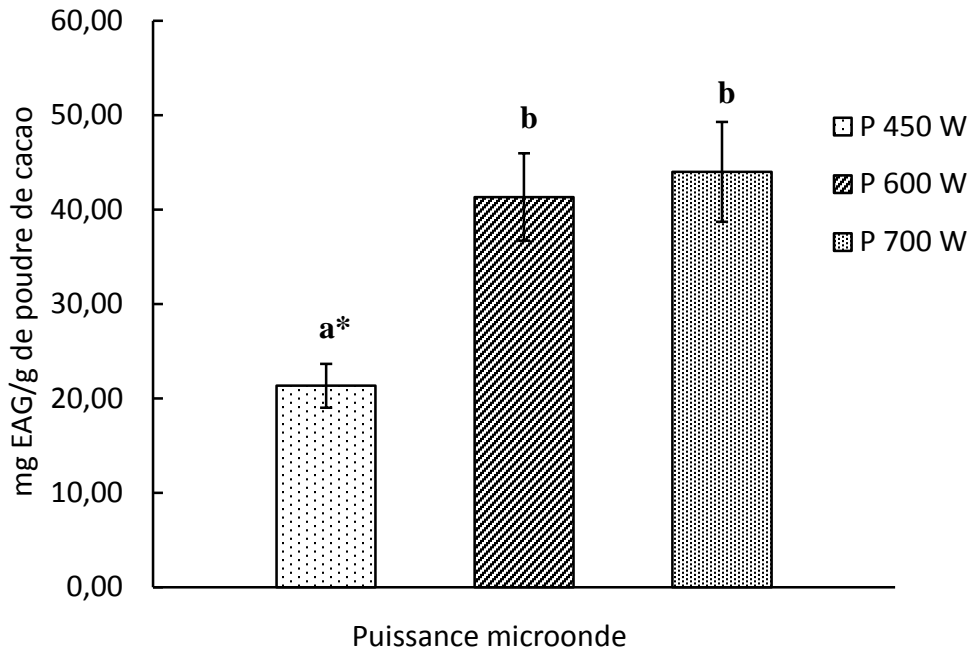


Figure 1 : Distribution de la teneur en polyphénols totaux en fonction de la puissance microonde

* Les teneurs en polyphénols totaux affectées de la même lettre sont statistiquement identiques, au seuil de 5 % (n=9)

III-2. pH

Les valeurs de pH des fèves de cacao séchées par microonde, sont illustrées à la **Figure 2**. L'examen de cette figure révèle que le pH des fèves est compris entre 4,97 et 5,04. Les fèves de cacao séchées aux microondes, ont un pH acide. Le pH le plus élevé (5,04) est obtenu avec la puissance la plus élevée (700 W), tandis que le moins élevé est observé au niveau de la puissance la moins élevée (450 W). La **Figure 2** montre en outre, que plus la puissance microonde est élevée, plus le pH des fèves est élevé. Dans le domaine expérimental sélectionné, la puissance microonde et le pH évoluent dans le même sens. En outre, l'analyse des différences observées entre les pH, à l'aide de l'ANOVA, montre que celles-ci sont significatives. Ces résultats mettent en relief l'influence de la puissance microonde sur le pH.

