

***Caractérisation physico-chimique de
quelques populations de niébé (*Vigna
unguiculata* L.Walp.)***

influence des traitements technologiques

Melle MEBDOUA Samira

Mme Ounane G. Maître de conférences Directeur de thèse
Soutenue le 14-12-2011

Jury: Mr Ounane S.M. Professeur Président Mme Mekliche L. Professeur Examineur Mme Ferhat Z.
Maître de conférences Examineur

Table des matières

Dédicace . . .	5
Remerciements . . .	6
LISTE DES ABREVIATIONS . . .	7
Résumé . . .	8
Abstract . . .	9
ص غ ل م ل ا . . .	10
Introduction . . .	11
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE . . .	12
I. Importance du niébé . . .	12
I-1 Appellation et origine . . .	12
I-2 Taxonomie . . .	12
I-3 Production de niébé dans le monde . . .	12
I-4 Formes de consommation de niébé . . .	13
I- 5 Importance socio-thérapeutique . . .	13
I-6 Description agro morphologique du niébé . . .	14
II Composition biochimique des graines du niébé . . .	16
II-1 Composition chimique . . .	16
II- 2 Protéines . . .	16
II- 3 lipides . . .	19
II- 4 Glucides . . .	20
II- 5 Composition en éléments minéraux . . .	22
II- 6 Vitamines . . .	23
II-7 Facteurs antinutritionnels . . .	23
III- Traitements technologiques . . .	26
III-1 Trempage . . .	26
III-2 Cuisson et autoclavage . . .	26
III-3 Fermentation . . .	27
III-4 Germination . . .	27
III-4 Irradiation . . .	28
IV- Travaux réalisés sur <i>Vigna Unguiculata</i> en Algérie . . .	29
MATERIEL ET METHODES . . .	31
I Origine du matériel végétal . . .	31
II Traitements technologiques et préparation des farines . . .	32
II-1 Traitements technologiques . . .	32
II- 2 Préparation des farines . . .	32
III- Méthodes d'analyse . . .	33
III-1 Analyse physique . . .	33
III – 2 Analyse chimique . . .	33
III-3 Analyses technologiques . . .	37
VI - Analyse statistique . . .	38

RESULTATS ET DISCUSSION . .	39
Chapitre I : Caractérisation des populations de <i>Vigna unguiculata</i> . .	39
I- Caractéristiques physiques des graines . .	39
II Caractérisation biochimique . .	40
III- Conclusion . .	48
Chapitre II : Effet des traitements technologiques sur la composition de <i>Vigna unguiculata</i> . .	50
I- Tests technologiques . .	50
II- Tests biochimiques . .	52
III- Conclusion . .	60
Conclusion Générale . .	62
Références Bibliographiques . .	64
ANNEXES . .	80
Annexe 1 Analyse de variance : Effets de population sur les caractéristique physiques et la composition chimique des graines de niébé locales . .	80
Annexe 2 Analyse de variance : Effets de population sur les caractéristique physiques et la composition chimique des graines de niébé locales . .	80
Annexe 3 Effet de Populations : Comparaison des moyennes avec le test LSD . .	81
Annexe 4 Effet de traitement Comparaison des moyennes avec le test LSD . .	82

Dédicace

A mon père et ma mère A mes sœurs, frères et belles sœurs A mes nièces et neveux A mes oncles et tantes A toute ma famille A tout mes camarades de l'ENSA. A mes collègues de l' INPV . A tous, je dédie ce travail.

Remerciements

Avant tout, je remercie Allah de m'avoir donné la force et aidé à réaliser ce travail

Je remercie Mme Ounane G. Maître de conférences à l'ENSA pour avoir dirigée ce travail, et pour ses orientations et ses conseils.

Je remercie vivement Mr Ounane S.M. Professeur à l'ENSA d'avoir accepté de présider le jury malgré ses multiples tâches.

Je remercie également Mme Mekliche L. Professeur et Mme Ferhat Z. Maître de conférences à l'ENSA pour avoir accepté de juger ce travail.

Je tiens à remercier tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce travail en particuliers: le personnel du département de phytotechnie, Mohamed du département de Technologie alimentaire, Redouane du département de pédologie, de l'ENSA.

Je tiens à exprimer mes remerciements à Mme Madani , Responsable du laboratoire de Technologie alimentaire de l'ITGC ainsi que tout le personnel du laboratoire en particuliers El-Aram et Amel.

Mes remerciements sont également adressés à Mr Amrani, Directeur du CACQE d'Alger ainsi que Mr Galez et tout le personnel de son laboratoire.

Je remercie Mr Boudjneh, Directeur Général de l'ITELV, ainsi que le personnel du laboratoire en particulier Samia.

Je tiens à remercier également Mme Boulahbel, Directrice du laboratoire des Sciences des Sols, et Mme Tazka, Directrice du laboratoire de Zootechnie de l'INRAA, ainsi que tout le personnel du laboratoire en particulier: Rachid, Mme azeiz, Leila et Khaled pour leur aide et leur compréhension.

Enfin, j'exprime mes sincères remerciements à tous les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

LISTE DES ABREVIATIONS

- KD: Kilo Dalton
- M : Molaire
- N : Normale
- cv : Cultivars
- gr :Groupe
- L: Linné.
- FAO : Food and Agriculture Organisation
- MS : Matière sèche
- MM : Masse molaire
- S :Svedberg
- UI : Unité Internationale
- TIU : Trypsine Inhibiteur Unité
- CIU : Chymotrypsine Inhibiteur Unité
- ITCMI : Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles
- IP6: myo-inositol hexakisphosphate
- IP5 : myo-inositol pentakisphosphate
- IP4 :myo-inositol tetrakisphosphate
- HU : Hémagglutinine unité
- kGy : Kilogray
- RAPD : Random Amplified Polymorphic DNA
- Walp: Walpers.
- CPG : Chromatographie en Phase Gazeuse
- ANOVA : Analyse Of Variance
- PPDS : La Plus Petite Différence Significative

Résumé

La première partie de notre étude a concerné la caractérisation physique et biochimique de six (06) populations de niébé cultivées localement.

Les populations étudiées présentent des teneurs élevés en protéine qui est de 23,65 - 29,98% MS, et en amidon 42,63-49,18%, en cellulose brute 4,37%-9,38%, elles présentent des faibles teneurs en lipides 1,35%-1,66%MS, tandis que le taux des sucres solubles est de 3,28 - 6,03% MS. Le taux de l'acide phytique est de 1323,83mg /100g - 1731,16mg /100g.

La composition en éléments minéraux et en acides gras a été également étudiée, le potassium est l'élément minéral majoritaire pour les graines de niébé, tandis que l'acide palmitique, l'acide linoléique et l'acide linoléique sont les acides gras majoritaires chez cette légumineuse.

La deuxième partie de notre étude a concerné l'effet de trempage pendant 8h, 16h et 24h, et de cuisson avec et sans trempage préalable ainsi que l'autoclavage avec et sans trempage préalable sur la composition biochimique de niébé.

De façon générale, ces traitements ont causé une diminution significative de la teneur en cendres, en K, P, Na, Ca, Mg, en sucres solubles et en acide phytique; et ont causé une augmentation de la teneur en protéines, en amidon, et en lipides, tandis que la teneur en cellulose brute, en Mn et la composition en acides gras demeurent statistiquement constantes.

Mots clés: Niébé ; *Vigna unguiculata* ; Caractérisation ; Populations ; Traitements technologiques.

Abstract

The first part of our study concerned physical and biochemical characterization of six locales populations of cowpea.

The studied populations present high levels of proteins about 23,65-29,98% DM, starch 42,63-49,18% DM, and crude fibre 4,37%-9,38% DM, they present low levels of lipids 1,35%-1,66%DM, while soluble sugar are 3,28 - 6,03% DM. the level of phytic acid is between 1323,83mg /100g - 1731,16mg /100gDM.

Composition from mineral elements and fatty acids was also studied; Potassium is the major mineral element in cowpea seed, while palmitic, linoleic and linolenic acids are the major fatty acids in this legume.

The second part of this study concerned the effect of soaking for periods of 8h, 16h and 24h, the effect of cooking, soaking with cooking, autoclaving, soaking with autoclaving on the biochemical composition of cowpea seed.

In general, those processing was caused significant reduction in the level of ash, K, P, Na, Ca, Mg, soluble sugar and phytic acid, and was caused increasing in the level of protein, starch and lipid; while the level of crude fibre , Mn and fatty acids composition remain constant..

Keywords: Cowpea; *Vigna unguiculata* ; Characterization ; Populations ; Processing.

ص خل مل ا

الجزء الأول من هذا العمل خصص لدراسة الخواص الفيزيائية و الكيميائية لسنة أنواع من لوبيا المغروسة محليا . الأنواع المدروسة أظهرت معدلات عالية من البروتينات %23,65-29,98 ، النشاء %42,63-49,18 و الألياف الخام %4,37-9,38 . كما اظهرت معدلات ضعيفة من الدسم 1,35 – %1,66 ، في حين أن معدل السكريات الذائبة بلغ %6,03 - 3,28 ، بلغ محل حمض الفينيك 1323,83 مع /100غ – 1731,16 مع /100غ . لقد تم أيضا دراسة تركيبة الأملاح المعدنية و الأحماض الدسمة ، البوتاسيوم كان العنصر المعدني الأكثر تواجدا في بذرات هذه اللوبيا ، في حين أن حمض البلمينيك ، اللينوليك و اللينولينيك كانوا الأحماض الدسمة الأكثر تميزاً لهذا النوع من اللوبيا.

الجزء الثاني من هذا العمل خصص دراسة تأثير المعالجات التكنولوجية على التركيبة الكيميائية لهذه البذور . بصفة عامة المعالجات تسببت في خفض معدلات كل من الرماد ، البوتاسيوم ، الكالسيوم ، الصوديوم ، الفسفور ، المنغنيز ، السكريات الذائبة و حمض الفينيك . كما تسببت في رفع معدلات كل من البروتينات، النشاء و الدسم. في حين أن معدل الألياف الخام ، المنغنيز و تركيبة الأحماض الدسمة بقي ثابتاً .

المفتاح: اللوبيا، *Vigna unguiculata* ؛ الخواص الفيزيائية و الكيميائية؛ المعالجات التكنولوجية؛ الأنواع.

Introduction

Les légumes secs occupent une place importante dans l'alimentation des algériens. Ils constituent un apport important et peu coûteux en protéines (18 à 30% MS). Ils exercent une influence très favorable sur la fertilité des sols grâce à la symbiose fixatrice d'azote. Ils jouent par conséquent un rôle primordial dans la rotation de culture et peuvent être envisagés comme une alternance à la jachère qui continue à occuper jusqu'à présent 40% de la superficie agricole utile en Algérie.

En Algérie les légumes secs les plus consommés sont : le pois chiche, la lentille, la fève, le haricot et les pois secs, ainsi que d'autres espèces moins connues tel que le niébé.

Le niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) est l'une des plus importantes légumineuses alimentaires dans certains pays d'Afrique sub-saharienne, d'Amérique du sud et de l'Inde. Il est aussi riche en protéines que les autres légumes secs connus, et il possède un temps de cuisson relativement court. En Algérie, sa culture est essentiellement localisée dans la région de Kabylie, d'El Kala et dans certaines régions du sud, sur des superficies restreintes relevant souvent du jardinage.

La graine mûre contient 23-25% de protéine, 50-67% d'amidon, des vitamines du groupe B, des éléments minéraux essentiels, tels que le fer, le calcium et le zinc. Toutefois, les protéines du niébé, comme les autres protéines de légumineuses, possèdent des teneurs faibles en acides aminés soufrés. Une combinaison niébé –céréales peut améliorer la valeur nutritionnelle du mélange par une correction réciproque de leurs profils en acides aminés.

Plusieurs études sur l'aspect agro morphologiques et sur la symbiose *Rhizobium-Vigna unguiculata* des populations cultivées localement ont été réalisées à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique dans le but de maintenir, promouvoir et préserver les ressources locales de cette espèce.

Par contre, aucune étude concernant la valeur alimentaire n'a été réalisée sur les populations locales de niébé.

Dans ce contexte, notre travail consiste en une caractérisation physico-chimique de quelques populations locales du niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.), et d'étudier l'influence des traitements technologiques sur sa composition biochimique.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Importance du niébé

I-1 Appellation et origine

Le niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) est une légumineuse alimentaire d'une grande importance en Afrique subsaharienne. Il constitue une source de protéines végétales capables de se substituer en partie aux protéines animales. Il est aussi considéré comme la viande des pauvres, et est très apprécié en Afrique de l'Ouest.

Il est connu sous diverses appellations, cowpea, dolique, niébé. En Algérie, le niébé est communément appelé loubia kabyle en Kabylie, tadelaght dans les oasis du sud ou loubia arebi dans la région d'El Kala. Il est traditionnellement cultivé et consommé dans certaines régions telles que la Kabylie, la zone Est de la Wilaya d'El Taref et les oasis du Sahara (Ghalmi *et al.*, 2005)

L'Afrique et l'Asie représentent les aires d'origine de domestication et de diversité des cultigrupes du genre *Vigna* (Maréchal *et al.*, 1978). Les formes sauvages et cultivées du niébé (*V. unguiculata*) sont réparties dans toute l'Afrique, depuis la lisière méridionale du Sahara jusqu'en Afrique australe. Des données, tant moléculaires qu'ethnobotaniques, laisseraient supposer que les premières formes domestiquées du niébé seraient apparues dans le nord-est de l'Afrique. Cette hypothèse prévaudrait également pour deux autres espèces, le sorgho et le mil, qui ont accompagné le niébé dans sa diffusion à travers le continent africain. Toutefois, le manque de matériel végétal spontané en provenance du nord-est de l'Afrique ne permettait pas encore de confirmer cette hypothèse (Pasquet et Baudoin, 1997 ; Pasquet *et al.*, 1997).

I-2 Taxonomie

Vigna unguiculata appartient à l'ordre des Fabales, Famille des Fabaceae, Tribu des Phaseoleae, au genre de *Vigna* et à la section *Catiang* (Verdcourt, 1970 ; Maréchal *et al.*, 1978).

Le niébé est divisé en 10 sous-espèces pérennes et une sous-espèce annuelle, subsp. *unguiculata*. Cette dernière comprend les formes cultivées du niébé (var. *unguiculata*) et la forme sauvage annuelle, (var. *spontanea*) (Pasquet, 1993a, 1993b, 1997). La sous-espèce cultivée *unguiculata* a été divisée en cinq cultigrupes (cv. gr.) nommés : *Unguiculata*, *Biflora*, *Melanophthalmus*, *Sesquipedalis* et *Textilis* (Pasquet, 1998).

I-3 Production de niébé dans le monde

La production mondiale des graines sèches de niébé a été évaluée en 2008 à environ 5 millions de tonnes pour une superficie de 11 806 648 Ha (Tableau 1 ; FAO, 2010). Une grande proportion de cette production est apportée par l'Afrique environ (95%), Les grands foyers de production de niébé en Afrique sont regroupés au Centre et à l'Ouest

qui fournissent 4,30 millions de tonnes. Le **Nigeria**, premier producteur mondial, fournit 54% de l'approvisionnement mondial et le Niger (deuxième producteur) en fournit 23%. Le rendement moyen mondial de niébé est relativement faible (456,4kg à l'hectare). En Afrique, ces rendements moyens varient généralement entre 50 et 980 kg par hectare en fonction des variétés utilisées, des conditions climatiques, du système de culture et du degré d'utilisation d'engrais et de pesticides (Cissé et Hall, 2003).

Pays	Superficie (Ha)	Rendement (Kg/Ha)	Production (Tonnes)
Burkina-Faso	638 297	470,0	300 000
Birmanie	153 000	980,3	150 000
Niger	5 294 663	239,0	1 265 839
Nigeria	4 289 000	679,8	2 916 000
Sénégal	200 000	607,3	121 463
Les autres pays	1 231 688	-	635 933
Total	11 806 648	456,4	5 389 235

Tableau 1 : Production du niébé dans le monde en 2008

FAO, 2010

En Algérie, le niébé est traditionnellement cultivé dans la région de Kabylie, la zone Est d'El Kala et les Oasis du Sahara ; mais actuellement, sa culture n'existe plus que sur des superficies très restreintes, relevant souvent du jardinage (Ghalmi *et al.*, 2010).

I-4 Formes de consommation de niébé

Les légumineuses sont très largement consommées dans le monde sous plusieurs formes. Le **niébé** est consommé après cuisson dans une sauce, sous forme de gâteau (**moinmoin** au **Nigeria** et **koki** au **Cameroun**), de beignet (**akara** au **Nigeria**). Dans la plupart des cas, il est consommé avec des céréales et produits dérivés (Rachie et Roberts, 1974 ; Ngarmsak, 1989).

En Algérie, le niébé est peu consommé, il est utilisé surtout dans les plats traditionnels à base de céréales tel que le couscous ou le Berkoukes. Il est additionné en petite quantité, sa proportion par rapport aux céréales est similaire à celle du pois chiche. Dans le Tidikelt, le niébé est utilisé principalement pour la préparation d'un plat traditionnel le Tawasse, c'est aussi le cas dans la région de Djanet (Boubkeur, 2007).

I- 5 Importance socio-thérapeutique

La graine sèche est communément moulue et consommée dans plusieurs plats traditionnels Africains, Elle est riche en protéines, en amidon, en vitamines du groupe B tel que l'acide folique. La graine est également riche en éléments minéraux essentiels, tels que le fer, le calcium et le zinc. Le niébé joue donc un rôle important dans la subsistance de beaucoup de familles rurales en Afrique, en Amérique latine et en Asie, en procurant les éléments nutritifs déficitaires dans les céréales.

Les fanes de niébé constituent un fourrage précieux pour le bétail en raison de leur haute teneur en protéines (Emechebe et al., 1997 ; Tarawali et al., 1997). Durant la saison sèche, dans certaines régions d'Afrique de l'Ouest et du Centre, la valeur monétaire des fanes de niébé stockées devient très élevée. Des quantités importantes de ce produit sont commercialisées ce qui fournit un complément de revenu parfois non négligeable aux populations rurales.

Dans les oasis au sud-ouest du Sahara algérien, le niébé (Tadelaght) représente une ressource nutritive appréciable aussi bien pour l'alimentation humaine que pour l'alimentation animale dont il constitue un excellent fourrage vert, plusieurs coupes sont possibles avant la floraison (Anoun et Echikh, 1990). On l'utilise aussi ensilé ou en foin substantiel en utilisant les fanes après la récolte des gousses (Chaabena, 1991). Cette espèce est utilisée dans l'art culinaire traditionnel de certaines régions d'Algérie où on lui attribue des vertus thérapeutiques (Ghalmi et al., 2004).