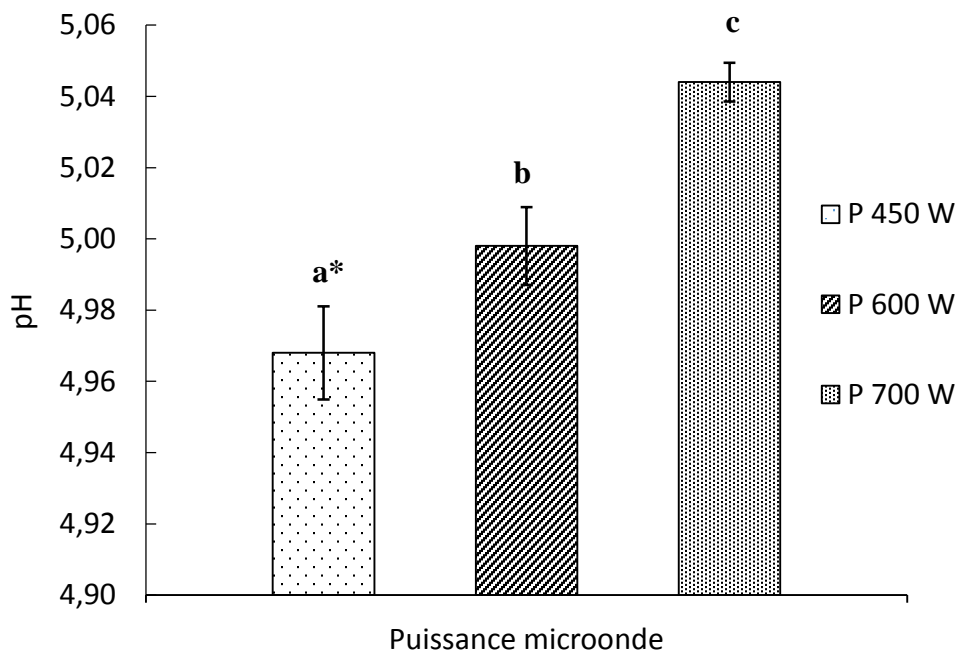


Figure 2 : Distribution du pH en fonction de la puissance microonde
 * Les valeurs du pH affectées de la même lettre sont statistiquement identiques, au seuil de 5 % (n=9)

III-3. Acidité Volatile

L'acidité volatile (AcV) des fèves obtenues après le séchage microonde est illustrée par la **Figure 3**. L'observation de cette **Figure** permet de montrer que l'AcV a été comprise entre 0,71 et 0,74 mL de NaOH/ g de poudre de cacao. La valeur la plus élevée de l'AcV est observée au niveau de la puissance 450 W. La valeur la moins élevée est obtenue au niveau de la puissance 700 W. L'élévation de la puissance microonde à 600 W et 700 W, entraîne respectivement une diminution de 1,35 % et 4,05 % de l'AcV par rapport à celle obtenue à la puissance 450 W. Plus la puissance microonde augmente, plus l'acidité volatile diminue. Par ailleurs, l'analyse des variances indique que les différences observées entre les AcV sont significatives. Ce résultat indique que la puissance microonde aurait une influence sur l'acidité volatile des fèves de cacao, dans le domaine expérimental choisi. En outre, il indique que le séchage microonde par intermittence ne favoriserait pas une rétention des acides volatils, avec l'augmentation de la puissance microonde.

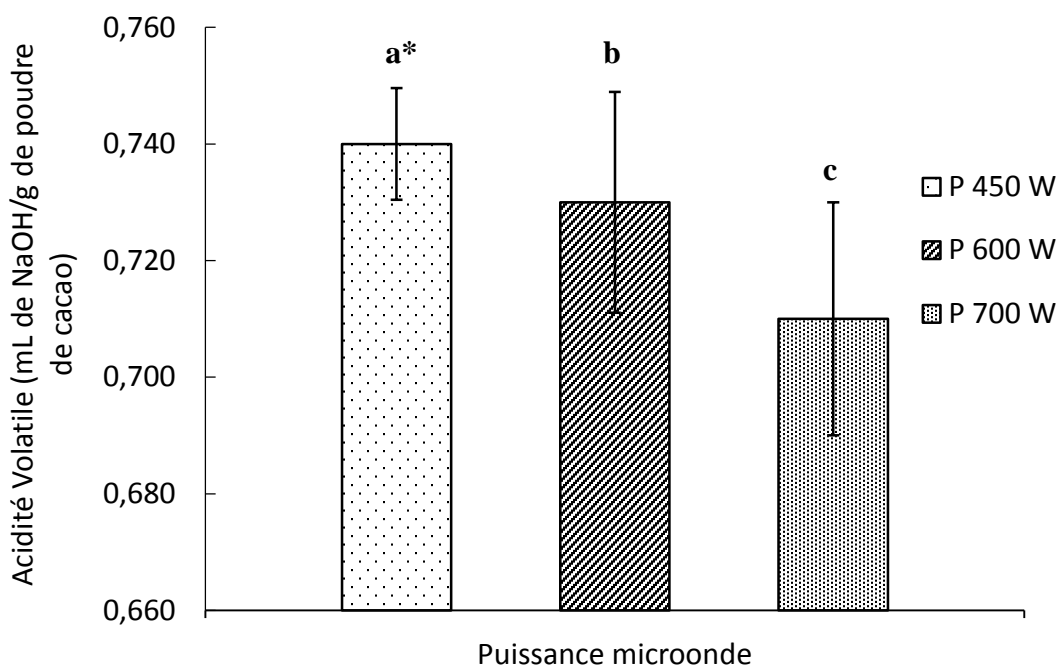


Figure 3 : Distribution de l'acidité volatile en fonction de la puissance microonde

* Les teneurs en acides volatils affectées de la même lettre sont statistiquement identiques, au seuil de 5 % (n=9)

III-4. Acidité Totale

La **Figure 4** présente l'acidité totale (AcT) des fèves de cacao obtenues après le séchage microonde par intermittence à trois niveaux de puissances (450 W, 600 W, 700 W). L'analyse de la figure montre que les valeurs de l'AcT sont comprises entre 3,51 et 3,83 mL de NaOH/g de poudre de cacao. La valeur la moins élevée de l'AcT est observée au niveau de la puissance 700 W. La valeur la plus élevée de l'AcT est obtenue avec la puissance 450 W. L'augmentation de la puissance microonde à 600 W et 700 W, permet d'observer respectivement une réduction de l'AcT de 5,11 % et 8,27 %, comparativement à l'AcT obtenue à la puissance 450 W. En outre, la **Figure 4** indique que plus la puissance microonde est élevée, plus les fèves sont moins acides. En outre, l'analyse des variances indique que les différences observées entre les AcT sont significatives. Ces observations mettent en évidence l'influence de la puissance microonde sur l'AcT.

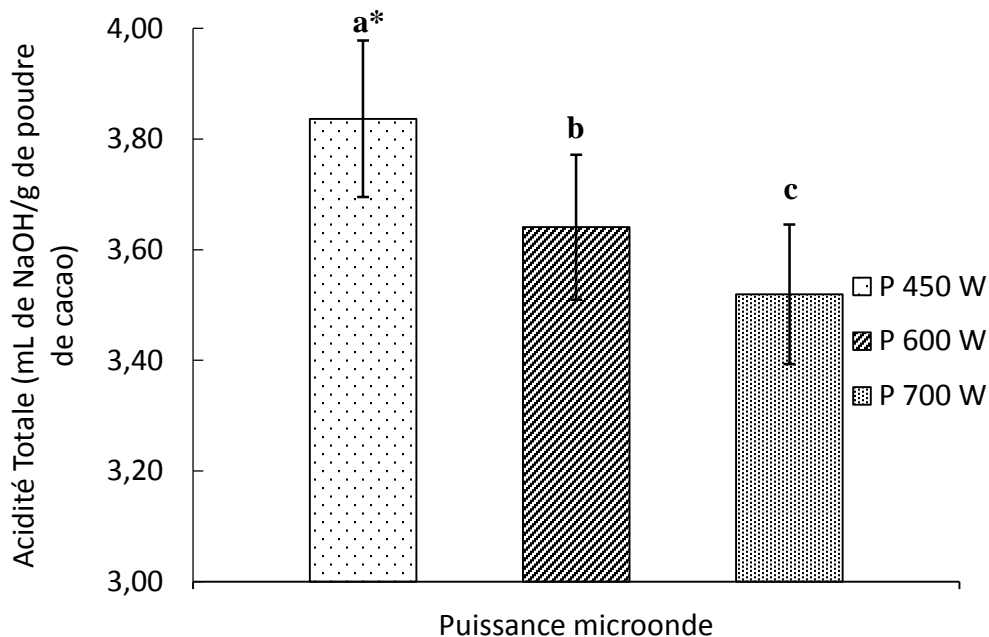


Figure 4 : Distribution de l'acidité totale en fonction de la puissance microonde

* Les valeurs de l'acidité totale affectées de la même lettre sont statistiquement identiques, au seuil de 5 % (n=9)