Sous diverses préparations, le niébé recèle des vertus thérapeutiques; ainsi, la poudre de niébé appliquée sur une plaie a un effet aseptisant. Les jeunes gousses tout comme les jeunes feuilles, une fois broyées ou pelées, se révèlent efficaces contre les oedèmes, les panaris et les démangeaisons. Le niébé pourrait être utilisé contre les troubles de mémoire (Berhaut, 1976)

Des études ont associé une consommation régulière de légumineuses à divers bienfaits tels qu'un meilleur contrôle du diabète (Venn et Mann, 2004), une diminution du risque de maladies cardiovasculaires et une diminution du risque de cancer colorectal (Giovannucci et Willett, 1994 ; Bazzano et al., 2001; Kabagambe et al., 2005; Michels et al., 2006). Les recommandations alimentaires américaines suggèrent de consommer des légumineuses au moins quelques fois par semaine. Enfin, parmi les grandes recommandations de l'American Institute for Cancer Research visant la prévention du cancer, on conseille de consommer majoritairement des aliments d'origine végétale, en y incluant une variété de légumes et de fruits, de légumineuses et de produits céréaliers peu transformés (Glade, 1999).

I-6 Description agro morphologique du niébé

1- Graine

Les graines de niébé ont une taille qui varie de 5 à 12 mm de longueur et de 4 à 6 mm de largeur, leur forme peut être réniforme, rhomboïde ou ovulaire (Raemakers , 2001), les graines sont lisses, ou ridées ; de coloration blanche, rouge, noire, marron, marron ocre ou marron olive. La distribution de la coloration est uniforme ou jaspée, avec ou sans anneau noir entourant le hile. Le poids de 100 graines varie de 5 à 30 grammes. (Duke, 1981; Raemakers, 2001).

Une étude menée par Ghalmi et al., (2010) sur une 20^{ème} de populations algériennes a montré que les graines locales sont de couleur beige, noir, marron, marron beige, marron ocre ou marron olive ; de forme rhomboïde, réniforme, ovulaire ou sphérique avec un tégument lisse ou lisse à ridé. La longueur de la graine varie de 0,55 à 1,04 cm avec un poids de 7,06 à 19,09 gr pour 100 graines.

2- Plante adulte

Vigna unguiculata L.Walp. est une plante herbacée annuelle, dont la germination est épigée ; la plante est de forme érigée à semi érigée ; les feuilles sont alternes, pétiolées, avec

trois folioles glabres de forme ovale à lancéolée. Les fleurs de niébé sont hermaphrodites du type classique Papilionacées, elles sont grandes (de 2 à 3 cm de long) et de couleur variée allant du blanc au violet (Raemakers, 2001). Les fruits sont des gousses dont le nombre par pédoncule floral varie de 2 à 4 (Davis et al., 1991). Elles font de 12 à 20 cm de long (Raemakers, 2001), et renferme en général 12 graines (Anoun et Echikh, 1990). Le système racinaire est pivotant, puissant et profond et bien développé, ce qui lui permet de chercher l'eau dans les profondeurs (Anoun et Echikh, 1990). Les racines portent des nodules qui renferment des bactéries fixatrices d'azote, ces bactéries appartiennent au genre *Bradyrhizobium*.

La durée de vie depuis le semis jusqu'à la floraison varie de 47,20 à 88,40 jours pour les populations algériennes (Ghalmi et al., 2010).

3- Exigences écologiques

Le niébé est une plante tropicale, elle exige des température entre 15 et 36 °C pour un bon développement, la chaleur excessive peut réduire sa croissance (Raemakers, 2001) ; la température optimale se situe autour de 28°C (Craufurd et al., 1997). Les plantes de niébé sont très sensibles au gel (Craufurd et al., 1997; Raemakers, 2001).

Le niébé tolère bien des précipitations entre 28 à 410 mm avec une moyenne de 142 mm. Il est adapté à la sécheresse, son système racinaire est développé pour aller en profondeur chercher de l'eau (Miller et al., 1989). La résistance à la sécheresse est une raison pour laquelle le niébé est une légumineuse très intéressante dans beaucoup de pays à climat sec.

Le niébé est connu pour être tolérant à l'aluminium, aux sols pauvres, à pH élevé, ou pH bas, avec une préférence aux sols à pH neutre et acide ; il est moins dépendant des éléments nutritifs du sol que les céréales et tire l'azote dont il a besoin de l'atmosphère (Duke, 1981).

Le semis dans la région du Tidikelt et la région sublittorale en Kabylie s'effectue à la fin du mois de Mars jusqu'au début du mois de Mai; la période de récolte s'effectue à partir du mois de Juin et peut aller jusqu'au mois de Septembre (Beddiaf, 2006; Boubkeur, 2007).

4- Maladies et ravageurs

Le niébé est exposé à certaines maladies causées par des champignons tels que *Choanophora* (agent de la pourriture humide des gousses), et *Fusarium sp*, *Aspergillus sp* et *Macrophomina sp* (agents de la fonte de semis) entraînant des dégâts importants. Quant aux bactéries, *Xanthomonas compestris pv vignicola* (agent du chancre bactérien) semble être la bactérie la plus redoutable du niébé. Le niébé peut être également sujet aux attaques de virus tel que cowpea yellow mosaic virus et cowpea mottle virus (Stanton et Doughty, 1970 ; Cissé et Hall, 2003).

Plusieurs espèces d'insectes peuvent réduire considérablement les rendements et la productivité du niébé. La chenille poilue d'*Amsacta moloneyi* s'attaque principalement aux plantules du niébé; elle peut être dévastatrice en période de sécheresse. Les pucerons (*Aphis craccivora*) peuvent également causer des problèmes graves au niébé à tout moment de la culture, par suite d'attaques directes sur la plante et/ou par les dégâts du virus de la mosaïque qu'ils véhiculent. Dans les zones plus humides, les thrips (*Megalurothrips sjostedti*) des fleurs constituent l'espèce la plus nuisible. Ces petits insectes peuvent entraîner la perte totale des récoltes en provoquant l'abscission des boutons floraux et l'avortement des fleurs, donc la non-formation des gousses. La bruche (*Callosobruchus*

maculatus) cause des dégâts considérables sur les graines de niébé en stock, ces dégâts sont apparents 2 à 3 mois après les récoltes, et presque toutes les graines peuvent être trouées 6 mois après (Cissé et Hall, 2003).

En Algérie, les pucerons semblent être les ravageurs les plus redoutables pour le niébé cultivé tandis que la septoriose et la rouille sont les maladies les plus courantes surtout dans la région de Kabylie (Boubkeur, 2007). L'utilisation du piment dans la région de Tidikelt et de l'huile d'olive dans la région de Kabylie sont les méthodes les plus utilisées pour lutter contre les attaques de bruches.

II Composition biochimique des graines du niébé

II-1 Composition chimique

Les graines de niébé sont riches en protéines (20,82 à 25,74% MS), mais leur teneur en sucres solubles est faible (7,99% MS), et sont composées essentiellement des oligosaccharides responsables de la flatulence (raffinose, stachyose, ciceritol et verbascose). La teneur en fibre alimentaire (11,65% MS) est moins importante par rapport aux autres légumineuses (haricot, pois chiche, fève, lentille, pois).

La teneur en lipides est faible (1,54% MS) comme c'est le cas de la plus part des légumineuses alimentaires; la Teneur en amidon est relativement élevée (46,99% MS) ce qui permet de fournir une fraction glucidique facilement assimilable par l'organisme (Tableau 2).

Composantes nutritives	Teneur en % MS
Eau	9,28
Protéines	24,72
Lipides	1,54
Amidon	46,99
Sucres solubles	7,99
Cendres	3,62
Fibres alimentaires	11,65
Solubles	0,99
Insolubles	10,65

Tableau 2 : Composition chimique des graines de niébé

Carnovale et al., 1989

II- 2 Protéines

II-2-1 Composition protéique du niébé

Les protéines majoritaires trouvées dans les légumineuses sont les globulines et les albumines. Les albumines sont solubles dans l'eau, elles comportent des enzymes, des inhibiteurs de protéases, des inhibiteurs d'amylases et des lectines, elles ont une masse molaire comprise entre 5 et 80 KD . Les globulines, protéines de réserve, sont solubles dans les solutions salées ; les globulines les plus souvent rencontrées chez les légumes secs sont les légumineuses (11S) et les vicilines (7S).

Les légumineuses 11S ont une structure hexamérique quaternaire avec des sous unités acides (MM= 40KD) et des sous unités basique (MM = 20KD). Les vicilines 7S ont une structure trimérique avec une MM comprise entre 175 et 180 KD (Boye et *al.*, 2010).

D'autres protéines moins abondantes sont rencontrées également chez les légumineuses, il s'agit des prolamines et des glutélines (Gupta et Dhillon, 1993; Saharan et Khetarpaul, 1994). Les prolamines sont solubles dans l'alcool et sont caractérisées par une proportion élevée en proline et en glutamine. Les glutélines sont solubles dans les acides dilués, les détergents alcalins, et en présence d'agent réducteur (Boye et *al.*, 2010); elles contiennent une concentration élevée en méthionine et en cystéine. Des chercheurs ont suggéré que la sélection des légumineuses alimentaires avec une teneur élevée en glutélines peut aider à améliorer la qualité de leurs protéines (Singh et Jambunathan, 1982).

Peu d'études ont été réalisées sur la composition biochimique des protéines de la graine de niébé, une étude sur les conditions d'extraction des protéines a été faite en 1979 par Sefa-Dedeh et Stanley, suivie par une caractérisation préliminaire des protéines extractibles dans l'eau, la globuline majeure a été identifiée en 1957, il s'agit de la fraction 7S ou Viciline nommée vignine, elle est hétérogène avec une masse molaire de 170 KD (khan et *al.*, 1980; Cerdeira et *al.*, 1985).

La viciline de niébé est fortement liée à la chitine, chitosane et la chitine acétylée (Sales et *al.*, 1996). Pour cette raison, elle se relie aux structures fongiques, interférant ainsi la germination des spores ou des conidies de champignons (Gomes et *al.*, 1997) et inhibant la croissance des levures (Gomes et *al.*, 1998a; Gomes et *al.*, 1998b) et le développement des insectes (Yunes et *al.*, 1998; Mota et *al.*, 2002).

D'après une étude réalisée par Freitas et *al.* (2004), les protéines de niébé sont composées principalement de globulines et d'albumines avec une proportion de 51 et 45% respectivement ; les prolamines et glutélines ne représentent qu'une faible proportion (1 et 3% de la teneur en protéine totale respectivement) (Figure 1). La fraction globuline de vigna est composée de trois globulines majeures, il s'agit de α -vignine, γ - vignine et β - vignine.

La globuline α - vignine est une fraction 16.5 S, non glucosylée, composée d'une sous unité de 80 KD qui donne après réduction deux polypeptides (20 et 60 KD). La β - vignine est une fraction de 13 S, glycosylée, composée de deux polypeptides principaux (55 et 60 KD). Finalement, la γ - vignine est composée d'un seul polypeptide de masse molaire de 22 KD (Freitas et *al.*, 2004).

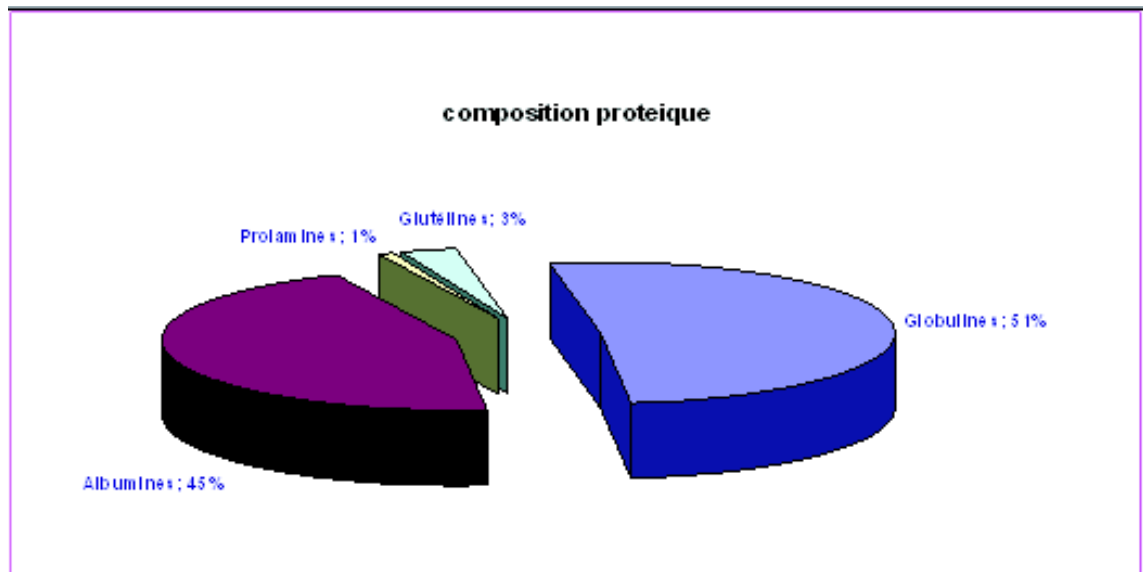


Figure 1 : Composition protéique des graines de *Vigna unguiculata* L.Walp.

(Freitas et al., 2004)

II-2-2 Composition en acides aminés

La composition en acides aminés de quelques légumes secs est indiquée dans le tableau 3. Cette composition indique une prévalence pour l'acide glutamique / glutamine, l'acide aspartique / asparagine et Phénylalanine + tyrosine, et une prévalence secondaire pour les acides aminés essentiels tel que l'arginine, leucine, et lysine (Onwuliri et Obu, 2002). La glutamine et l'asparagine formées à partir de l'acide glutamique et l'acide aspartique respectivement constituent un réservoir important des groupements amines pour l'organisme.

La valeur nutritive des protéines dépend principalement de leurs capacités à satisfaire les besoins en azote et en acides aminés essentiels. La déficience en acides aminés sulfurés est commune chez les cultivars de niébé (Nti et Plahar, 1995 ; Plahar et al., 1997 ; Onwuliri et Obu, 2002), et chez une grande majorité des graines de légumineuses (Laurena et al., 1991).

Composition en acides aminés (% de protéine)	Pois chiche	Niébé	Lentille	Petit pois
Arg	8.3	7.5	7.8	7.2
His	3.0	3.1	2.2	2.4
Ile	4.8	4.5	4.1	4.5
Leu	8.7	7.7	7.8	7.4
Lys	7.2	7.5	7.0	8.1
Met	1.1	2.2	0.8	1.1
Phe	5.5	7.5	5.0	5.2
Thr	3.1	3.8	3.5	3.8
Tyr	0.9	0.7	0.7	0.8
Val	4.6	5.0	5.0	5.0
Total	47.2	49.5	43.9	45.5
Ala	4.97	4.2	4.2	5.2
Asp	11.0	10.8	11.8	11.0
Cys	0.6	0.5	0.9	1.8
Glu	17.3	17.2	21.5	17.5
Gly	3.7	3.8	3.6	4.5
Pro	3.8	4.0	3.5	3.8
Ser	3.7	4.5	5.2	5.1
Tyr	2.8	3.0	3.2	3.7
Total	47.7	48.0	53.9	53.9

Tableau 3 : Composition en acides aminés de quelques légumineuses en % des protéines totales

Iqbal et al., 2006

II- 3 lipides

Le niébé, comme les autres légumes secs, se caractérise par des taux bas en lipides. En effet, cette teneur se situe entre 1.4 et 2.0% du poids total des graines.

Le Tableau 4 montre une composition intéressante en acides gras : l'acide palmitique (16.0), l'acide linoléique (18.2) et l'acide linoléique (18.3) sont les principaux composants des lipides de *Vigna* ; les autres acides gras saturés (l'acide stéarique, l'acide arachidique, l'acide béhénique) sont présents en très faibles quantités (Piergiovanni et al., 1989)

	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac	Ac
Ac gras	palmitique (16.0)	palmitoleique (16.1)	stéarique (18.0)	Oléique (18.1)	linoléique (18.2)	linoléurique (18.3)	Arachidique (20.0)	behénique (22.0)
% d'acides gras totaux:	27,63	0,32	5,09	8,15	30,86	23,19	1,49	2,91

. **Tableau 4** : Composition en acides gras (% d'acides gras totaux)

Piergiovanni et al., 1989

II- 4 Glucides

II-4-1 Amidon

L'amidon est le constituant glucidique essentiel chez les légumineuses, sa teneur chez le niébé est de l'ordre de 44,1 à 49,6% MS (Huang et al., 2007; Adebooye et Singh, 2008). L'amidon est constitué de molécules de glucose organisés en deux structures : l'amylose et l'amylopectine. Ces deux structures sont enfermées dans un grain d'amidon au niveau de l'endosperme (graines) en association avec des protéines de réserve. L'amylopectine représente 67,3% de l'amidon total chez le niébé alors que l'amylose représente 25,8% (Huang et al., 2007).

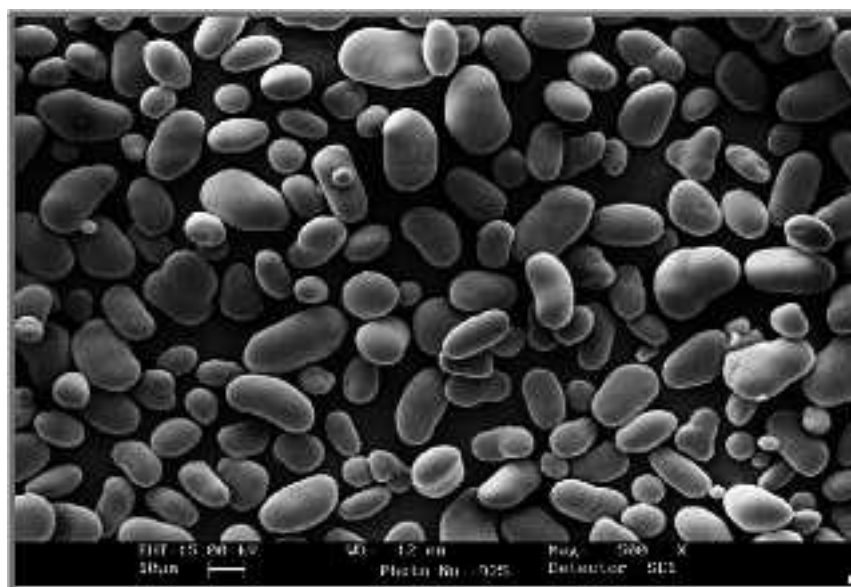


Figure 2: Grains d'amidon de *Vigna unguiculata* observés par Scanning Electron Micrograph (Adebooye et Singh, 2008)

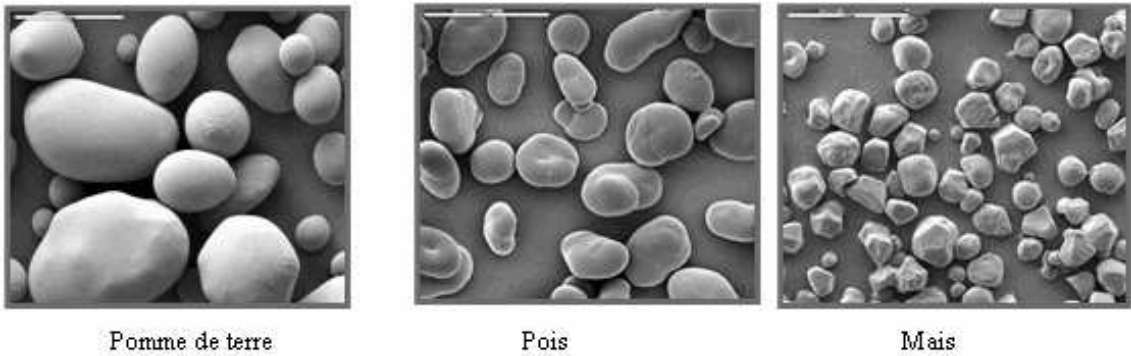


Figure 3: Grains d'amidon de quelques espèces végétales observés par Scanning Electron Micrograph (Bouquelet, 2008)

Le grain d'amidon possède une forme et une taille qui dépend de la variété botanique dont il est issu (Figure 2 et 3). Le grain d'amidon de niébé existe sous deux formes : ovale ou réniforme; sa taille varie de 20 à 38 μ m en largeur et de 15 à 40 μ m en longueur (Abu et al., 2006).