III-5. Acide gras libre

La **Figure 5** illustre la teneur en acides gras libres (AGL) des fèves séchées aux microondes. Cette teneur varie entre 1,32 % et 1,36 %. La teneur la plus élevée a été observée au niveau de la puissance 450 W. La teneur la moins élevée a été obtenue au niveau des puissances 600 W et 700 W. L'analyse de la variance a montré que les différences observées entre les AGL ne sont pas significatives. Ces résultats indiquent que les puissances microondes utilisées dans le domaine expérimental, n'ont pas d'influence significative sur la teneur en AGL. Ils montrent que le séchage microonde par intermittence ne contribuerait pas, de manière significative, à la formation de radicaux libres dans le domaine expérimental choisi.

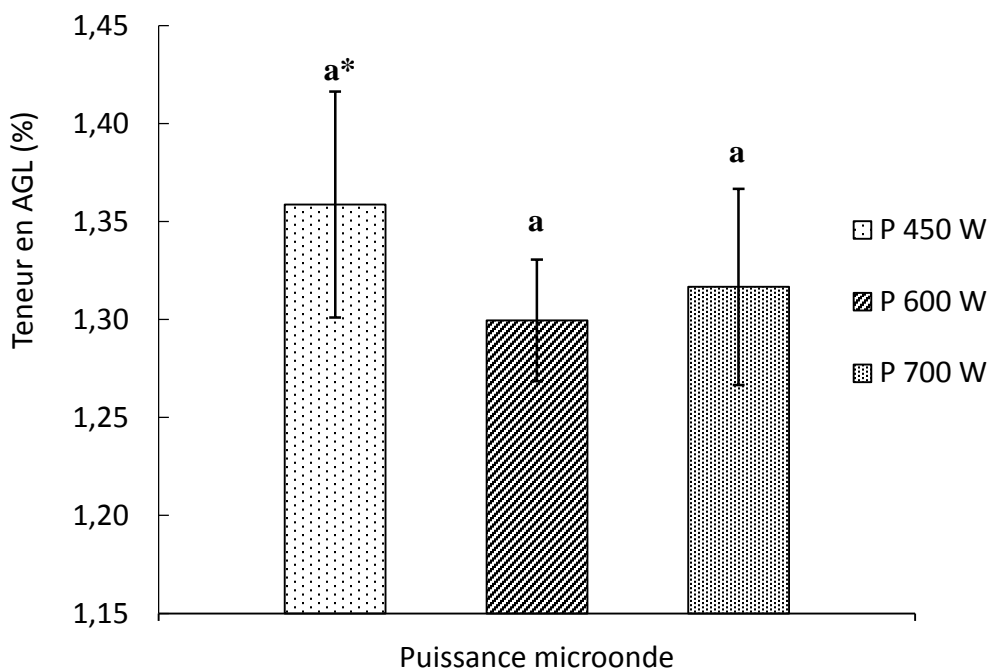


Figure 5 : Distribution de la teneur en acides gras libres en fonction de la puissance microonde

* Les teneurs en acide gras libre affectées de la même lettre sont statistiquement identiques, au seuil de 5 % (n=9)

IV - DISCUSSION

Les teneurs en polyphénols totaux sont comprises entre 21,33 et 44 mg EAG/g de poudre de cacao. Dans notre étude, ces teneurs augmentent lorsque la puissance microonde s'élève. Ce résultat a été souligné par [19] dans le cas du séchage microonde du gingembre (*Zingiber officinale Roscoe*). Il peut être due au fait qu'à la puissance 750 W, la quantité de polyphénols libérée serait plus élevée que celle relâchée à la puissance 600 W et 450 W. En effet, au cours du séchage microonde, la chaleur intense favoriserait une destruction thermique des cellules à pigments contenant les polyphénols. A des niveaux de puissance microonde élevée, la destruction thermique des cellules à pigment serait plus importante. Ce qui a pour conséquence une quantité de polyphénols plus élevée [19, 20]. Toutefois, les teneurs en polyphénols totaux obtenues dans notre étude, sont inférieures à celles observées par certains auteurs [21, 22]. [21], dans le cas du séchage par air chaud des fèves de cacao, par exemple, ont observé des teneurs en polyphénols totaux compris entre 45 et 73,9 mg EAG/g.

[22], quant à eux, ont souligné des teneurs variant entre 45,75 et 52,31 mg EAG/g. Dans notre étude, les faibles teneurs observées pourraient d'une part, s'expliquer par le brunissement enzymatique des polyphénols par la polyphénoloxydase [23, 24]. D'autre part, elles peuvent être liées à l'action de la chaleur générée au cours du séchage microonde. Celle-ci (la chaleur) contribue à la réduction de la teneur en polyphénols [24, 25] ; Au cours de traitement à haute température, la structure des polyphénols peut être dégradée [26]. Les teneurs en polyphénols totaux obtenues dans notre cas, témoignent d'une perte relativement élevée des polyphénols au cours du séchage microonde par intermittence. Les essais de séchage microonde par intermittence adoptés dans notre étude, favorisent une réduction de l'amertume et de l'astringence des fèves de cacao, à l'instar des méthodes de séchage naturel. Les résultats relatifs au pH, ont montré que les fèves séchées à différentes puissances microondes n'ont pas le même pH. Le pH des fèves est compris entre $4,97 \pm 0,01$ et $5,04 \pm 0,01$. Il est acide et proche du pH des fèves séchées par [27] sur des dispositifs de séchage solaire fréquemment rencontrés en Côte d'Ivoire. Il est différent du pH des fèves possédant une bonne qualité aromatique (pH = 5,5) et originaires de l'Afrique de l'ouest [28]. Il est moins acide que le pH des fèves respectant les standards malaysiens (pH compris entre 4,4 et 4,7). Le niveau du pH donne une indication de l'acidité des fèves.

Les valeurs du pH obtenues sont dues à la diffusion des acides organiques tels que l'acide acétique, l'acide lactique, l'acide gluconique etc, durant la fermentation [29] et à leur élimination durant le séchage [6]. L'acidité totale (AcT) et l'acidité volatile (AcV) obtenues au cours des différents essais de séchage microonde par intermittence, varient en fonction de la puissance microonde utilisée. Les valeurs de l'AcT sont inférieures à celles mentionnées par [27] dans le cas d'un séchage sur claie des fèves de cacao. Par contre, comparativement aux travaux de [30], ces valeurs sont supérieures à celles rapportées par ces derniers. Il a été de même au niveau de l'acidité volatile. L'analyse de l'AcT et l'AcV a montré que plus la puissance microonde est élevée, plus l'acidité est moins élevée. Ces résultats pourraient s'expliquer par le mécanisme de transfert de masse qui se produit pendant le séchage microonde par intermittence. En effet, durant le séchage microonde, l'augmentation de la puissance microonde entraîne une réduction de la durée de séchage [31, 32]. Cette réduction est due au départ rapide de l'eau sous l'effet des gradients internes de température et de pression. Le départ rapide de l'eau entraînerait aussi l'élimination d'une grande partie des acides volatils. Ces résultats sont différents de ceux rapportés dans le cas de séchage artificiel à air chaud du cacao [28, 33]. En effet, dans ce cas, un séchage rapide entraîne une forte acidité des fèves, à cause de la rétention des acides volatils [33].

Les teneurs en AGL obtenues dans notre étude sont comprises entre 1,32 % et 1,36 %. Dans l'ensemble, les teneurs en AGL sont inférieures à 1,75 %, la valeur critique recommandée par les directives de l'union européenne (EEC, 1973). Elles sont supérieures à celles obtenues par [30] dans le cas d'un séchage solaire des fèves de cacao. Par contre, elles sont inférieures à celles obtenues par [27]. L'analyse statistique des teneurs en AGL a montré, que les puissances microondes employées n'ont pas d'influence sur les teneurs en AGL. Elle révèle d'une part, que le rayonnement microonde n'a pas dégradé le beurre. D'autre part, elle montre que la chaleur générée par les microondes n'est pas suffisante pour oxyder le beurre de cacao. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [34] dans leur étude relative à l'oxydation des huiles végétales chauffées par microondes. Ces auteurs ont montré que la fraction d'acides gras saturés, des huiles végétales étudiées, ne subit pas une oxydation significative au cours du chauffage par microonde. En outre, nos résultats rejoignent les propos de [30]. Ces auteurs ont rapporté que les dispositifs de séchage de cacao (solaire et artificiel), n'ont pas d'effet sur l'hydrolyse des triglycérides du beurre de cacao, par conséquent sur la teneur en AGL.