Dans le grain d'amidon, l'amylopectine a tendance à se cristalliser selon trois types caractéristiques A, B et C. En effet, les chaînes du glucose formant l'amylopectine se condensent en doubles hélices et s'associent en groupes constituant ainsi des zones alternatives cristallines et amorphes ; dans le type A ces chaînes sont les plus courtes alors que dans le type B les chaînes sont les plus longues, le type C est intermédiaire entre les deux. Chez le niébé et la plupart des autres légumineuses, c'est le type C qui les caractérise (Huang et al., 2007; Hoover et al., 2010). La gélatinisation de l'amidon de niébé commence à des températures entre 65 et 71°C avec un pic de gélatinisation maximale à 90°C (Huang et al., 2007).

II-4-2 Fibres alimentaires

Les fibres alimentaires, non assimilables, sont des sucres de structure constituant la paroi de toutes les cellules végétales. Cette fraction polysidique non amyliacée regroupe les hémicelluloses, les pentosanes, les pectines, la cellulose et la lignine.

Il existe en fait deux types de fibres: les fibres insolubles et les fibres solubles. Les fibres insolubles sont représentées principalement par la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. Elles assurent un bon transit intestinal en se gonflant d'eau et préviennent ainsi les constipations (Marlett et al., 2002). En outre, elles protègent contre le cancer du colon ou du rectum; elles diminuent le risque de l'apparition de calculs dans la vésicule biliaire; finalement, elles interviennent, bien que modérément, dans la lutte contre l'hypercholestérolémie (Kushi et al., 1999 ; Messina, 1999).

Les fibres solubles sont représentées principalement par la pectine et certaines hémicelluloses, elles absorbent une grande quantité d'eau et forment des gels, et de cette façon, elles ralentissent la vidange gastrique; elles procurent une satiété précoce; elles diminuent la vitesse d'absorption des glucides (et aussi des lipides) dans l'intestin grêle (Panlasigui et al., 1995; Nestel et al., 2004) . Également, elles diminuent le taux de cholestérol sanguin ce qui peut contribuer à la prévention des maladies cardiovasculaires.

Les fibres alimentaires peuvent réduire significativement la disponibilité en éléments minéraux et en protéine à cause de leur effet chélateur (Trowell et al., 1985).

La teneur en fibres alimentaires chez le niébé (11,65% MS) est faible par rapport aux autres légumineuses (haricot, pois chiche, fève, lentille, pois), Le niébé renferme surtout des fibres insolubles 10,65% MS, les fibres solubles constitue seulement 0,99% MS (Carnovale et al., 1989).

II-4-3 Sucres solubles

Le niébé présente un faible taux en sucres solubles, ce taux varie entre 5,5% de MS (Martin-Cabrejas et al., 2008) et 7,25% en MS (Carnovale et al., 1989). La composition en sucres solubles chez le niébé, le soja et chez d'autres légumineuses non conventionnelles est indiquée dans le tableau 4. Les oligosaccharides responsables de flatulence (raffinose, stachyose et ciceritol) semblent être les sucres solubles les plus dominants chez le niébé avec une teneur de 3,66% MS, puis vient le saccharose avec une teneur de 1,39% MS, alors que le galactose est le monosaccharide qui a la teneur la plus élevée 0,2%MS chez le niébé.

Origine	Ribose	Arabinose	Fructose	Glucose	Galactose	Sucrose	Maltose	Mannotriose	Raffinose	Ciceritol	Stachyose	RFOs	Total sugar
Niébé	0.2	0.2	0.1	N.D	2.0	13.9	0.6	0.7	4.0	0.4	32.2	36.6	55.0
Jack bean	ND	ND	ND	1.6	ND	9.4	1.2	ND	11.8	11.1	5.9	28.8	41.0
Dolichos	ND	ND	ND	ND	1.3	14.9	ND	ND	4.3	0.4	17.5	22.2	38.4
Mucuna	ND	ND	0.1	ND	0.4	27.8	13.7	ND	10.9	ND	10.8	21.7	63.7
Soja	ND	ND	ND	2.4	ND	22.1	2.0	0.2	6.7	0.5	27.5	34.7	61.4

N.D : non-detecté ; RFOs:(raffinose + stachyose + ciceritol)

Tableau 4: Teneur en sucres solubles de quelques graines de légumineuses g/ Kg de matière sèche

Martin-Cabrejas et al. 2008

II- 5 Composition en éléments minéraux

Le niébé est une bonne source de fer et de Zinc (8mg et 5mg/ 100g MS respectivement), mais leurs biodisponibilités sont basses ; in vitro, la biodisponibilité de fer chez le niébé est de 6,5% (Carnovale et al., 1989). Cette basse biodisponibilité est due à la présence des composés chélateur tel que les fibres, l'acide phytique et les tannins (Gillooly et al., 1983 ; Hallberg et al., 1987).

Le potassium est l'élément le plus abondant chez le niébé (1280 mg/100g MS), suivi du phosphore et du calcium (tableau 5).

Certains traitements et pratiques liés à la préparation des graines de légumineuses tel que le trempage causent des pertes en sels minéraux (Bressani, 2000).

Composition en éléments minéraux	Pois chiche	Niébé	Lentille	Petit pois
Na	101	102	79	111
K	1155	1280	874	1021
P	25	303	294	283
Ca	197	176	120	110
Fe	6,1 ²	8,8 ¹	12,6 ²	6,0 ³
Cu	11.6	9.7	9.9	10.0
Zn	6.8	5.1	4.4	3.2
Mn	1.9	1.7	1.6	2.2

¹ Carnovale *et al.*, 1989 ; ² Combe *et al.*, 1991 ; ³ Besançon, 1978

Tableau 5 : Composition en éléments minéraux chez quelques graines de légumineuses en (mg/ 100g MS)

Iqbal *et al.*, 2006

II- 6 Vitamines

Les légumes secs sont des composants essentiels des repas dans plusieurs régions du monde, c'est une bonne source de vitamines (Shils *et al.*, 1999). Les légumes secs sont une excellente source de l'acide folique (B9). Cette vitamine n'est pas directement disponible à cause de sa liaison avec d'autres molécules (Kadam et Salunke, 1989). Une consommation élevée en acide folique est inversement liée au risque de cancer du colon (Giovannucci *et al.*, 1998). Le niébé en contient 603µg /100g MS (PROTA, 2004), alors que l'haricot contient 148 à 676µg/100g, le pois chiche 149mg/100g, le pois 101,5µg/100g MS (Dang *et al.*, 2000).

Concernant les autres vitamines, le niébé contient 32,42UI /100g de vitamine A, 26 à 78,02µg/100g de vitamine D et 3,07-5,07 mg/100g de vitamine E. Les graines de niébé contiennent aussi de l'acide nicotinique B3 (2mg/100g) (Platt, 1962; Oyenuga, 1968; Ogunmodedo *et* Oyenuga, 1968), de la thiamine B1 (0,85mg/100g), de la riboflavine B2 (0,23 mg /100g MS)(PROTA, 2004).

Quant à la vitamine C, elle varie de 0 mg /100g (Doblado *et al.*, 2007) à 1,5mg/ 100g pour les graines mûres (PROTA, 2004). Dans les autres légumineuses la teneur en cette vitamine est de 0mg/100g chez les lentilles et les haricots et de 10 mg/ 100g chez le soja et le lupin (Plaza *et al.*, 2003 ; Frias *et al.*, 2005).

II-7 Facteurs antinutritionnels

La valeur nutritionnelle des graines de légumineuses en général et celle du niébé dépend non seulement de leur teneur en nutriments, mais aussi du niveau d'activité des facteurs antinutritionnels qu'elles sont susceptibles de contenir.

Les facteurs antinutritionnels sont des substances qui perturbent ou bloquent, après ingestion, l'utilisation digestive ou métabolique des nutriments ou plus généralement

conduisent à des effets secondaires néfastes, souvent par suite de consommation répétée (Besançon, 1978).

La teneur en facteurs antinutritionnels chez le niébé est indiquée dans le tableau 6; ce dernier montre que la teneur en ces facteurs est très variable d'une population à l'autre.

Inhibiteurs de trypsine TIU/ mg	Inhibiteurs de Chymotrypsine CIU/mg	Tannins mg/100g	Acide phytique * mg/100g
9,01 – 25,90	11,13 – 22,75	0 - 260	424 - 930

* : Carnovale *et al.*, 1989

Tableau 6 : Teneur en facteurs antinutritionnels chez le niébé

Marconi *et al.*, 1989

II-7-1 Acide phytique

Il correspond à près de 80% du phosphore total des graines de céréales et des graines de légumineuses. L'acide phytique s'associe avec les protéines en milieu acide entraînant une précipitation de ces dernières en provoquant ainsi une diminution du coefficient d'utilisation digestive des protéines. L'acide phytique (myo-inositol hexakisphosphate) est en outre un excellent agent de chélation et il est susceptible de s'associer avec de nombreux métaux tel que le fer, le zinc, le cuivre (Weaver et Kannan, 2002). On le trouve cependant très souvent sous la forme d'hexaphospho-inositide mixte de calcium et de magnésium.

Les associations métalliques ont des solubilités faibles ce qui diminue la disponibilité de ces métaux dans le cas d'une ration alimentaire et peut entraîner de ce fait des carences.

Selon Almeida *et al.* (2008), le phytate (IP6) est le plus abondant myo-inositol phosphate chez le niébé avec un pourcentage de 83-87%, tandis que le myo-inositol pentakisphosphate (IP5) représente 13-17%, le myo-inositol tetrakisphosphate (IP4) existe à l'état de traces.

Pour le niébé, la teneur en phytate varie entre 424 et 930 mg / 100g en MS (Carnovale *et al.*, 1989), et il peut atteindre 1230 mg/100g MS (Lyayi *et al.*, 2008). L'interaction de l'acide phytique avec les protéines, les vitamines et de nombreux éléments minéraux est considérée comme l'un des facteurs limitant la valeur nutritive des graines de niébé (McWatters *et al.*, 1992 ; Bressani, 1993).

II-7-2 Oligosaccharides de flatulence

Un des facteurs limitant la consommation des légumes secs dans l'alimentation de l'homme est la production de flatulence. Ce fait est dû à l'absence au niveau de la bordure en brosse de l'intestin grêle d'une enzyme l' α -galactosidase dont l'action permet de dégrader les oligosaccharides qui se trouvent dans les graines des légumineuses. Les oligosaccharides les plus représentatifs sont : le raffinose (α -galactosido1,6-saccharose), le stachyose (α -galactosido1,6-raffinose) et le verbascose (α -galactosido 1,6-stachyose). Ces oligosaccharides seront métabolisés au niveau du colon par l'intermédiaire de la flore intestinale. Ce processus entraîne la production de gaz carbonique, d'hydrogène et de méthane par fermentation et se traduit par des troubles intestinaux. (Cristofaro *et al.*, 1974, Price *et al.*, 1988).

Toutefois, ces oligosaccharides ont un effet prébiotique, ils favorisent le développement et la multiplication des populations *bifidobacteriadans* le colon (Bouhnik et *al.*, 2004).

La teneur en oligosaccharides responsable de la flatulence chez le niébé est de 3,36%MS (Martin-Cabrejas et *al.*, 2008).

II-7-3- Anti- protéases

Les inhibiteurs de trypsine et de chymotrypsine sont des protéines qui ont la propriété d'inhiber les protéases. Dans le tube digestif, elles forment des complexes très stables avec la trypsine et la chymotrypsine, ce qui inhibe l'action digestive de ces enzymes. Ces complexes (protéases digestives - facteurs anti-protéases) riches en acides aminés soufrés, sont excrétés intacts, ce qui augmente les pertes endogènes des protéines et diminue fortement la digestibilité des protéines.

La baisse de la concentration d'enzyme dans l'intestin grêle conduit, par rétro-action, à une hypersécrétion compensatrice de trypsine, ce qui provoque une hypertrophie du pancréas chez les animaux (Hathcock, 1991). Ces facteurs anti-trypsiques provoquent des forts retards de croissance et une diminution des performances zootechniques (Hathcock, 1991).

L'anti-protéase de niébé a été isolée et caractérisée, il s'agit d'une anti-protéase de type Bowman-Birk (Xavier-Filho et Ventura, 1988 ; Silva et *al.*, 2001). Les anti-protéases de ce type inhibent la trypsine et la chymotrypsine simultanément, avec deux sites actifs indépendants ; cette anti-protéase est constituée d'un seul polypeptide de 83 acides aminés, sa masse molaire est entre 7 et 10 kDa (Belitz et Weder., 1990; Freitas et *al.*, 1997 ; Campos-Vega et *al.*, 2010) ; ces facteurs anti-nutritionnels sont localisés essentiellement dans les fractions globulines et albumines avec un taux plus élevé dans la fraction albumine (Vasconcelos et *al.*, 2010).

II-7- 4- Tannins

Il s'agit d'un groupe très diversifié de composés phénoliques plus ou moins polymérisés ou condensés (tannins). Les polyphénols condensés sont constitués de proanthocyanidines polymériques, difficilement hydrolysables et nonabsorbables. Ils sont abondants dans certaines graines de céréales (sorgho) et graines de légumineuses. Ils sont caractérisés par leur propriété de se combiner aux protéines pour former des complexes insolubles qui précipitent. Les tannins se lient aux protéines de l'aliment mais également avec celles des sucs digestifs, ce qui les rend inactifs (Chung et *al.*, 1998). Il en résulte une forte baisse de la digestibilité notamment des protéines mais aussi de l'amidon et donc de l'énergie de l'aliment, d'où une réduction de la valeur biologique des légumes secs (Bressani, 1993). Mais par ailleurs, on leur attribue aussi des effets antioxydants favorables (Yeh et Yen, 2003).

La teneur en tannins chez le niébé varie de 0 à 260 mg /100g MS (Marconi et *al.*, 1989) selon la variété et la couleur de l'enveloppe des graines.

II-7-5- Lectines ou phyto-hémagglutinines

Les lectines ou agglutinines sont présentes dans tout le règne végétal et dans toutes les parties de la plante ; elles sont en particulier très abondantes (1 à 3% du poids sec) dans les graines de légumineuses. Il s'agit de protéines, de poids moléculaire élevé, éventuellement glycosylées, qui présentent la particularité d'avoir une affinité pour des motifs glycaniques de molécules glycoconjuguées (glycoprotéines). C'est cette caractéristique qui est responsable

de leur propriété d'agglutiner les hématies *in vitro* d'où leur nom de phyto-hémagglutinines, les lectines se combinent aux résidus glycosyl présents sur les parois des globules rouges (Lajolo et Genovese, 2002).

Leur toxicité est caractérisée par un retard de croissance chez les animaux de laboratoire et par des diarrhées, des nausées, et des vomissements chez l'homme (Liener, 1974). Les effets antinutritionnels ou éventuellement toxiques sont essentiellement dus à leur capacité de fixation sur les glycoprotéines membranaires au niveau de la muqueuse intestinale, entraînant une réduction des capacités digestives et d'absorption et des troubles gastro-intestinaux (Balint, 2000 ; Grant *et al.*, 2000 ; Reynoso-Camacho *et al.*, 2003). Certaines lectines manifestent également des effets cytotoxiques : c'est le cas des lectines du haricot (phytohémagglutinine) ou des graines de ricin (ricine). Les lectines de pois, de lentilles, de fève sont considérées comme non toxiques et sans effet antinutritionnel sur la croissance (Campos-Vega *et al.*, 2010).

La teneur en lectines des graines de niébé est de 180,300 HU/ kg à 540,300 HU/ kg (Vasconcelos *et al.*, 2010). Marconi *et al.* (1993) ont rapporté des teneurs en lectines plus basses chez le niébé avec une grande variation parmi les cultivars.

III- Traitements technologiques

III-1 Trempage

Le trempage est une pratique très courante avant la cuisson des légumineuses; il a pour but d'aider à éliminer l'enveloppe, d'humidifier et ramollir la graine afin d'abrèger la durée de cuisson. Cette pratique permet également l'élimination des facteurs antinutritionnels tels que les alpha-galactosides et les phytates.

Le trempage dans l'eau cause une diminution significative des facteurs anti nutritionnels qui sont éliminés avec l'eau de trempage (Lopez, 1987). Le trempage pendant 18 heures élimine 65% de l'activité hémagglutinine pour le niébé ; tandis que le trempage pendant 24h à la température ambiante permet de réduire l'activité anti-trypsique de 66% pour le mung beans, de 93% pour la lentille, de 59% pour le pois chiche, et de 100% pour le broad bean (Pearson, 1976). D'autres composés sont également réduits par ce procédé; il s'agit des tannins, et de l'acide phytique (Phillips, 1993 ; Afoakwa et Yenyi, 2006 ; Luo *et al.*, 2009).

Le trempage des graines permet aux enzymes endogènes d'hydrolyser les oligosaccharides de flatulence car la réhydratation est le début du processus de germination et la graine va utiliser ses substances de réserve en mobilisant dans un premier temps ces oligosaccharides.

Le trempage cause également des pertes indésirables des éléments nutritifs solubles dans l'eau tels que les éléments minéraux, comme c'est le cas pour le soja (Bayram *et al.*, 2004), le haricot et les autres légumineuses (Sattar *et al.*, 1989 ; El Adawy *et al.*, 2003) . Donc il est important d'équilibrer ces deux aspects de trempage. Les pertes en éléments nutritifs peuvent être minimisées par le trempage de la graine entière (avec le tégument).

III-2 Cuisson et autoclavage

La cuisson facilite l'assimilation de certains aliments (prédigestion de l'amidon par dextrinisation, attendrissement des aliments riches en cellulose) ; elle permet d'assainir les aliments (destruction de certains agents pathogènes, tels qu'oeufs et larves de parasites, bactéries).