L'oxydation des lipides et la lipolyse sont les principales voies de dégradation de la matière grasse [35]. En fonction des agents initiateurs, l'oxydation des lipides peut être classée en deux types : l'auto-oxydation et l'oxydation enzymatique. La lumière, particulièrement les rayonnements ultraviolets (UV), est un agent initiant les réactions radicalaires dans le cadre de l'auto-oxydation [35]. Contrairement au rayonnement UV, les microondes ne sont pas capables de rompre les liaisons chimiques [36]. Leur énergie est significativement inférieure à celle des rayonnements UV. Cela indique que le rayonnement microonde ne pourrait pas entraîner une oxydation du beurre de cacao, particulièrement l'initiation radicalaire, première étape de l'oxydation des lipides. Toutefois, certains auteurs [36] ont montré que la chaleur générée par les microondes peut entraîner la rupture des liaisons chimiques. Celle-ci (la chaleur), à l'instar de la lumière, est aussi un facteur d'initiation des réactions radicalaires. Cependant dans notre étude, à cause de la stabilité du beurre de cacao, la chaleur générée par les microondes, n'est pas suffisante pour déclencher une auto oxydation des triglycérides. En effet, les risques d'oxydation du beurre de cacao sont négligeables [37]. Cela est dû essentiellement à sa faible teneur en acides gras insaturés [38]. Par ailleurs, l'absence de dégradation du beurre de cacao observé dans notre étude, peut être aussi liée à l'inactivation probable des lipases (E.C.3.1.1.3), éventuellement présentes, par les microondes. En effet, selon [15] le chauffage microonde est efficace dans l'inactivation de la lipase (E.C.3.1.1.3).

Cette lipase serait d'ailleurs responsable de l'hydrolyse des triglycérides du beurre de cacao [37]. Ainsi, son inactivation pourrait expliquer l'absence de formation de radicaux libres, pendant le séchage microonde des fèves.

V - CONCLUSION

Cette étude a eu pour objectif d'évaluer l'influence du séchage microonde par intermittence sur l'amertume, l'astringence et l'acidité des fèves de cacao. Pour atteindre cet objectif, des essais de séchage microonde par intermittence ont été réalisés à différentes puissances microondes, 450 W, 600 W et 700 W. La teneur en polyphénols totaux, le pH, l'acidité volatile, l'acidité totale et la teneur en acide gras libre ont été déterminés. Les analyses physicochimiques ont montré que les teneurs en polyphénols totaux sont relativement faibles. Les fèves de cacao séchées avec la puissance la moins élevée, 450 W, sont plus acides que celles séchées à la puissance la plus élevée, 700 W. A l'exception de la teneur en acide gras libre, la puissance microonde, dans le domaine expérimental, influence la teneur en polyphénols totaux, le pH, l'acidité volatile et totale. Le séchage microonde par intermittence ne favorise pas la rétention des acides volatils avec l'augmentation de la puissance microonde, dans les conditions expérimentales. Il favorise la réduction de l'amertume, de l'astringence et de l'acidité avec l'augmentation de la puissance microonde.

RÉFÉRENCES

- [1] - Anonyme 1, Bilan de la réforme de la filière Café-Cacao Octobre 2012-Septembre 2015, *Journée Nationale du cacao et du chocolat*, 2^{ème} édition, Yamoussoukro-Côte d'Ivoire, (2015) 1-21.
- [2] - Anonyme 2, Les politiques agricoles à travers le monde : quelques exemples, Côte d'Ivoire, Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de La Forêt, service des relations internationales, Paris, <http://www.Agriculture.gouv.fr.>, (2013) 6.
- [3] - D. BANZIO, Comprendre et opérer dans les filières café et cacao en dix modules. In: Akmel D. C., Assidjo N. E., Yao B., Effets des dispositifs de séchage à l'air libre sur la qualité des fèves de cacao bord champ. *Revue Ivoirienne des sciences et technologies*, 11, (2008) 45–58.
- [4] - D. C. AKMEL, Séchage solaire des fèves de cacao : Etude expérimentale et modélisation de la cinétique de séchage. *Thèse de doctorat, Université Abobo-Adjamé*, Abidjan - Côte d'Ivoire, (2010) 156.