La cuisson améliore significativement la valeur nutritionnelle des légumineuses par l'inactivation des facteurs antinutritionnels thermosensibles tel que les lectines et les anti protéase (Khokhar et Chauhan, 1986). Mansouri (1983) a montré que l'autoclavage à 110 °C pendant 15 min éliminait 50 % de l'activité hemagglutinante, alors que l'activité anti-trypsique disparaît presque totalement pour le pois chiche, le haricot, et la lentille. Rehmann et Shah (2001) ont rapporté une amélioration dans la qualité des protéines de *Vigna mungo* suite à l'élimination des tannins par autoclavage. La cuisson seule est sans effet sur les inhibiteurs de α amylase, par contre l'autoclavage réduit significativement ce facteur (**Piergiovanni et Della Gatta**, 1994). La composition chimique est également affectée par la cuisson (Wang et *al.*, 2009). De même la cuisson pendant une longue durée réduit la valeur nutritionnelle par la diminution du taux de certains acides aminés essentiels tels que la tryptophane et la méthionine (Youssef et *al.*, 1986).

III-3 Fermentation

La fermentation est une technique simple de traitement permettant d'améliorer la composition des graines, Elle permet une réduction des facteurs anti- nutritionnels et permet également d'avoir un effet positif sur la digestibilité des protéines, sur la texture et l'arome des légumes secs (Salunkhe et Kadam, 1989). Les effets bénéfiques de la fermentation résultent de la dégradation des oligosaccharides de flatulence en des di et monosaccharides puis en acides organiques sous l'action des microorganismes. Shimelis et Rakshit (2008) ont rapporté une diminution importante dans la teneur en oligosaccharides de flatulence, en acide phytique et en inhibiteurs de trypsine chez le haricot fermenté. De même Barampama et Simard (1995) ont trouvé que la plus grande diminution des facteurs antinutritionnels est observée chez le haricot trempé puis cuit et le haricot fermenté.

Plusieurs autres études ont montré que la fermentation réduit certains facteurs antinutritionnels tels que l'acide phytique, les inhibiteurs de trypsine et les oligosaccharides de flatulence (Granito et *al.*, 2002 ; Ibrahim et *al.*, 2002).

III-4 Germination

La germination est une pratique ancienne très répandue dans de nombreuses régions du monde notamment en Asie. C'est un processus métabolique complexe durant lequel les lipides, les carbohydrates et les protéines de réserve qui se trouvent à l'intérieur des graines des légumineuses sont dégradés pour obtenir de l'énergie et des acides aminés nécessaires pour le développement de la plante (Podesta et Plaxton, 1994; Ferreira et *al.*, 1995; Jachmanian et *al.*, 1995; Ziegler, 1995). C'est une méthode efficace et peu coûteuse pour améliorer la qualité des légumineuses alimentaires, la digestibilité des graines est améliorée et la teneur en acides aminés est augmentée (Chang et Harrold, 1988). D'après Doblado et *al.* (2007), la germination du niébé pendant 4 jours entraîne une augmentation de la teneur en vitamine C de l'ordre de 23,3 mg / 100g. Des augmentations de la teneur en vitamine C ont été également observées chez le niébé et d'autres légumineuses (Chen et *al.*, 1975; Fordham et *al.*, 1975 ; Abdullah et Baldwin, 1984; Ahmad et Pathak, 2000).

La germination affecte également les facteurs anti-nutritionnels des légumineuses malgré quelques divergences entre les auteurs, car ces effets dépendent du type de légumineuse, des conditions et de la durée du processus de germination (Savelkoul et al., 1992). De nombreux auteurs (Mbithi-Mwikya et al., 2001 ; Ibrahim et al., 2002) ont rapporté une réduction significative dans la teneur en facteurs anti trypsiques, alors que d'autres auteurs (Chang et Harrold, 1988; Frias et al., 1995) ont rapporté qu'il n'y a pas de variation dans la teneur des inhibiteurs anti-trypsique chez le haricot et la lentille après une période de germination inférieure ou égale à 6 jours. D'autre part, Batra et al. (1986) ont observé que la teneur en facteurs anti- trypsiques chez certaines variétés de pois d'Angole (*Cajanus cajan*) augmente légèrement après trois jours de germination mais chute brusquement entre le troisième et le sixième jour de germination.

Concernant les autres facteurs anti-nutritionnels, une diminution importante en oligosaccharides de flatulence a été constatée (94%) pour le niébé après germination de 96 heures; cette diminution est due à l'augmentation de l'activité de α galactosidase durant la germination (Martin-Cabrejas et al., 2008).

En ce qui concerne les propriétés fonctionnelles des aliments, Nnanna et al. (1990), Uwaegbute et al. (2000) ont rapporté que la germination pendant une longue période a un effet négatif sur les propriétés organoleptiques des graines des légumineuses. La germination pour des périodes supérieures à 48 heures cause des pertes considérables en matière sèche à travers la respiration (Mbithi-Mwikya et al., 2000).

III-4 Irradiation

L'irradiation des aliments est une méthode qui consiste à exposer les aliments à un niveau contrôlé d'énergie dite « ionisante ». Trois différentes sources d'énergie peuvent être utilisées : les rayons gamma, les rayons X et les faisceaux d'électrons. L'énergie ionisante pénètre dans les aliments pour tuer les micro-organismes sans élever de façon importante la température des aliments.

L'irradiation est utilisée pour le niébé dans le but de prévenir les attaques d'insectes ainsi que d'autres microorganismes (Diop et al., 1997), et pour améliorer la digestibilité des protéines (Dario et Salgado, 1994).

L'impact de l'irradiation γ sur les facteurs antinutritionnels des graines de mucuna a été évalué par Bhat et al. (2007) ; une réduction significative de la teneur en acide phytique est obtenue à partir de la dose de 5,0 kGy et une dégradation complète est atteinte pour des doses comprises entre 15 et 30 kGy.

L'irradiation peut influencer certains composés nutritifs telles que les acides aminés. Pour le niébé, mis à part la tyrosine, tous les autres acides aminés diminuent d'une façon significative pour des doses d'irradiation égale à 50 KGy. Des doses inférieure à 50 KGy n'affectent pas la biodisponibilité de la lysine (Abuet al., 2005).

L'irradiation augmente la capacité de l'absorption de l'eau chez l'amidon de niébé; ceci est dû en partie aux dommages ou à la dégradation de l'amidon en des molécules simples telles que les dextrans et les oses qui ont une affinité plus grande pour l'eau (Abu et al., 2006).

IV- Travaux réalisés sur *Vigna Unguiculata* en Algérie

Les premières études faites en Algérie sur *V. unguiculata* date de 1990, où une étude biosystématique sur Tadelaght a été réalisée par Anoun et Echikh (1990), cette étude a montré que le Tadelaght appartient bien à l'espèce *unguiculata* et au cultigroupe *Biflora*. Puis Chaabena (1991) étudiant l'effet du stress hydrique sur la production de Tadelaght, a su mettre en évidence une tolérance marquée à ce stress. En 2000, Echikh a effectué une étude iso enzymatique sur quelques populations locales de niébé. Il a pu montrer que les formes sahariennes appartiennent au cultigroupe *Biflora* et les populations de Kabylie appartiennent au cultigroupe *Melanophthalmus*. Après, plusieurs études agromorphologiques détaillées sur les différentes populations locales provenant d'El Kala, de Kabylie, de Djanet, d'Adrar et de Tidikelt ont été effectuées et ont révélées la présence d'une certaine variabilité entre les populations étudiées, avec une grande variabilité entre les populations du Nord et celles du Sud.

Les travaux de Ghalmi et *al.* (2010) ont permis de caractériser 20 populations algériennes sur les aspects morphologiques et génétiques. Sur le plan morphologique, il n'y a pas de variabilité entre les populations provenant d'une même région ; il existe trois cultigrupes en Algérie : le cultigroupe *Biflora* domine le Sahara, le cultigroupe *Melanophthalmus* domine le Nord algérien, et enfin le cultigroupe *Unguiculata* qui comprend une population de Kabylie et deux populations du Sahara. Cette étude montre que le degré de variabilité morphologique entre les populations est en corrélation avec la distance géographique qui les sépare.

La diversité génétique a été analysée par l'utilisation de la RAPD (random amplified polymorphic DNA) et les marqueurs ISSR (intersimple sequence repeat); cette analyse a montré qu'il y a une bonne corrélation entre la diversité génétique des populations locales et leur distribution géographique.

Toutefois, Il y a lieu de signaler qu'il n'y a pas de travaux effectués sur l'aspect nutritionnel de variétés locales de niébé.

Le tableau 7 résume les principaux travaux effectués en Algérie sur *Vigna unguiculata*.

Auteurs et année de publication	Thème
Anoun et Echikh (1990)	Etude biosystématique du Tadelaght
Chaabena (1991)	Effet de stress hydrique sur la production du Tadelaght
Ghanem et Outmane (1999)	Contribution à la caractérisation phénologique, biométrique et morphologique de trois variétés de haricot dolique.
Danoun et Ousmer (1990)	L'évolution de l'accumulation de l'azote dans les différents organes du plant de niébé
Echikh (2000)	L'étude isoensymatique de quelques populations du niébé.
Taïbi (2004)	Contribution à l'étude de la multiplication végétative <i>in vitro</i> de deux cultivars de haricot dolique
Touami (2004)	Caractérisation agro morphologique de quelques populations locales du <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. provenant de la région d'El Kala.
Arkoun et Belharet (2005)	Contribution à l'étude de la culture du haricot dolique <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) dans la région de la Kabylie.
Sellamna (2005)	Caractérisation agro- morphologique de quelques populations locales du <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. provenant de la Kabylie
Ghalmi <i>et al.</i> (2005)	Caractérisation agro morphologique de populations locales de niébé collectées dans différentes régions de l'Algérie.
Belatra (2006)	Effet du stress hydrique sur la symbiose <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.
Beddiaf (2006)	Caractérisation agro morphologique de quelques populations locales du <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp. dans la région de Djanet
Boubkeur (2007)	Caractérisation agro morphologique de quelques populations locales du <i>Vigna unguiculata</i> (L.) dans la région de Tidikelt
Nabi (2009)	Effet de la salinité sur la germination, la croissance et les composantes du rendement de <i>Vigna unguiculata</i>
Ghalmi <i>et al.</i> (2010)	Morphological and molecular diversity within Algerian cowpea (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) landraces

Tableau 7 : Principaux travaux effectués sur le niébé en Algérie

MATERIEL ET METHODES

I Origine du matériel végétal

L'étude a été réalisée sur six (06) populations locales de *Vigna unguiculata* provenant de différentes régions de l'Algérie ; Ces graines ont été fournies par le département de la Production Végétale de l'ENSA, il s'agit des graines récoltées entre 2003 -2005.

Le tableau n°8 donne quelques informations sur l'origine de ces graines, il s'agit des graines récoltées à El Kala, Golea et Tizi ouzou ainsi que sur un niébé commercial.

Echantillon	Origine	Latitude	Longitude	Altitude
VC	Bouira Commercial	-	-	-
VE1	Mellah Est El Kala	36°43 N à 36°57N	7°43 E à 8°37 E	15m
VE2	Mellah Est El Kala cultivé à ITCMI	36°45 N	2°53 E	30m
VE3	Tonga Sud	36°53 N	8° 31	2,2m
VG	Hassi Gara El Golea	30°32N	0°47E	402
VT	Yakouren Tizi Ouzou	36°43N	4°02	270

Tableau 8 : Origine des populations de niébé étudiées

La plus part de ces population ont fait l'objet d'une caractérisation agro-morphologique préalable (Touami, 2004; Sellamna, 2005 ; Ghalmi et *al.*, 2010). Ces travaux ont montré l'existence d'une variabilité agro morphologique au sein de ces populations. Le Tableau 9 résume quelques caractéristiques agro morphologiques des populations de niébé étudiées.

Echantillon	Couleur	Nombre de graines /gousse	Cultigroupe
VE1	Beige à hile noir	11,33	<i>Mélanophthabmus</i>
VE2	Beige à hile noir	13,67	<i>Mélanophthabmus</i>
VE3	Beige à hile marron	10,66	<i>Mélanophthabmus</i>
VG	Noire	-	-
VT	Beige à hile noir	9,00	<i>Mélanophthabmus</i>

Tableau 9 : Caractérisation agro-morphologique des populations de niébé étudiées

Source : Touami, 2004; Sellamna, 2005; Ghalmi et al., 2010

II Traitements technologiques et préparation des farines

II-1 Traitements technologiques

Les traitements technologiques ont concerné uniquement les graines de niébé commercial, ces traitements sont le trempage, la cuisson et l'autoclavage.

II- 1-1 Trempage (Khatab et al ., 2009)

Les graines de niébé ont été trempées dans de l'eau distillée à raison de 1 :5 (Poids /Volume) pendant 8, 16 et 24h à température ambiante (20°C -25°C).

II- 1-2 Cuisson (Khatab et al ., 2009)

La cuisson a été effectuée sur les graines sans trempage et avec trempage préalable pendant 16 h (dans de l'eau distillée à raison de 1 :5 (Poids /Volume) à température entre 20°C -25°C). Les graines sont mise à cuire dans l'eau distillée bouillante et ceci à raison de 1:5 (Poids /Volume) jusqu'à ce que 50% de graines s'écrasent entre les doigts (environ 35 min).

II- 1-3 Autoclavage (Khatab et al ., 2009)

L'autoclavage a été effectué sur les graines sans trempage et avec trempage préalable pendant 16 h ; Les graines sont mises dans l'eau distillée à raison de 1:5 (Poids /Volume) puis autoclavées à 103.43 KPa (15psi) à 121°C pendant 20 min.

II- 2 Préparation des farines

Les graines non traitées, trempées, autoclavées et cuites sont séchées pendant une nuit à $55^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, moulues en farine dans un moulin à café, puis conservées à froid (4°C) dans des sachets en polyéthylène.

III- Méthodes d'analyse

III-1 Analyse physique

III – 1 - 1 Dimensions (Giami, 2005)

Les dimensions de 25 graines saines de chaque lot sont mesurées grâce à un pied à coulisse ; les mesures ont concerné la longueur, la largeur et l'épaisseur des graines.

III- 1 - 2 Poids de 100 graines (Giami, 2005)

100 graines saines de chaque lot sont pesées graine par graine dans une balance à 0.001g de précision, le poids total est ensuite calculé et rapporté au poids de 100 graines.

III – 2 Analyse chimique

III-2- 1 Teneur en eau des graines (Méthode AOAC 925.40 (1997))

La teneur en eau est mesurée après séchage de 5 g d'échantillon dans une étuve à 105°C pendant 4h jusqu'à l'obtention d'un poids constant.. Les calculs ont été effectués selon la formule :

$$\text{H}\% = \frac{M_1 - M_2}{P} \times 100$$

H : teneur en eau exprimée en pourcentage ;

M_1 : Poids de la capsule remplie avant dessiccation (g) ;

M_2 : Poids de la capsule remplie après dessiccation (g) ;

P : Poids de la prise d'essai (g).

III-2-2 Teneur en cendres (Norme ISO 2171-1980)

C'est le résidu obtenu après incinération de 5 g de farine à $900^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$ pendant deux heures.

La teneur en cendres a été calculée selon la formule

$$\text{Cendres\%} = \frac{M_1 - M_2}{M_0 \times (100-H)} \times 100$$

M_1 : masse de la capsule remplie avant incinération (g) ;

M_2 : masse de la capsule remplie après incinération (g) ;

M_0 : masse de la prise d'essai (g) ;

H : la teneur en eau exprimée en pourcentage.

III-2 –3 Teneur en éléments minéraux

III- 2-3-1 Dosage du phosphore

L'échantillon est minéralisé, par voie sèche (incinération à 550 °C) et mis en solution acide (HCl 2N). La solution est traitée par le réactif vanado-molybdique (Chapman et Pratt, 1961). La densité optique de la solution jaune ainsi formée est mesurée au spectrophotomètre à 430 nm. La courbe étalon a été réalisée grâce à des solutions de dihydrogénophosphate de potassium de concentration de 0, 1, 2, 3, 4 et 5 mg/l

III- 2-3-2 Dosage de Na, K et Ca

L'échantillon est incinéré et les cendres sont mises en solution dans l'acide chlorhydrique HCl 2N (Chapman et Pratt, 1961). La teneur en sodium, en Potassium et en Calcium de la solution est déterminée par photométrie de flamme. La solution étalon de Na est préparée à partir de NaCl, la solution de K est préparée à partir de KCl et la solution étalon de Ca est préparée à partir de CaCO₃, les solutions utilisées sont de concentrations: 0, 5, 10, 15, 20, 25 mg/l.

III- 2-3-3 Dosage de Mg, Mn

L'échantillon est incinéré et mis en solution dans l'acide chlorhydrique HCl 2N selon la méthode de Chapman et Pratt (1961). La solution est diluée dix fois avec de l'eau distillée, puis filtrée ; la teneur en magnésium et manganèse est déterminée par spectrophotométrie d'absorption atomique, par comparaison avec des solutions étalons; la solution étalon de Mg a été préparé à partir de Mg SO₄, et celle de Mn à partir de MnO ; les concentrations des solutions étalons sont 0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 et 0,5mg/l.

III- 2-4 Dosage de l'amidon (Norme 1999-79 CE (1999))

La teneur en amidon des échantillons est déterminée selon la norme 1999-79 CE (1999) basée sur la méthode « polarimétrie d'Ewers ». L'amidon est dispersé par traitement de l'échantillon à chaud par l'acide chlorhydrique dilué (1,128 % (Poids/Volume)). Après défécation avec les deux solutions de Carrez et filtration, le pouvoir rotatoire de la solution est mesuré par polarimétrie.

Le même traitement est effectué sur l'extrait sec éthanolique à 40% de l'échantillon, l'extraction a pour but d'éliminer les glucides solubles susceptible d'interférer en polarimétrie. La différence obtenue entre les deux mesures polarimétriques, multipliée par

un facteur spécifique lié à l'origine botanique de l'amidon nous donne la teneur en amidon de l'échantillon.

La teneur en amidon pour 100g d'échantillon est calculée comme suit :

$$\% \text{ Amidon} = [200 (P-P')] / [\alpha]_D^{20^\circ}$$

P : pouvoir rotatoire total en degrés d'arc ;

P' : pouvoir rotatoire en degrés d'arc donné par les substances solubles dans l'éthanol à 40% ;

$[\alpha]_D^{20^\circ}$ pouvoir rotatoire spécifique de l'amidon pur de niébé : 184.

III- 2-5 Dosage des sucres solubles

Les sucres sont dosés selon la méthode deCerning-beroard et Filiatre (1976) ; c'est une méthode colorimétrique basée sur la déshydratation intramoléculaire des oses en milieu acide concentré (H_2SO_4 36N) à chaud. Les dérivés furfuraliques obtenus (5-hydroxy méthyl furfural pour les hexoses) se condensent avec l'antrone pour donner des produits colorés (bleu – vert).

0,1g de produit est mélangé avec 5ml d'éthanol bouillant à 80%. Après agitation au vortex, le broyat est centrifugé pendant 20 min à 4000 tr/min. L'extraction est réalisée deux fois, le surnageant est prélevé et rajouté au précédant dans un tube et le tout est ajusté à 20 ml avec l'eau distillée. 1ml d'extrait glucidique est ajouté au 2ml du réactif à l'antrone (0,2 g d'antrone dans 100ml d'acide sulfurique à 91%). Après agitation au vortex et passage au bain marie à 100 °C pendant 7min, une coloration vert-bleu est observée ; après refroidissement, les densités optiques sont lues au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 630 nm . La courbe étalon est réalisée à l'aide de concentrations croissantes en glucose obtenu à partir d'une solution mère de 100µg /ml.

III- 2-6 Teneur en cellulose (NF V03-040 (1993))

L'échantillon est traité successivement par des solutions bouillantes d'acide sulfurique (0,13 moles/l) et d'hydroxyde de Sodium(0,23 moles/l) pendant 30 minutes. Le résidu est séparé par filtration sur un filtre en verre, lavé à l'acétone, séché dans une étuve à 130°C, pesé puis calciné entre 475 et 500 °C. La perte de poids résultant de la calcination correspond à la cellulose brute présente dans l'échantillon d'essai.

La teneur en cellulose brute est donnée par la formule:

$$\text{Cellulose brute \%} = (b - c) \times 100 / a$$

Dans laquelle:

a = masse de l'échantillon (en g),

b = perte de masse (en g) à la calcination, lors du dosage,

c = perte de masse (en g) à la calcination, lors de l'essai à blanc.

III- 2-7 Teneur en lipide(NF V18-117 (1997))

La teneur en lipide est déterminée selon la norme NF V18-117 (AFNOR, 1997). L'échantillon est extrait par de l'éther de pétrole à la température de l'ébullition (40 à 60 °C) pendant six heures. Le solvant est distillé dans un rotavapor et le résidu est séché puis pesé.

Les calculs sont faits selon la formule suivante :

$$\text{MG \%} = \frac{P_2 - P_1}{P} \times (100-H)$$

P : poids de la prise d'essai ;

P₁ : Poids du ballon vide ;

P₂ : poids du ballon après extraction et séchage;

H : la teneur en eau exprimée en pourcentage.

III- 2- 8 Teneur en acides gras

La matière grasse totale extraite par l'Ether de Pétrole est mise dans des tubes à laquelle on ajoute 10 ml de méthanol sulfuré à 0,5% d'H₂SO₄. Les tubes sont portés à ébullition dans un bain marie; les acides gras ainsi méthylés sont repris dans l'hexane, ensuite on procède à un lavage avec de l'eau distillée, on évapore puis on analyse par chromatographie en phase gazeuse (GPC), marque Chrompack CP 9002.

Les conditions opérationnelles sont :

- Température de la colonne : 190°C (mode isotherme)
- Température de l'injecteur 250°C
- Température du détecteur 250°C.
- Gaz vecteur : Azote.
- Mode : SPLIT 1/100
- Débit : 1ml/mn
- Volume injecté : 0,2µl
- Détecteur : FID
- Colonne capillaire : 30m x 0,32mm, phase DB23

III-2-9 Teneur en protéines

La teneur en protéines est déterminée par la méthode de Kjeldhal dont le principe repose sur trois phases :

- la minéralisation de l'échantillon où l'azote organique se transforme en sulfate d'ammonium sous l'action de H₂SO₄ concentré en présence de catalyseur (K₂SO₄+CuSO₄+Se)et à température élevée ;
- la distillation qui consiste à déplacer l'ammoniac par la lessive de soude dans l'acide borique à 4% ;
- le titrage par l'acide sulfurique dilué H₂SO₄ (0,1 N).

Le coefficient de conversion de l'azote en protéines est de 6,25 pour les légumes secs.

III- 2-10 Teneur en acide phytique

Le dosage de l'acide phytique a été réalisé selon la méthode préconisée par Ellis et *al.* (1977). Elle repose sur la précipitation des phytates par une solution de chlorure ferrique

en présence de salicylate de sodium comme indicateur coloré. Cette technique dose le phosphore phytique. Le résultat est converti en pourcentage d'acide phytique.

10g de l'échantillon sont mélangés avec 100ml d'HCl (0,5 N), après agitation pendant 1h30mn et centrifugation pendant 20mn à 5000 tr / min. 20ml du surnageant sont récupérés et additionnés de 30ml d'eau distillée avant d'être portés à 80°C au bain marie pendant 5mn. Le titrage est réalisé avec une solution de FeCl₃ à 0,05% dans 0,6% d'HCl en présence de salicylate de sodium comme indicateur coloré. La quantité de phosphore phytique est calculée d'après l'expression suivante :

$$X = (V \times 3,443 \times 0,05 \times 1,11 \times 50) \times 100 / (100 -$$

X : quantité de phosphore phytique exprimée en mg /100g de MS

V : volume de la solution FeCl₃ en ml (dans cette solution, 1mg de FeCl₃ correspond à 0,3443mgde Fer).

H : teneur en eau du produit en %.

50: coefficient de conversion pour exprimer la quantité de phosphore phytique par rapport à 100g de produit.

En effet, dans nos conditions expérimentales, le titrage est effectué sur 2g de produit. Cette méthode admet pour que 1 mg de Fer correspond à 1,11 mg de phosphore phytique. Pour trouver la teneur en phytates exprimée en % d'acide phytique, on multiplie par 3,5515. Ce coefficient représente la masse moléculaire de l'acide phytique par rapport à la masse de phosphore dans l'acide phytique.

III-3 Analyses technologiques

III-3-1 Test de cuisson et indice de gonflement des graines

Le test de cuisson a été réalisé selon la méthode de Balla et Baragé (2006); 100 graines de niébé triées sont mises à cuire dans un bêcher contenant 100 ml d'eau préalablement portée à ébullition sur une plaque chauffante. Les 100 graines sont introduites dans le Becher une fois l'ébullition commencée, on déclenche le chronomètre. A partir de la 15ème minute, on prélève quatre graines qu'on coupe en deux à l'aide d'une lame et on note les observations sur leur état de cuisson: la présence de taches blanchâtres à l'intérieur des cotylédons signifie la non gélatinisation complète de l'amidon. Tandis que les graines cuites sont tendres à l'écrasement entre deux doigts et présentent un amidon gélatinisé. Le prélèvement et les observations des graines sont répétés toutes les 5 minutes jusqu'à la cuisson complète.

L'indice de gonflement à la cuisson correspond au rapport entre le volume des graines cuites et celui des graines avant cuisson. Le volume a été déterminé grâce à l'élévation de l'eau dans une éprouvette de 100ml suite à l'immersion de ces graines.

III-3-2 Capacité de fixation d'eau et d'huile

La capacité de fixation d'eau ou d'huile est déterminée par la méthode AACC 56-20 (AACC 2000) modifiée par Abu et al. (2005). Deux grammes de farine de niébé sont dispersés dans 40 ml d'eau ou d'huile végétale, puis agités au vortex pendant 10min, et centrifugés à 1000g pendant 15min, les surnageants sont éliminés et les tubes contenant les culots sont inversés pour permettre à l'eau ou à l'huile d'être drainée sur papier absorbant pendant 5min. les

résidus sont pesés. La capacité de fixation d'eau ou d'huile est exprimée en gramme d'eau ou d'huile absorbé par gramme d'échantillon.

$$\text{Capacité de fixation d'eau ou d'huile} = (Pr - Pi)/Pi$$

Pr : poids de résidu en gramme ;

Pi : poids initial en gramme.

III-3-3 Indice de gonflement de la farine

L'indice de gonflement de la farine de niébé a été déterminé selon la méthode de Prinyawiwatkul et *al.* (1997) modifiée par Abu et *al.* (2005). Un gramme de l'échantillon est pesé dans un tube à essai contenant 20ml d'eau puis agité au vortex pendant une minute. Les tubes sont ensuite mis dans un bain marie à 90°C pendant 30min, puis refroidis rapidement avec de l'eau pendant 30 secondes et avec des glaçons pendant 10min. Après centrifugation à 4500g pendant 10min, le surnageant est éliminé délicatement et le résidu est pesé. L'indice de gonflement est considéré comme le rapport entre le poids du résidu final et le poids de l'échantillon initial.

$$\text{Indice de gonflement} = Pf/Pi$$

Pf : poids final du résidu en gramme.

Pi : poids initial de l'échantillon en gramme.

III-3-4 Pertes durant les traitements

Les pertes durant les traitements représentent la quantité de matière sèche perdue suite à un traitement donné ; un volume de 25ml d'eau de traitement de 100g de graines est mis à sécher dans une étuve à 103°C pendant 24h.

$$P = Pms \times (V/25) \times 100 / 100-H$$

P : perte durant le traitement en % ;

Pms : poids de la matière sèche perdue en g ;

V : volume d'eau après traitement en ml ;

H : teneur en eau des graines en %.

VI - Analyse statistique

L'analyse de la variance (ANOVA), la comparaison des moyennes (PPDS) au seuil de 5% et le dendrogramme ont été effectués à l'aide du logiciel Statistica version 5.

RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre I : Caractérisation des populations de *Vigna unguiculata*

I- Caractéristiques physiques des graines

Le tableau 10 rassemble quelques caractéristiques physiques des graines étudiées. Les longueurs moyennes s'étalent entre 5,72 mm pour les graines de la population VG et 9,54 mm pour les graines de la population VE3 ; ces longueurs sont en concordance avec celles rapportées par Laghetti et al. (1989). Ces auteurs ont étudié des collections locales de niébé dans la région sud d'Italie (longueur entre 5 et 13mm) ; les longueurs des graines issues d'El Kala et de Tizi Ouzou concordent avec les résultats obtenus par Touami (2004) et Sellamna (2005) qui ont caractérisé agro- morphologiquement ces populations.

Echantillon	Poids de 100 graines (g)	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Epaisseur (mm)
VC	19,68 ± 0,85 ^o	9,07 ± 0,84 ^o	6,02 ± 0,49 ^{oo}	4,97 ± 0,44 ^o
VG	8,08 ± 0,14 ^a	5,72 ± 0,48 ^a	4,22 ± 0,38 ^a	3,56 ± 0,41 ^a
VT	23,39 ± 1,01 ^o	9,42 ± 0,75 ^{od}	6,21 ± 0,56 ^d	5,73 ± 0,51 ^d
VE3	23,06 ± 1,27 ^o	9,54 ± 0,82 ^d	5,90 ± 0,42 ^o	5,47 ± 0,44 ^d

Tableau 10 : Caractéristiques physiques des graines de niébés locales (moyenne ± écart-type)

L'étude statistique par le biais de l'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative entre les populations (annexe 1). La comparaison des moyennes par le test PPDS a permis de classer ces dernières en quatre groupes homogènes (annexe 3).

Quant à la largeur, cette dimension est comprise entre 4,22 mm pour les graines de la population VG et 6,21 mm pour les graines de la population VT. L'analyse de variance a révélé un effet très hautement significatif (annexe n°1), et la comparaison des moyennes par le test PPDS a permis de classer les populations en quatre groupes homogènes (annexe 3).

Pour l'épaisseur des graines des populations étudiées, elle est comprise entre 3,56 mm pour les graines de la population VG et 5,73 mm pour les graines de la population VT. L'analyse statistique de cette dimension a permis de révéler un effet très hautement

significatif (annexe1) et de classer ces populations en quatre groupes homogènes (annexe 3).

La taille des graines est un caractère important qui influe sur la production, et avec la couleur déterminent la qualité des graines pour la commercialisation (Lopes et *al.*, 2003) .

Le poids de cent graines s'étale de 8,08 g pour les graines de la population VG à 23,39g pour les graines de la population VT. Nos résultats corroborent les observations faites par Laghetti et *al.* (1989) qui ont rapporté des poids de 100 graines compris entre 6 et 30 g. Le poids de 100 graines de la population de VE2 est le même que celui observé par Sellamna (2005); cependant, il est plus faible par rapport à celui mentionné par Touami (2004) et Sellamna (2005) pour les graines de populations de VE1, VE3 et VT, ceci est peut être dû aux pertes de l'eau durant le stockage.

L'analyse de variance a révélé l'existence d'une différence très hautement significative entre ces populations (annexe 1); la comparaison des moyennes par le test de PPDS a permis de distinguer cinq groupes homogènes (annexe 3).

Le caractère poids de cent graines est étroitement lié au caractère longueur des graines, les graines longues présentent le poids de cent graines le plus élevé.

II Caractérisation biochimique

II-1 Teneur en eau

La teneur en eau des différentes populations étudiées est présentée dans le tableau 11. Elle est comprise entre 7,77 % pour les graines provenant de la population VG et 9,93% pour les graines de la population VC; ces teneurs sont en concordance avec les données bibliographiques (Iqbal et *al.*, 2006 ; Rivas-Vega et *al.*, 2006 ; Ghavidel et Prakash, 2007). Les taux d'humidité trouvés permettent une bonne conservation des graines sachant que le taux exigé pour les graines de niébé par la norme de codex alimentarius 171-1989 ne doit pas dépassé 15% (Codex Alimentarius, 2007).

Echantillon	Humidité (g/100gMF)	Cendre (g/100gMS)
VC	9,93 ± 0,42 ^c	3,70 ± 0,13 ^{ab}
VE1	9,19 ± 0,15 ^b	3,89 ± 0,09 ^b
VE2	9,55 ± 0,06 ^{bc}	3,94 ± 0,11 ^b
VE3	9,55 ± 0,26 ^{bc}	3,49 ± 0,12 ^a
VG	7,77 ± 0,21 ^a	3,41 ± 0,12 ^a
VT	9,02 ± 0,08 ^b	3,81 ± 0,11 ^b

Tableau 11 : Teneurs moyennes en eau, en cendres exprimées en g/100g(moyenne \pm écart-type)

L'analyse de la variance révèle des effets très hautement significatifs des populations sur la teneur en eau (annexe 1), et la comparaison des moyennes par le test PPDS au seuil de $p=0,05$ a permis de distinguer trois groupes homogènes (annexe 3).

La teneur en eau dépend de plusieurs facteurs tel que la variété, les conditions climatiques et les conditions de stockage.

II-2 Teneur en cendres

La teneur moyenne en cendre présentée dans le tableau 11 montre qu'elle varie entre 3,41g/100g MS pour les graines de la population VG et 3,94g/100g MS pour les graines issues de la population VE2, ces résultats sont proches de ceux rapportés par Rivas-Vega et al. (2006), Ghavidel et Prakash, (2007) et Herken et al. (2007). Ces valeurs sont en général comparables à celles des autres légumineuses tel que le pois chiche, la fève, la féverole, la lentille et le haricot (Mansouri, 1983 ; Ammouche, 2002).

L'analyse de la variance révèle un effet significatif de nos populations sur la teneur en cendres (annexe 1) ; la comparaison des moyennes par le test PPDS permet de les classer en deux groupes homogènes (annexe 3).

Les différences rencontrées sont dues en premier lieu à l'effet variétal et peuvent être également combinées à l'effet des autres facteurs externes tel que la nature du sol et la fertilisation.

II-3 Teneur en éléments minéraux

La teneur moyenne en potassium varie entre 1154,3 mg/100g MS pour les graines de la population VG et 1282,8mg / 100g MS pour les graines de la population VC, cependant ces variations ne sont pas statistiquement significatives au risque de 5% (annexe 1). Nos résultats concordent avec ceux trouvés par Iqbal et al. (2006) et légèrement inférieurs à ceux trouvés par Belane et Dakora (2011); ces derniers ont trouvé des teneur en K variant entre 1263,2 et 2583,3 mg/100g MS et ceci sur 27 variétés de niébé cultivés au Ghana durant l'année 2005 et 2006. La teneur en K chez le niébé est largement supérieure à celle rencontrée dans la lentille, le pois chiche et le petit pois (Iqbal et al., 2006, Wang et al., 2008, Wang et al., 2009, Wang et al., 2010), mais inférieure à celle rencontrée chez le haricot (Oomah et al., 2008).

Il faut signaler également que cet élément est le plus abondant parmi les éléments minéraux des populations de niébé étudiées, et c'est le cas de tous les légumes secs (Besançon, 1978). Cet élément a un rôle capital dans la contractilité cardiaque. Il joue un rôle essentiel dans l'activité nerveuse, la synthèse des protéines et l'activité de certaines enzymes (Meynier, 2003).

Echantillon	K (mg/100gMS)	Na (mg/100gMS)	Ca (mg/100gMS)	Mg (mg/100gMS)	Mn (mg/100gMS)	P (mg/100gMS)
VC	1282,8 ± 70,7	71,16 ± 4,42	195,3 ± 1,2	125,6 ± 5,1	0,629 ± 0,284	631,1 ± 32,3 ^a
VE1	1249,8 ± 63,6	72,52 ± 5,60	190,8 ± 1,5	116,2 ± 11,5	0,826 ± 0,03	562,3 ± 32,0 ^a
VE2	1274,5 ± 46,6	74,82 ± 3,00	201,1 ± 21,6	127,3 ± 3,0	0,805 ± 0,02	513,5 ± 33,6 ^b
VE3	1204,6 ± 56,5	71,08 ± 0,21	169,7 ± 8,6	123,4 ± 15,1	1,016 ± 0,14	348,3 ± 28,2 ^a
VG	1154,3 ± 77,7	70,54 ± 4,42	154,8 ± 43,6	112,8 ± 8,0	0,671 ± 0,070	380,3 ± 14,5 ^a
VT	1257,8 ± 49,4	75,17 ± 0,66	172,7 ± 10,4	108,3 ± 1,2	0,741 ± 0,042	521,1 ± 32,5 ^b

Tableau 12 : Teneur en éléments minéraux exprimée en mg/ 100g MS (moyenne ± écart-type)

Nos résultats montrent que le phosphore est l'élément le plus abondant après le potassium dans toutes les populations étudiées, sa teneur moyenne varie entre 348,3mg/100g MS pour les graines de la population VG et 631,1mg/100g MS pour les graines de la population VC; l'étude statistique a montré l'existence d'une différence hautement significative (annexe 1) et a permis de distinguer la présence de trois groupes de populations selon leurs teneurs en P (annexe 3). La teneur en P trouvée concorde bien avec celle trouvée par Belane et Dakora 2011. Concernant les autres légumes secs le niébé se révèle plus riche en P que le petit pois, le pois chiche et la lentille (Ghavidel et Prakash, 2007 ; Wang et al., 2008, Wang et al., 2009, Wang et al., 2010), et aussi riche que le haricot (Oomah et al., 2008). Donc les populations locales semblent être une source importante du phosphore. Ce dernier joue un rôle essentiel (sous forme d'ATP) dans le métabolisme des glucides, lipides et protéides. Combiné au calcium, il participe à la fabrication de la trame osseuse (Meynier, 2003).