- [5] - K. LAINE, Enquête sur les pratiques culturelles dans les cacaoyères en Côte d'Ivoire Octobre – Novembre 2001. *Projet PACCC / ICCO / Industrie sur l'amélioration de la qualité du cacao en Côte d'Ivoire*. Rapport d'enquête, (2001) 1–27.
- [6] - M. BAREL, Qualité du cacao : l'impact du traitement post-récolte. *Savoir-faire, Editeur Quae*, Paris, (2013) 1-104.
- [7] - C. L. HUI, C. L. LAW, M. C. LAW, Simulation of heat and mass transfer of cocoa beans under stepwise drying conditions in a heat pump dryer. *Applied Thermal Engineering*, 54(1), (2013) 264–271.
- [8] - R. SALTINI, R. AKKERMAN, S. FROSCHE, Optimizing chocolate production through traceability : A review of the influence of farming practices on cocoa bean quality. *Food Control*, 29(1), (2013) 167–187.
- [9] - S. CHANDRASEKARAN, S. RAMANATHAN, T. BASAK, Microwave food processing - A review. *Food Research International*, 52(1), (2013) 243–261.
- [10] - S. GUNASEKARAN, Pulsed microwave–vacuum drying of food materials. *Drying Technology*, 17, (1999) 395-412.
- [11] - C. BEAUDRY, G.S.V. RAGHAVAN, T. J. RENNIE, Microwave finish drying of osmotically dehydrated cranberries. *Drying Technology*, 21, (2003) 1797-1810.
- [12] - H. SOROUR, H. EL-MESERY, Effect of microwave and infrared radiation on drying of Onion Slices. *Impact Journals*, 2(5), (2014) 119–130.
- [13] - T. OHLSSON, N. BENGTSSON, Microwave technology and foods. *Advances in Food and Nutrition Research*, Academic Press (43), (2001) 1–76.
- [14] - H. U. HEBBAR, N. K. RASTOGI, Microwave Heating of Fluid Foods. *Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods*. Elsevier Inc, (2012) 369–409.
- [15] - S. KERMASHA, B. BISAKOWSKI, H. RAMASWAMY, F. VAN DE VOORT, Comparison of microwave, conventional and combination heat treatments on wheat germ lipase activity. *International Journal of Food Science and Technology*, 28, (1993) 617–623.
- [16] - A. NOGBOU, D. C. AKMEL, K. BROU, N. E. ASSIDJO, Séchage des fèves de cacao par des modèles semi-empiriques et par un réseau de neurones artificiels récurrent : cas du séchage microonde par intermittence. *European Scientific Journal*, 11(9), (2015) 118–133.
- [17] - V. N. ABOUO, B. A. KASSI, E. N. ASSIDJO, G. N. AMANI, B. K. YAO, Influence de séchage solaire et micro- extraits de beurre de cacao (*Theobroma cacao l.*). *European Scientific Journal*, 11(12), (2015) 263–273.
- [18] - J. E. WOOD, S. T. SENTHILMOHAN, A. V. PESKIN, Antioxidant activity of procyanidin-containing plant extracts at different pHs. *Food Chemistry*, 77, (2002) 155-161.