Le calcium est le troisième plus abondant élément des graines de niébé étudiées. Ses teneurs varient entre 154,8 mg / 100g MS pour les graines de la population VG et 201,1 mg / 100g MS pour les graines de la population VE2, cependant ces différences ne sont pas statistiquement significatives au taux de risque de 5% (annexe 1). Les taux obtenus correspondent à ceux rapportés par Iqbal et al. (2006), mais sont supérieurs à ceux donnés par Belane et Dakora (2011). Pour les autres légumes secs, les populations locales de niébé sont plus riches en Ca que le haricot, la fève, la lentille et le petit pois (Ghavidel et Prakash, 2007 ; Oomah et al., 2008 ; Wang et al., 2008 ; Luo et al., 2009 ; Wang et al., 2009) et légèrement moins riche que le pois chiche (Ghavidel et Prakash, 2007).

Il faut signaler que le calcium joue un rôle important d'une part dans le maintien de l'excitabilité normale du cœur, des muscles et des nerfs ; et d'autre part dans la perméabilité des cellules. Il est indispensable à la croissance, à la formation des os et des dents. Il facilite la coagulation du sang (Meynier, 2003).

Le magnésium est le quatrième plus abondant élément minéraux, sa teneur varie entre 108,3 mg/100g MS pour les graines de la population VT et 127,3 mg /100g MS pour les graines issues de la population VE2, sa variation n'est pas significative au seuil de 5%, nos résultats sont légèrement plus faibles par rapport à ceux émis par Belane et Dakora (2011).

Les graines des populations locales de niébé sont plus riches en Mg que celles de la lentille (Wang et al., 2009) et aussi riches que le petit pois (Wang et al., 2008), mais moins riche que le haricot et le pois chiche (Oomah et al., 2008 ; Wang et al., 2010).

Le magnésium intervient avec le calcium dans l'équilibre du système nerveux. Il participe à la croissance osseuse et à la synthèse des protéines. Il est anti-fatigue et un stimulant glandulaire. Il évite la spasmodie et favorise la défense de l'organisme contre les infections microbiennes et virales. Il réduit le taux de triglycéride et de cholestérol dans le sang (Meynier, 2003).

La teneur moyenne en Na est présentée dans le tableau 12, elle varie de 70,54 mg/100g MS pour les graines de la population VG à 75,17 mg/100g MS pour les graines de la population VT; ces valeurs sont inférieures à celles rapportées par Iqbal et al. (2006), et également inférieures à celles rencontrées sur les autres légumes secs tels que le pois chiche, le petit pois et la lentille (Iqbal et al., 2006), ce qui est intéressant pour les gens qui suivent un régime alimentaire sans sel.

Il faut savoir que le Na est l'ion le plus répandu dans le corps humain. Il est intimement lié au devenir et le maintien de l'eau dans l'organisme.

La teneur de populations locales de niébé en manganèse est rapportée dans le tableau 12, sa teneur varie entre 0,62mg / 100g pour les graines de la population VC et 1,01 mg / 100g pour les graines de la population VE3. Ces résultats sont très basses par rapport à ceux rapportés par Belane et Dakora (2011), et par rapport à ceux obtenus sur pois chiche et haricot (Oomah et al., 2008 ; Wang et al., 2010) ; par contre, ces teneurs sont comparable à celles rencontrées sur petit pois (Wang et al., 2008).

L'étude statistique n'a pas révélé la présence d'une différence significative entre les populations testées au seuil de risque 5% (annexe 1).

La manganèse participe à la synthèse des cartilages et de la prothrombine (coagulation du sang). Il joue un rôle de soutien des muscles, des tendons, des os et de la peau. Il est anti-rhumatismal et anti-arthritique. Il est indispensable au système nerveux car il intervient dans la coordination motrice des muscles. Il permet une meilleure utilisation du glucose et favorise le traitement du diabète (non insulino-dépendant). Chez le végétal, le manganèse est essentiel pour le métabolisme et le développement des plantes et il intervient dans les états d'oxydation d'environ 35 enzymes de la cellule végétale (Hebbernet et al., 2009).

II-4 Teneur en protéines

Les teneurs moyennes en protéines des populations de niébé étudiées sont comprises entre 23,65% MS pour les graines de la population VC et 29,98% MS pour les graines issues de la population VT (Tableau 13); ces teneurs corroborent celles mentionnées par Ene-Obong, (1995) et Butt et Batool (2010); elles sont comparables à supérieures à celles trouvées sur les autres légumineuses cultivées en Algérie tels que pois chiche, haricot, lentille et fèverole mais légèrement inférieure à celles trouvées sur fève (Mansouri, 1983 ; Akli et Belabas, 2002; Ammouche, 2002).

L'analyse statistique par le biais de l'analyse de la variance montre un effet très hautement significatif des populations sur la teneur en protéines (annexe 1). La comparaison des moyennes par le test PPDS montre que les populations de niébé peuvent être classées en quatre groupes homogènes (annexe 3).

Malgré une teneur élevée en protéines chez les légumes secs, leur digestibilité est basse, celle de niébé est de l'ordre de 81% (Carnovale et al., 1989). La digestibilité des

protéines dépend à la fois de la structure spécifique de ces protéines qui résiste aux enzymes protéolytiques et à la présence des certains composés tels que les inhibiteurs des protéases, lectines, tannins, et l'acide phytique qui interagissent par différents mécanismes avec les protéines et entraîne une réduction de leur utilisation et absorption (Carnovale et al., 1989).

II-5 Teneur en glucides

II-5-1 Teneur en Amidon

La teneur en glucides est donnée dans le tableau 13 ; Le taux d'amidon varie de 42,63% MS pour les graines issues de la population VE3 et 49,18% MS pour les graines issues de la population VT, ces taux corroborent ceux rapportés par Huang et al. (2007) et Adebooye et Singh (2008). Le taux de l'amidon dans les graines de niébé est comparable à celui rencontré dans les autres légumes secs tel que le pois chiche, pois, lentilles, fève et féverole (Ammouche, 2002 ; Huang et al., 2007 ; Wang et al., 2008 ; Wang et al., 2009).

Malgré la richesse des légumes secs en amidon, son application dans le domaine commercial est faible, ceci est dû à son pouvoir de gonflement limité, à la faible dispersion de ses granules, aux températures élevées de gélatinisation et à sa résistance vis à vis des enzymes d'hydrolyse. Par conséquent des recherches intensives sont nécessaires pour améliorer les propriétés de cet amidon afin de pouvoir l'utiliser dans le secteur alimentaire et non alimentaire (Hoover et al., 2010).

L'analyse statistique par le biais de l'analyse de la variance a révélé l'existence d'une différence hautement significative (annexe 1). Et la comparaison des moyennes par le test PPDS a permis de classer les populations de niébé en quatre groupes homogènes (annexe 3).

Echantillon	Amidon (g/100g MS)	Cellulose Brute (g/100g MS)	Sucres solubles (g/100g MS)	Protéine (g/100g MS)
VC	45,62 ± 0,39 ^{bc}	5,20 ± 0,77 ^{ab}	6,03 ± 0,18 ^o	23,65 ± 0,70 ^a
VE1	44,12 ± 0,40 ^{ab}	8,44 ± 0,62 ^{cd}	4,79 ± 0,04 ^b	24,95 ± 0,42 ^b
VE2	47,67 ± 0,60 ^{cd}	6,55 ± 0,83 ^{bc}	4,81 ± 0,17 ^b	27,22 ± 0,56 ^o
VE3	42,63 ± 0,92 ^a	4,37 ± 1,00 ^a	5,88 ± 0,69 ^o	25,42 ± 0,28 ^b
VG	44,90 ± 0,89 ^b	9,38 ± 0,84 ^d	4,38 ± 0,24 ^b	29,29 ± 0,46 ^d
VT	49,18 ± 0,31 ^d	5,40 ± 0,70 ^{ab}	3,28 ± 0,42 ^a	29,98 ± 0,35 ^d

Tableau 13 : Teneurs en glucides et en protéines exprimées en g/100g MS (moyenne ± écart-type)

II-5-2 Teneur en sucres solubles

Les teneurs moyennes en sucres solubles s'étalent de 3,28g/100g MS pour les graines issues de la population VT à 6,03g/100g MS pour les graines de la population VC, ces

valeurs se rapprochent de celles rapportées par Martín-Cabrejas et *al.* (2008) qui ont rapporté une teneur de 5,5g/100g MS; ces valeurs sont plus basses que celles rencontrées sur d'autres légumes secs tel que le pois chiche, la fève et la féverole (Akli et Belabas, 2002).

Il faut signaler que pour les légumes secs, la plupart de ces sucres solubles sont des oligosaccharides de flatulence qui sont essentiellement par ordre d'importance le stachyose, le raffinose et le verbascose. D'autre part, le saccharose représente également une grande partie de ces sucres (Martín-Cabrejas et *al.*, 2008 ; Wang et *al.*, 2010) ; chez le petit pois le taux de saccharose est plus important que les oligosaccharides de flatulence (Wang et *al.*, 2008).

La flatulence est d'ûe à l'absence au niveau de la bordure en brosse de l'intestin d'une enzyme l' α -galactosidase dont l'action permet de dégrader ces oligosaccharides (Bouquelet, 2008).

L'analyse de la variance a révélé un effet hautement significatif des populations sur la teneur en sucres solubles (annexe 1). La comparaison des moyennes par le test de PPDS montre que les populations de niébé peuvent être classées en trois groupes homogènes (annexe 3).

II-5-3 Teneur en cellulose brute

La cellulose est une fraction des fibres alimentaires insolubles, elle est le principal polysaccharide de structure des végétaux.

La teneur en cellulose brute dans les graines de niébé varie de 4,37% pour la population VE3 à 9,38% MS pour la population VG, ces valeurs sont proches de celles rapportées par Singh et *al.* (2006), Kumaraguru Vasagam et *al.* (2007) et Butt et Batool (2010), mais supérieures à celles rapportées par Khattab et *al.* (2009) et Rivas-Vega et *al.* (2006). Chez les autres légumineuses, la teneur en cellulose brute est de 2,8 à 3,7% MS pour le pois chiche, 3,38 à 4,7 % MS pour le haricot et de 4,9 à 5,7% MS pour la lentille (Amir et *al.*, 2006 ; Siddiq et *al.*, 2010).

L'analyse de la variance a révélé l'existence d'une différence très hautement significative (annexe 1). Et la comparaison des moyennes par le test PPDS a permis de classer les populations en quatre groupes homogènes (annexe 3).

II-6 Teneur en lipides totaux

La composition moyenne en lipide chez les populations étudiées varie entre 1,35g/100g MS pour les graines de la population VG et 1,66g/100g MS pour les graines de la population VE1 (Tableau 14), nos résultats sont en accord avec les données bibliographiques (Rivas-Vega et *al.*, 2006; Ghavidel et Prakash, 2007 ; Khattab et *al.*, 2009 ; Butt et Batool, 2010). Cette teneur faible en lipides est souvent rencontrée chez la plus part des légumes secs à l'exception du pois chiche (Besançon, 1978 ; Mansouri, 1983 ; Ammouche, 2002 ; Jezierny et *al.*, 2007).

Ce faible taux en lipide rend l'extraction des protéines, et de l'amidon pour leur utilisation éventuelle dans l'industrie alimentaire une opération qui ne nécessite pas une délipidation préliminaire.

L'analyse statistique par le biais d'analyse de variance n'a pas révélé l'existence d'une différence significative entre les populations étudiées (annexe 1).

Echantillon	Lipides totaux (g/100g MS)
VC	1,518 ± 0,10
VE1	1,661 ± 0,20
VE2	1,3895 ± 0,19
VE3	1,3745 ± 0,11
VG	1,3565 ± 0,22
VT	1,505 ± 0,06

Tableau 14 : Teneur en lipides exprimée en g/100g MS (moyenne ± écart-type)

II-7 Composition en acides gras

Les acides gras sont une catégorie de graisses particulièrement importante pour la constitution des membranes cellulaires et dont plusieurs donnent naissance après transformation à des molécules appelées eicosanoïdes qui ont des multiples actions sur l'inflammation, la douleur, la contraction des muscles lisses, la coagulation et la fluidité du sang (Guesnet, 1998).

La composition en acides gras des graines étudiées est présentée dans le tableau 15. L'acide palmitique constitue 24,19% à 28,26% d'acides gras totaux des populations étudiées ; ces valeurs sont en accord avec les taux rapportés par Piergiovanni et *al.* (1989); ces auteurs ont trouvés des valeurs qui s'étendent entre 17,37% et 35,79%, et ce sur 58 lignés de niébé. Concernant les autres légumes secs, les taux trouvés sur le niébé s'avèrent plus élevés à ceux rencontrés habituellement sur pois chiche, lentilles, haricot et pois secs (Aykroyd et Doughty, 1982 ; Chabane, 2003).

Les taux de l'acide palmitoleique des populations étudiées varient entre 0 chez les graines de la population VG et 0,61% d'acides gras totaux pour les graines de la population de VC. Ces résultats sont en concordance avec ceux rapportés par Piergiovanni et *al.* (1989) et ils sont également proches de ceux trouvés sur le pois chiche et la lentille mais inférieurs à ceux rencontrés sur le haricot (Amir et *al.*, 2006).

Quant à l'acide stéarique et l'acide oléique, leurs taux dans les graines des niébé sont proches, on note des taux d'acide stéarique qui varient entre 4,77% pour la population VG et 6,56% d'acides gras totaux pour la population VT, et des taux de l'acide oléique qui varient de 5,00% pour la population de VE2 à 7,89% d'acides gras totaux pour la population de VE3; ces résultats corroborent ceux mentionnés par Piergiovanni et *al.* (1989). Chez les autres légumes secs tels que le pois chiche, la lentille et le pois sec, le taux de l'acide stéarique est plus faible (1,1% à 2,8%) tandis que le taux de l'acide oléique est plus important et peut atteindre 28,2% dans le cas du pois chiche (Aykroyd et Doughty, 1982).

L'acide linoléique est l'acide gras majoritaire dans la composition des graines de niébé étudiées ; il s'agit d'un acide gras poly-insaturé essentiel à notre alimentation; ses taux varient entre 33,56% pour la population VT et 34,77% pour la population VE3. Ces taux sont en concordance avec ceux trouvés sur niébé par Piergiovanni et *al.* (1989).

L'acide linoléique est également un acide gras polyinsaturés indispensable pour l'organisme, ces taux varient entre 18,15 % et 26,75% d'acides gras totaux. Ces valeurs sont comprises dans la fourchette annoncée par Piergiovanni et *al.* (1989) qui est de 14,18 à 28,72% d'acides gras totaux. Pour les légumes secs, le taux de cet acide gras se trouve particulièrement élevé chez le niébé, ce taux est de 0,3 à 3,6% d'acides gras totaux chez le pois chiche, la lentille et le haricot cultivé en Algérie (Amir et *al.*, 2006).

Enfin, l'acide arachidique et l'acide behinique constitue des fractions mineures de la composition totale en acides gras, ainsi l'acide arachidique représente un taux compris entre 1,46% pour la population VE2 et 3,54% d'acides gras totaux pour la population de VG ; tandis que l'acide behinique représente entre 0,10% pour la population de VE2 et 1,14% d'aides gras totaux pour la population VG. Ces résultats sont en accord avec ceux rapporté par Piergiovanni et *al.* (1989)

L'analyse statistique par le biais de l'analyse de la variance n'a pas révélé l'existence d'une différence significative entre les taux de différents acides gras chez les populations étudiées (Annexe 1).

Echantillon	% d'acides gras totaux							
	Ac Palmitique (16.00)	Ac palmitoléique (16.1)	Ac stéarique (18.0)	Ac Oléique (18.1)	Ac linoléique (18.2)	Ac linoléarique (18.3)	Ac Arachidique (20.0)	Ac behinique (22.0)
VC	26,29	0,61	6,30	7,19	34,10	23,10	1,63	0,75
VE1	24,19	0,37	6,27	6,61	34,42	25,75	1,97	0,38
VE2	27,91	0,30	4,80	5,00	33,63	26,75	1,46	0,10
VE3	26,60	0,34	6,44	7,89	34,77	21,64	1,65	0,63
VG	26,56	0	4,77	7,26	34,44	22,27	3,54	1,14
VT	28,26	0,32	6,56	5,20	33,56	22,98	2,43	0,65

Tableau 15 : Composition en acides gras des lipides de niébé (% d'acides gras totaux)

II-8 Teneur en acide phytique

Les phytates jouent un rôle important dans le métabolisme des plantes où ils régulent plusieurs fonctions cellulaires telles que la réparation de l'ADN, le remodelage de la chromatine et l'endocytose, ils sont également impliqués dans le métabolisme de stress et dans le processus de résistance aux pathogènes (Zhou et Erdman, 1995).

L'acide phytique se trouve sous forme de complexe minéral insoluble au pH physiologique de l'intestin (Fredlund et al., 2006) ; et mis à part ses effets antinutritionnels, il joue un rôle bénéfique pour la santé humaine où il agit comme anticarcinogène, il réduit les risques des maladies cardiaques et du diabète (Welch et Graham, 2004 ; Vucenik et Shamsuddin , 2006).

Echantillon	Acide phytique (mg /100g MS)
VC	1405,3 ±28,2 ^a
VE1	1731,16 ± 56,5 ^b
VE2	1704,01 ± 31,8 ^b
VE3	1446,03 ± 42,4 ^a
VG	1665,15 ± 137,6 ^b
VT	1323,83 ±46,6 ^a

Tableau 16 : Teneur en acide phytique exprimée en mg /100g MS (moyenne ± écart-type)

La teneur moyenne en acide phytique des graines varie entre 1323,83mg /100g MS pour les graines issues de de la population VT et 1731,16 mg / 100g MS pour les graines de la population VE1 (Tableau 16) ; ces résultats sont plus élevés que ceux habituellement obtenus sur le niébé et qui s'étendent entre 424 et 1230 mg/100g MS (Carnovale et al., 1989 ; Lyayi et al., 2008).

Selon Dintzis et al. (1992), et Mason et al. (1993), le facteur variétal et le facteur environnemental, peuvent seuls ou en combinaison causer une large variation dans la teneur en acide phytique chez les graines mûres des légumineuses et des céréales.

L'analyse de la variance a révélé un effet hautement significatif (annexe 1). La comparaison des moyennes par le test de PPDS montre que les populations étudiées peuvent être classées en deux groupes homogènes (annexe 3).

III- Conclusion

La première partie de notre étude a concerné la caractérisation physique et biochimique de six (06) populations des graines de niébé cultivées localement.

L'analyse de la variance (ANOVA) a permis de déceler une variabilité au sein de ces populations pour plusieurs paramètres étudiés ; il s'agit de :

- la taille des graines et poids de 100 graines,
- les teneurs en eau et en cendre,
- la teneur en phosphore ,

- les teneurs en protéine,
- les teneurs en Amidon, en cellulose et en sucres solubles ,
- la teneur en acide phytique.

Les populations étudiées ont montré une composition intéressante par leur richesse en protéines, en amidon et en éléments minéraux. Les populations VG (El Golea) et VT (Tizi Ouzou) se sont montrées particulièrement riches en protéines. Tandis que les graines de la population VC (commerciales), et celles issues de la population VE3 (EL Kala Tonga) et VT (Tizi Ouzou) se sont révélées intéressantes par leurs faibles teneurs en acide phytique.

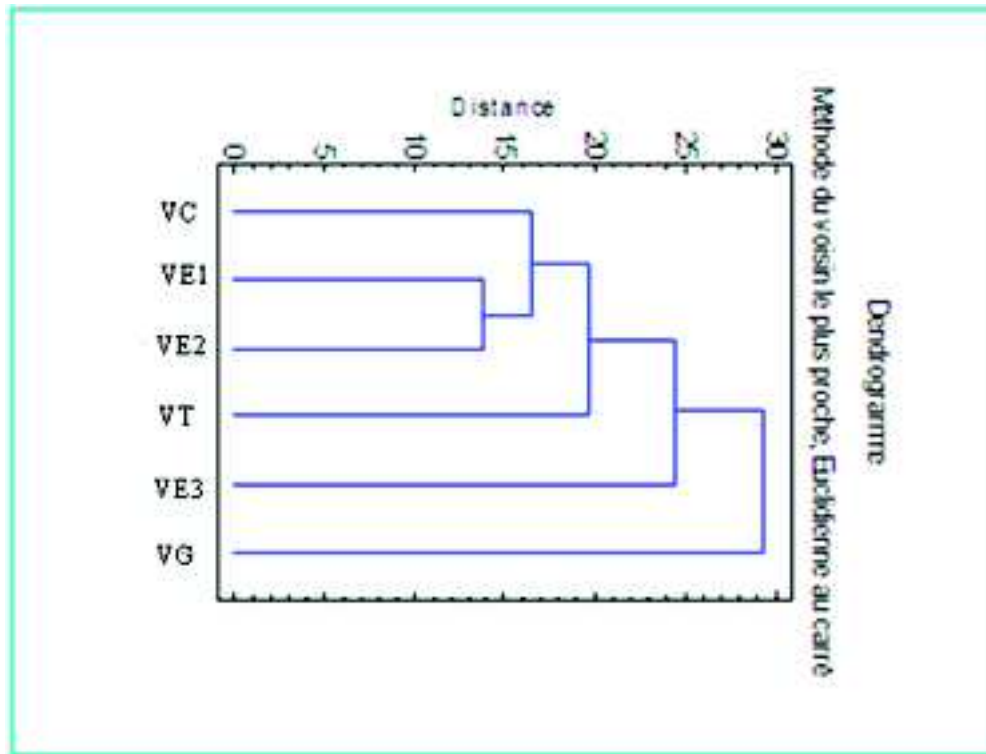


Figure 4 : Dendrogramme des différentes populations de niébé étudiées

L'analyse des résultats de l'ensemble des tests biochimiques effectués sur les six populations par un dendrogramme (méthode de voisin le plus proche) a permis de classer les populations de graines de niébé selon leurs ressemblances biochimiques, la Figure 4 montre que les populations les plus proches dans cette étude sont celles VE1 et VE2 d'EL Kala, ceci est expliqué par le fait qu'il s'agissait d'une même population mais cultivées dans deux régions et deux périodes différentes (Tableau 8) ; ces deux populations ont montré des graines de taille et poids différents (Tableau 10).

Il est à signaler que les graines issues de la région de Kabylie VC et VT (commerciales et Tizi ousou) sont plus proches du point de vue composition biochimique des deux populations d'EL Kala Melah VE1 et VE2 que de la population VE3 d'El Kala Tonga ; les graines de ces quatre populations se rassemblent sur le plan de la couleur de la graine et du hile, elles sont toutes beiges à hile noire (tableau 9). Les populations les plus éloignées sont celles qui présentent les graines de couleur différente : VE3 d'El kala Tonga (Beige à hile marron) et VG de Golea (noire).

Chapitre II : Effet des traitements technologiques sur la composition de *Vigna unguiculata*

I- Tests technologiques

I-1 Pertes en matière sèche durant les traitements

Les pertes en matière sèche durant les différents traitements sont illustrées dans la figure 5; le trempage des graines pendant 8h, 16h et 24 heures cause des pertes en matière sèche de 2,6g/100g MS, 3,87g/100gMS et 3,98g/100gMS respectivement en fonction de la durée de trempage, la cuisson seule ou combinée avec le trempage cause des pertes de 5,22g/100gMS à 4,28g/100g MS respectivement, l'autoclavage seul ou combiné avec le trempage cause des pertes plus importantes que les deux autres traitements, elles sont de 14,57g/100gMS et 14,78g/100gMS.

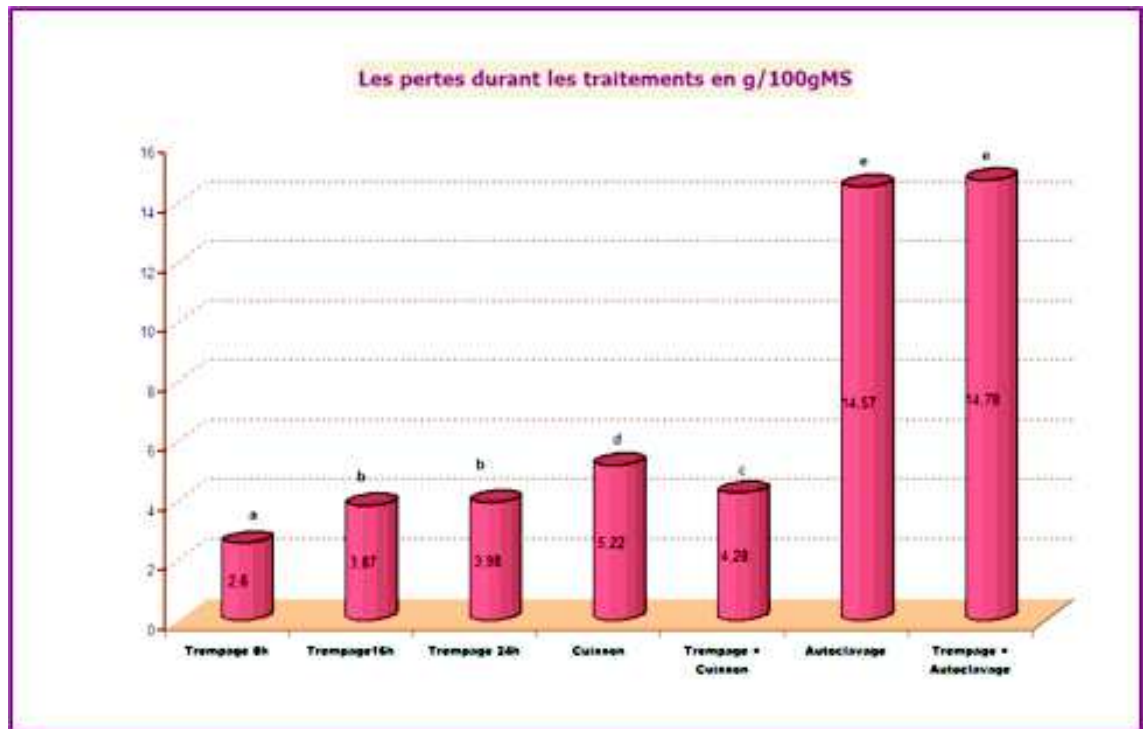


Figure 5 : Effet des traitements technologiques sur les pertes en matière sèche (g/100gMS)

L'étude statistique montre l'existence d'une différence très hautement significative entre les traitements appliqués (annexe 2). La comparaison des moyennes par le test PPDS a permis de classer les traitements en cinq groupes homogènes (annexe 4). Cette étude montre qu'il n'y a pas de différence significative entre le trempage pendant 16h et le trempage pendant 24h. Les pertes causées par la cuisson sont plus importantes chez les graines non trempées ; alors que l'autoclavage a un effet identique sur les graines trempées ou non.

Afoakwa et Yeniy (2006) ont montré que les pertes augmentent en fonction de la durée de trempage du niébé mais selon un modèle non linéaire.

Luo et al. (2009) ont rapporté que le tégument joue un rôle important en tant que barrière contre les pertes en matières sèches durant le trempage de la fève. Ils ont observé que les pertes en matières sèches sont plus importantes quand le trempage est effectué avec des solutions acides. L'acidité modifie la couche extérieure des téguments, et altère la fonction de cette barrière.

Dans notre étude la température dans le cas de la cuisson et l'effet combiné de la température et de la pression dans le cas de l'autoclavage ont probablement altéré l'intégrité du tégument et causé des pertes plus importantes. Ces pertes sont constituées de facteurs antinutritionnels tels que l'acide phytique, les tannins, et des éléments nutritifs tels que les éléments minéraux et les vitamines (Mubarak, 2005 ; Khatlab et Arntfield, 2009 ; Campos-Vegas et al., 2010).

I-2 Test de cuisson

Le temps nécessaire pour la cuisson des graines est de 34 mn et 12s (Tableau 17). La cuisson des graines implique la gélatinisation de l'amidon et l'attendrissement simultanée des parois cellulaires. Elle est corrélée à la perméabilité à l'eau chaude des téguments des graines, qui dépendent de la structure chimique des parois cellulaires, de la dureté inhérente des cotylédons et enfin de la taille des graines (Uzogara et al., 1992).

Test	Moyenne
Test de cuisson	34 mn 12 s ± 1 mn 2s
Indice de gonflement des graines à la cuisson	2,276 ± 0,276
Capacité d'absorption d'eau (g/gMS)	1,447 ± 0,116
Capacité d'absorption d'huile (g/gMS)	0,6143 ± 0,005
Indice de gonflement de farine	5,1611 ± 0,367

Tableau 17 : Tests technologiques (moyenne ± écart-type)

La conservation des légumineuses au-delà de six mois entraîne des modifications de qualité des graines notamment, un durcissement les rendant difficiles à cuire (Nyabyenda, 1987) ; Michael et Varriano- Marston (1981) ont démontré que des changements physico-chimiques et biochimiques interviennent au sein du tégument et des cotylédons lors du stockage des graines. Pour ces auteurs, ces changements interviennent pour 40% dans l'explication du temps de cuisson des graines de légumineuses.

I-3 Indice de gonflement

L'indice de gonflement des graines étudiées est de 2,276, cette valeur est en concordance avec les résultats de Balla et Baragé, (2006) qui ont rapporté des indices de gonflement à la cuisson compris entre 2,0 et 3,0 sur quatre variétés, et ils ont pu montrer que ce paramètre dépend de la variété et de la durée de stockage. Cet indice traduit la capacité des graines à absorber l'eau durant la cuisson ; en effet, les graines de niébé peuvent absorber des

quantités d'eau allant de 1,14 à 1,60 gramme par gramme de graines (Olapade et *al.*, 2002; Kaptso et *al.*, 2008).

I-4 Capacité de fixation d'eau

La capacité de fixation d'eau pour la farine de nos graines est de 1,447gramme d'eau par gramme de farine, cette valeur corrobore les résultats de Akinjayeju et Bisiriyu (2004), et ceux de Adebooye et Singh (2008), ce paramètre est lié à la capacité de gonflement des granules d'amidon contenus dans l'échantillon (Prinyawiwatkul et *al.*, 1996). Il est lié aussi à la teneur en protéine, plus il y a des protéines plus la capacité de fixation d'eau augmente (Hutton et Campbell, 1981), l'interaction eau- protéine se fait au niveau des acides aminés polaires , plus les protéines contiennent des acides aminés polaires plus elle deviennent plus hydrophiles. La capacité de fixation d'eau par la farine peut être améliorée par un traitement dénaturant les protéines tel que la cuisson (Giami, 1993).

I-5 Capacité de fixation d'huile

La capacité de fixation d'huile de la farine de niébé est de 0,614 g d'huile par gramme de farine, ce résultat est proche de celui rapporté par Abu et *al.* (2005). Le mécanisme d'absorption d'huile englobe le piégeage physique d'huile par les différents constituants de l'aliment ainsi que l'affinité des fragments non polaires des protéines pour les lipides (Sathe et *al.*, 1982).

I-6 Indice de gonflement de la farine

L'indice de gonflement de la farine de niébé est de 5,161, ce qui est plus élevé par rapport aux résultats de Akinjayeju et Bisiriyu (2004), et inférieur aux résultats rapportés par Abu et *al.* (2005). Les teneurs en amylose dans les grains d'amidon influencent le gonflement de la farine. En effet, les grains d'amidon avec des teneurs en amylose basses sont moins rigides, et donc gonflent plus librement (Sandhya Rani et Bhattacharaya, 1989; Adebooye et Singh, 2008).

II- Tests biochimiques

II-1 Teneur en protéines

La teneur en protéines chez l'échantillon non traité est de 23,65g/100g MS (Tableau 18), cette teneur semble être augmentée par tous les traitements réalisés, le trempage seul pendant trois durées différentes cause une augmentation de 3,89% à 9,26% de la teneur initiale en protéines. La cuisson combinée ou non avec le trempage provoque une élévation de la teneur en protéines de 9,64 à 9,85% tandis que l'autoclavage combiné ou non avec le trempage provoque une élévation de 11,67 à 12,64%.

L'augmentation du taux des protéines suite aux trempage, cuisson et autoclavage est souvent rencontrée chez le niébé (Edijala, 1980; Rivas-Vega et *al.*, 2006; Lara-Flores et *al.*, 2007) et chez les autres légumes secs tels que le pois chiche, la lentille, le pois et le haricot (Wang et *al.*, 2008; Wang et *al.*, 2009; Wang et *al.*, 2010).

Cette augmentation est due aux pertes des éléments solubles dans l'eau de trempage, de cuisson et d'autoclavage ce qui provoquent la concentration des protéines dans les graines trempées, cuites et autoclavées (Wang et *al.*, 2008).

L'analyse de la variance révèle l'existence d'un effet hautement significatif des traitements effectués sur la teneur en protéines (annexe 2). La comparaison des moyennes par le test PPDS a permis de classer les échantillons traités en trois groupes homogènes (annexe 4).

II-2 Teneur en cendres

La teneur en cendres dans le témoin est de 3,70 g/100g MS, les traitements effectués ont tous causé une diminution de cette teneur, de l'ordre de 6,75% après un trempage de 8h, de 13,78% après un trempage de 16 heures et 14,32% après un trempage de 24heures. Les graines cuites, et trempées puis cuites ont des teneurs en cendres de 2,70g/100g MS et 2,37g/ 100 g MS respectivement, correspondant à une diminution de 27,02 et 35,94% respectivement. Les graines autoclavées et, trempées puis autoclavées ont des teneurs en cendres de 2,28 et 2,08g/100g MS respectivement, c'est à dire un diminution d'environ 38,37% et 43,78%.

Echantillon	Protéine (g/100gMS)	Cendre (g/100gMS)
Témoin	23,65 ± 0,70 ^a	3,70 ± 0,13 ^t
Trempage 8h	24,66 ± 0,84 ^{abc} (+4,27%)	3,45 ± 0,10 ^o (- 6,75%)
Trempage 16h	24,57 ± 0,25 ^{ab} (+3,89%)	3,19 ± 0,12 ^d (- 13,78%)
Trempage 24h	25,84 ± 0,62 ^{bc} (+9,26%)	3,17 ± 0,03 ^d (- 14,32%)
Cuisson seule	25,98 ± 0,31 ^c (+9,85%)	2,70 ± 0,02 ^o (- 27,02%)
Trempage + Cuisson	25,93 ± 0,45 ^c (+9,64%)	2,37 ± 0,04 ^b (- 35,94%)
Autoclavage	26,41 ± 0,42 ^c (+11,67%)	2,28 ± 0,01 ^b (- 38,37%)
Trempage + Autoclavage	26,64 ± 0,70 ^c (+12,64%)	2,08 ± 0,01 ^a (- 43,78%)

Tableau 18: Effet des traitements sur la teneur en cendres et la teneur en protéines en g/100gMS (moyenne ± écart-type)

L'analyse statistique par le biais de l'analyse de la variance a révélé un effet très hautement significatif (annexe 2), la comparaison des moyennes par le test PPDS a permis de classer les traitements en six groupes homogènes (annexe 4).

La diminution de la teneur en cendres chez le niébé suite au trempage, cuisson et autoclavage est largement rencontrée dans la littérature (Akinyele, 1989, Wang et al., 1997 ; Rivas-Vega et al., 2006 ; Afoakwa et Yenyi, 2006 ; Lara-Flores et al., 2007) et chez les autres légumineuses (Wang et al., 2008 ; Wang et al., 2009 ; Wang et al., 2010) . La réduction de la teneur en cendres est attribuée à la diffusion de certains éléments minéraux dans l'eau de

trempage ou l'eau de cuisson ; Haytowitz et Matthews (1983) ont rapporté que la cuisson cause des pertes considérables en éléments minéraux chez les légumineuses.

Bressani (2000) a rapporté que le problème de la dureté à la cuisson chez les légumineuses est étroitement lié à leurs teneurs en sels minéraux.

II-3 Teneur en éléments minéraux

Les pertes en éléments minéraux sont susceptibles de se produire au cours de traitements dans l'eau. Les sels minéraux solubles diffusent de l'aliment vers la phase aqueuse, ce passage des sels minéraux dans l'eau de traitement dépend de leur solubilité et essentiellement du pH. La chaleur accélère les vitesses de transfert de matière, ainsi les substances minérales diffusent d'autant plus vite du produit végétal vers le milieu aqueux que la température est élevée et la surface de contact importante (Dupin et *al.*, 1992).

Tous les traitements étudiés ont causé des modifications des teneurs K, P, Ca, Na, Mg et Mn (Tableau 19); le trempage a causé des réductions de la teneur initiale en K allant de 7,39% jusqu'à 16,49%, la cuisson sans ou avec trempage a causé une réduction de 25,07% à 38,49% de la teneur initiale en cet élément. De même, l'autoclavage avec ou sans trempage cause à son tour des réductions de 37,07% à 45,88% de la teneur initiale du K.

Les pertes en K durant les traitements thermiques, chez le haricot, peuvent atteindre 65% (Dupin et *al.*, 1992).

L'analyse de la variance a révélé un effet très hautement significatif des traitements (annexe 2), et la comparaison des moyennes par le test PPDS a permis de classer les traitements en six groupes homogènes (annexe 4).

Le calcium a également été affecté par tous les traitements appliqués ; sa teneur diminue de 6,04% à 19,25% suite aux trempages pendant les trois durées, et de 35,79% à 40,60% suite à la cuisson sans et avec trempage. L'autoclavage sans et avec trempage provoque à son tour une baisse de 38,70% à 47,92% de la teneur initiale du Ca.

L'analyse de la variance a révélé un effet hautement significatif des traitements sur la teneur en Ca (annexe 2), et la comparaison des moyennes par le test PPDS a permis de classer les traitements en quatre groupes homogènes (annexe 4).