- [19] - I. R. KUBRA, L. JAGAN, M. RAO, Microwave drying of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) and its effects on polyphenolic content and antioxidant activity. *International Journal of Food Science and Technology*, 47, (2012) 2311–2317.
- [20] - R. K. TOOR, G. P. SAVAGE, Effect of semi-drying on the anti-oxidant components of tomatoes. *Food Chemistry*, 94, (2006) 90–97.
- [21] - C. L. HUI, C. L. LAW, S. SUZANNAH, Drying kinetics of the individual layer of cocoa beans during heat pump drying. *Journal of Food Engineering*, 108(2), (2012) 276–282.
- [22] - R. NAZARUDDIN, M. Y. AYUB, S. MAMOT, H. HENG CHENG, HPLC Determination of Methylxanthines and Polyphenols Levels In Cocoa and Chocolate Products. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 7(2), (2001) 377–386.
- [23] - E. O. AFOAKWA, Cocoa cultivation, bean composition and chocolate flavour precursor. *Chocolate Science and Technology*, 1st Edition. Wiley-Blackwell, Iowa-USA, (2010) 12–34.
- [24] - T. M. KYI, W. RAMLI, W. DAUD, A. B. MOHAMMAD, M. W. SAMSUDIN, The kinetics of polyphenol degradation during the drying of Malaysian cocoa beans. *International Journal of Food Science and Technology*, 40, (2005) 323–331.
- [25] - C. L. HUI, C. L. LAW, S. SUZANNAH, MISNAWI, M. CLOKE, Polyphenols in cocoa. *Asian Journal of Food and Agro-Industry*, 2(04), (2009) 702–722.
- [26] - C. M. G. RENARD, C. CARIS-VEYRAT, C. DUFOUR, C. LE BOURVELLEC, Le devenir des polyphénols et caroténoïdes dans les fruits et légumes traités thermiquement. *Innovations Agronomiques*, 42, (2014) 125–137.
- [27] - D. C. AKMEL, N. E. ASSIDJO, B. YAO, Effets des dispositifs de séchage à l'air libre sur la qualité des fèves de cacao bord champ. *Revue Ivoirienne des sciences et technologies*, 11, (2008) 45–58.
- [28] - S. JINAP, J. THIEN, T. N. YAP, Effect of drying on acidity and volatile fatty acids content of cocoa beans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 65, (1994) 67–75.
- [29] - B. S. KHAIRUL, Impact of Fermentation Duration on the Quality of Malaysian Cocoa Beans Using Shallow Box. *KKU Research Journal, Supplement Issue*, (2014) 74–80.
- [30] - B. G. I. ZAHOUALI, S. T. GUEHI, A. M. FAE, L. BAN-KOFFI, J. G. NEMLIN, Effect of Drying Methods on the Chemical Quality Traits of Cocoa Raw Material. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 2(4), (2010) 184–190.

- [31] - G. DADALI, E. DEMIRHAN, B. OZBEK, Microwave Heat Treatment of Spinach: Drying Kinetics and Effective Moisture Diffusivity. *Drying Technology*, 25, (2007) 1703-1712.
- [32] - L. M. BAL, A. KAR, S. SATYA, S. N. NAIK, Drying kinetics and effective moisture diffusivity of bamboo shoot slices undergoing microwave drying. *International Journal of food Science and Technology*, 45, (2010) 2321–2328.
- [33] - M. BAREL, Traitement du cacao : fermenteur et séchoirs intégrés. *Plantation Recherche Développement*, 2 (5), (1995) 35-42.
- [34] - F. CAPONIO, A. PASQUALONE, T. GOMES, Changes in the fatty acid composition of vegetable oils in model doughs submitted to conventional or microwave heating. *International Journal of food Science and technology*, 38, (2003) 481–486.
- [35] - Y. R. YADA, B. BRYKSA, W. K. NIP, An introduction to food biochemistry and food processing. *Food Biochemistry and Food Processing*, 2nd Edition. Wiley Blackwell, Iowa-USA, (2012) 3-24.
- [36] - K. M. KNUTSON, E. H. MARTH, M. K. WAGNER, Microwave heating of food. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 20, (1987) 101–110.
- [37] - S. T. GUEHI, M. DINGKUHN, E. CROS, G. FOURNY, G. MOULIN, A. C. VIDAL, Impact of cocoa processing technologies in free fatty acids formation in stored raw cocoa beans. *African Journal of Agricultural Research*, 3, (2008) 174–179.
- [38] - R. WHITEFIELD, ‘Making chocolates in the factory’. In: Guehi S. T., Dingkuhn M., Cros E., Fourny G., Moulin G., Vidal A. C., Impact of cocoa processing technologies in free fatty acids formation in stored raw cocoa beans. *African Journal of Agricultural Research*, 3, (2008) 174–179.