Echantillon	K (mg/ 100gMS)	Na (mg/ 100gMS)	Ca (mg/ 100gMS)	Mg (mg/ 100gMS)	Mn (mg/ 100gMS)	P (mg/ 100gMS)
Témoin	1282,8 ± 70,7 ^d	71,16 ± 4,42 ^c	195,3 ± 1,2 ^d	125,6 ± 5,1 ^f	0,627 ± 0,284	631,1 ± 32,3 ^a
Trempage 8h	1188,0 ± 28,2 ^e (- 7,39%)	68,62 ± 2,81 ^c (- 3,56%)	183,5 ± 14,3 ^{cd} (- 6,04%)	101,0 ± 6,3 ^{de} (- 19,58%)	0,427 ± 0,169 (- 32,11%)	369,6 ± 27,4 ^c (- 41,43%)
Trempage 16h	1102,8 ± 35,3 ^{de} (- 14,03%)	66,92 ± 1,38 ^c (- 4,24%)	158,3 ± 13,9 ^{bc} (- 18,94%)	107,5 ± 2,7 ^e (- 14,41%)	0,485 ± 0,296 (- 22,89%)	334,8 ± 16,5 ^{bc} (- 46,94%)
Trempage 24h	1071,2 ± 31,1 ^d (- 16,49%)	63,75 ± 6,95 ^{bc} (- 7,41%)	157,7 ± 0,7 ^{bc} (- 19,25%)	97,4 ± 5,2 ^{cd} (- 22,45%)	1,164 ± 0,155 (+85,05%)	334,2 ± 16,4 ^{bc} (- 47,04%)
Cuisson seule	961,1 ± 57,9 ^c (- 25,07%)	62,90 ± 4,13 ^{bc} (- 8,26%)	125,4 ± 27,9 ^{ab} (- 35,79%)	95,5 ± 3,5 ^{bcd} (- 23,96%)	0,584 ± 0,313 (- 7,15%)	334,7 ± 20,4 ^{bc} (- 46,96%)
Trempage + Cuisson	789,0 ± 21,2 ^b (- 38,49%)	49,99 ± 4,15 ^a (- 29,74%)	116,0 ± 19,0 ^a (- 40,60%)	75,9 ± 1,8 ^a (- 39,57%)	1,078 ± 0,289 (+ 71,38%)	313,2 ± 16,2 ^b (- 50,37%)
Autoclavage	807,2 ± 33,9 ^b (- 37,07%)	55,02 ± 5,95 ^{ab} (- 22,72%)	119,7 ± 18,0 ^a (- 38,70%)	86,5 ± 0,2 ^b (- 31,13%)	0,530 ± 0,142 (- 15,73%)	199,7 ± 2,9 ^a (- 68,35%)
Trempage + Autoclavage	694,2 ± 15,5 ^a (- 45,88%)	53,27 ± 5,81 ^{ab} (- 25,14%)	101,7 ± 11,4 ^a (- 47,92%)	89,8 ± 4,5 ^{bc} (- 28,50%)	1,056 ± 0,145 (+ 67,88%)	184,8 ± 12,6 ^a (- 70,71%)

Tableau 19 : Effet des traitements sur la teneur en éléments minéraux (mg/ 100g de matière sèche (Moyenne ± écart-type))

La teneur en P chez le témoin non traité est de 631,1 mg / 100g MS, elle diminue sensiblement après les traitements. Elle est de 369,6 et 334,2 mg /100g en MS pour les graines trempées, et de 334,7 mg /100g et 313,2mg/100g pour les graines cuites avec et sans trempage préalable, et 184,8 mg/100g et 199,7 mg / 100g pour les graines autoclavées avec ou sans trempage préalable.

L'analyse de la variance a révélé un effet très hautement significatif des traitements sur la teneur en P (annexe 2), et la comparaison des moyennes par le test PPDS a permis de classer les traitements en quatre groupes homogènes (annexe 4).

Luo et al. (2009) ont observé des pertes de 52% et de 40% de la teneur en P et en Ca respectivement suite au trempage des fèves pendant 120 heures.

La teneur en Na et en Mg a également baissé, les pertes sont plus importantes avec les traitements thermiques. La plus faible teneur en Na et en Mg est de 49,99mg /100g MS et 75,9mg / 100g MS respectivement pour les graines trempées puis cuites.

L'analyse de la variance a révélé un effet très hautement significatif des traitements sur la teneur en Mg et significatif sur la teneur en Na (annexe 2), et la comparaison des moyennes par le test PPDS a permis de classer les traitements en six groupes homogènes pour la teneur en Mg, et en trois groupes homogènes pour la teneur en Na (annexe 4).

La teneur en Mn a connu une augmentation chez les graines trempées pendant 24h, les graines trempées puis cuites et les graines trempées puis autoclavées. Cependant cette augmentation n'est pas significative au taux de risque de 5%. Nos résultats ne sont pas en accord avec ceux mentionnés par Dupin et al. (1992), qui ont rapporté des pertes en Mn de l'ordre de 60 % suite à la cuisson du haricot. D'autres auteurs ont observé une légère augmentation de la teneur en Mn suite à la cuisson des graines de pois, de lentilles, de pois

chiche et de haricot (Wang et al., 2008 ; Wang et al., 2009 ; Wang et al., 2010) ; Pour Khalil (2001) , aucune variation n'a été observée après cuisson des graines de fève.

Un gain en éléments minéraux est observé dans certaines situations : la cuisson dans une eau dure entraîne un enrichissement en Ca ; le contact avec certains appareils entraîne un gain en Fe, Cu, Zn, Mn, Cr, Ni, et le contact avec les boîtes métalliques et autres récipients utilisés pour le conserve entraîne une augmentation des teneurs en Etain, Fer, Aluminium, Plomb, Cuivre et Zinc (Dupin et al., 1992).

II-4 Teneur en glucides

II-4-1 Amidon

La teneur en amidon chez le témoin est de 45,62% MS (Figure 6) ; Elle augmente de 0,06% à 4,75 % suite au trempage, de 1,05 à 8,79% pour la cuisson avec et sans trempage, et de 6,26% à 10,76% pour l'autoclavage avec et sans trempage.

L'augmentation de la teneur en amidon chez les légumineuses suite au trempage, cuisson et autoclavage a été déjà rapportée par plusieurs auteurs (Wanjekeche et al., 2003; Wang et al., 2008 ; Wang et al., 2009 ; Wang et al., 2010) ; d'autres ont observé plutôt une diminution de la teneur en ce polysaccharide (Aguilera et al., 2009); et d'autres n'ont pas observé de variations (Mubarak, 2005).

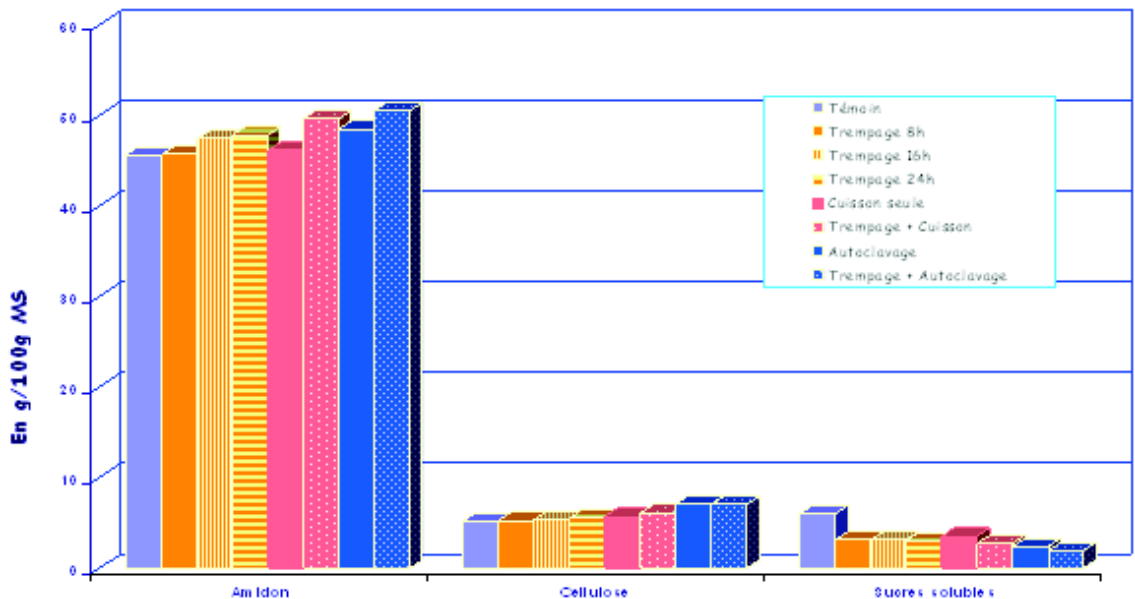


Figure 6 : Effet des traitements sur la teneur en amidon, la teneur en cellulose et la teneur en sucres solubles chez les graines de niébé traitées (g/100gMS)

Ces différences entre les résultats peuvent être dues au facteur variétal ou aux méthodes d'analyse utilisées.

Les traitements se traduisent également par des augmentations de la digestibilité de l'amidon à travers la gélatinisation, la destruction des facteurs antinutritionnels et à travers l'hydrolyse de l'amidon sous conditions thermiques (Yu-Hui, 1991 ; Mbofung et al., 1999 ; Rehman, 2007).

L'analyse statistique (analyse de la variance : ANOVA) a révélé l'existence d'une différence significative entre les traitements (annexe 2), la comparaison des moyennes par le test PPDS a permis de classer nos traitements en quatre groupes homogènes (annexe 4).

II-4-2 Cellulose brute

La teneur en cellulose brute des échantillons de niébé traités est présentée dans la Figure 6; le témoin non traité en contient 5,20g/100g MS. Le trempage fait augmenter cette teneur de 0,76% à 6,15%, la cuisson avec ou sans trempage préalable la fait augmenter de 9,61 à 17,5%, et enfin, l'autoclavage avec ou sans trempage préalable la fait augmenter de 34,07 à 35,96%. Toutefois, l'analyse de la variance n'a pas pu révéler une différence significative entre les traitements au taux de risque de 5% (annexe 2).

L'augmentation de la teneur en cellulose brute chez les légumineuses a été déjà rapportée par Rehman *et al.* (2004), Alajaji et El-Adawy (2006) et Abusin *et al.* (2009). Almeida Costa *et al.* (2006), Wang *et al.* (2008), Wang *et al.* (2009) et Wang *et al.* (2010) ont observé une augmentation de la teneur en fibres insolubles lors de tels traitements ; la cellulose fait partie des fibres insolubles. Toute fois, d'autres auteurs ont signalé la diminution de la teneur en cellulose suite aux traitements précédents (Wanjekeche *et al.*, 2003 ; Kashub *et al.*, 2005.), d'autres encore n'ont pas observé de variation (Kumaraguru Vasagam *et al.*, 2007).

II-4-3 Sucres solubles

La teneur en sucres solubles dans le témoin est de 6,03g/100g MS. Le trempage fait diminuer cette teneur de 48,09% à 49,85%, la cuisson combinée ou non avec le trempage la fait diminuer de 41,45% à 54,56%, l'autoclavage combiné ou non avec le trempage la fait diminuer de 60,36% à 68,15%.

La diminution du taux des sucres solubles chez les légumineuses suite au trempage, cuisson et autoclavage a été rapporté par plusieurs auteurs (Alajaji et El-Adawy, 2006 ; Rehman, 2007 ; Wang *et al.*, 2008 ; Aguilera *et al.*, 2009 ; Wang *et al.*, 2009 ; Wang *et al.*, 2010), cette réduction est dûe à la diffusion des sucres dans l'eau de traitement, elle dépend de l'épaisseur des téguments des graines ainsi que de leur perméabilité (Frias *et al.*, 2000). Ces pertes en sucres solubles sont en grande partie bénéfique puisque elles comportent un grand pourcentage de sucres responsables de flatulences tels que le stachyose, le raffinose et le verbascose.

L'analyse de la variance a révélé l'existence d'un effet très hautement significatif (annexe 2), la comparaison des moyennes par le test PPDS a permis de classer les traitements effectués en quatre groupes homogènes (annexe 4).

II-5 Teneur en lipides totaux

La teneur en lipides a augmenté dans les échantillons traités (Tableau 20), elle est de 1,51g/100g MS pour le témoin non traité ; le trempage a fait augmenter cette teneur de 9,32 à 17,62% ; la cuisson combinée ou non avec le trempage l'a fait augmenter de 10,60% à 18,31% ; l'autoclavage combiné ou non au trempage l'a fait augmenter à son tour de 16,04 à 34,38%.

L'augmentation de la teneur en lipides chez le niébé suite à la cuisson a été rapportée par Rivas-Vega *et al.* (2006). D'autres auteurs n'ont pas observé de variations (Herken *et*

al., 2007; Kumaraguru Vasagam *et al.*, 2007) ou observé des diminutions de la teneur initiale en lipide (Giami *et al.*, 2005) suite aux traitements thermiques de niébé.

Echantillon	Lipides (g/100gMS)
Témoin	1,518 ± 0,10 ^a
Trempage 8h	1,785 ± 0,12 ^b (+17,62%)
Trempage 16h	1,662 ± 0,15 ^a (+9,48%)
Trempage 24h	1,659 ± 0,06 ^a (+9,32%)
Cuisson seule	1,679 ± 0,12 ^a (+10,60%)
Trempage + Cuisson	1,796 ± 0,02 ^{bo} (+18,31%)
Autoclavage	1,761 ± 0,13 ^a (+16,04%)
Trempage + Autoclavage	2,040 ± 0,02 ^o (+34,38%)

Tableau 20 : Effet des traitements sur la teneur en lipides exprimée en g/100gMS (Moyenne ± écart-type)

Chez les autres légumineuses, une augmentation de 6,77% à 48,51% et de 17,42% à 18,31% des teneurs initiales en lipides a été observée chez le haricot et le pois chiche respectivement suite à la cuisson (Wang *et al.*, 2010). L'augmentation de la teneur en lipide a été également rapportée par d'autres auteurs (Ahmed *et al.*, 2006). Par contre, d'autres données montrent une absence de variation chez *Phaseolus aureus* (Mubarak, 2005) ou une diminution des teneurs en lipides chez la fève et le haricot (Abusin *et al.*, 2009) suite à la cuisson.

L'analyse de la variance a révélé un effet hautement significatif des traitements sur la teneur en lipides (annexe 2), et la comparaison des moyennes par le test PPDS a permis de classer les traitements en trois groupes homogènes (annexe 4).

II-6 Composition en acides gras

L'effet des traitements sur la composition en acides gras chez le niébé est représenté dans le tableau 21.

Les traitements appliqués n'ont pas causé de variations significatives au niveau de la composition en acides gras (annexe 2). Le taux de chaque acide gras par rapport aux lipides totaux demeure inchangé malgré une tendance vers une élévation de taux de l'acide palmitique et une diminution de taux de l'acide linoléique.

Echantillon	% d'acides gras totaux							
	Ac Palmitique (16.0)	Ac palmoléique (16.1)	Ac stéarique (18.0)	Ac oléique (18.1)	Ac linoléique (18.2)	Ac linoléique (18.3)	Ac Arachidique (20.0)	Ac behénique (22.0)
Témoin	26,29	0,61	6,30	7,19	34,10	23,10	1,63	0,75
Trempage 8h	27,45	0,32	5,97	7,03	34,52	22,32	1,77	0,57
Trempage 16h	27,08	0,43	6,97	7,64	32,56	22,69	2,07	0,53
Trempage 24h	28,27	0,25	6,04	6,68	34,35	22,40	1,63	0,35
Cuisson seule	29,86	0,40	7,44	6,96	32,36	20,98	1,78	0,18
Trempage + Cuisson	29,12	0,57	6,15	7,07	33,57	21,88	1,34	0,26
Autoclavage	28,15	0,20	6,63	7,40	33,51	22,11	1,97	0
Trempage + Autoclavage	29,79	0,38	5,49	7,24	35,01	20,50	1,38	0,17

Tableau 21 : Effet des traitements sur la composition en acides gras chez le niébé

Prinyawiwatkul et al. (1996) ont remarqué que la composition en acides gras de la farine de niébé trempée demeure inchangée, ils ont remarqué également que la teneur en acides gras totaux a augmenté dans le cas des graines trempées puis cuites.

II-7 Teneur en acide phytique

L'effet de traitements sur la teneur en acide phytique est représenté dans le tableau 22. La teneur en acide phytique chez le témoin non traité est de 1405,3mg/100g MS. Le trempage cause une diminution de 15,46% à 40,57% de la teneur initiale en acide phytique, la cuisson combinée au non avec le trempage cause une diminution de 29,95% à 32,37% de cette teneur, l'autoclavage combiné ou non au trempage cause une diminution de 49,27% à 63,77% de cette teneur.

Echantillon	Acide phytique (mg/100gMS)
Témoin	1405,3 ± 28,2 ^g
Trempage 8h	1188,0 ± 16,9 ^f (- 15,46%)
Trempage 16h	835,03 ± 62,2 ^c (- 40,57%)
Trempage 24h	883,4 ± 49,4 ^{cd} (- 37,13%)
Cuisson seule	950,4 ± 42,4 ^{de} (- 32,37%)
Trempage + Cuisson	984,3 ± 21,2 ^e (- 29,95%)
Autoclavage	712,8 ± 31,1 ^b (- 49,27%)
Trempage + Autoclavage	509,1 ± 46,6 ^a (- 63,77%)

Tableau 22 : Effet des traitements sur la Teneur en acide phytique exprimé en mg/100g de la matière sèche (Moyenne ± écart-type)

La diminution de la teneur en acide phytique chez le niébé suite au trempage, cuisson et autoclavage a été largement rapportée par la littérature (Herken et al., 2007; Lara-Flores et al., 2007 ; Khattab et Arntfield, 2009). La réduction en cet élément antinutritionnel chez les autres légumineuses suite aux traitements a été également rapportés par plusieurs auteurs (Alajaji et El-Adawy, 2006 ; Wang et al., 2008 ; Luo et al., 2009 ; Wang et al., 2009 ; Wang et al., 2010).

La diminution du taux de l'acide phytique chez les échantillons trempés est due à l'hydrolyse des phytates par les phytases endogènes (Lestienne et al., 2005) et à la diffusion de ces éléments dans l'eau de trempage ; tandis que cette diminution dans le cas des traitements thermiques est due à la nature thermolabile des phytates (Udensi et al., 2007) et également à leur diffusion dans l'eau de traitements (Lestienne et al., 2005).

L'analyse de la variance a révélé un effet très hautement significatif des traitements sur la teneur en acide phytique (annexe 2), la comparaison des moyennes par le test PPDS a permis de classer ces traitements en sept groupes homogènes (annexe 4).

III- Conclusion

L'effet du trempage, de la cuisson et de l'autoclavage sur la composition biochimique de niébé a été étudié. Ces différents traitements ont montré une modification de la composition biochimique de cette légumineuse.

En effet, ces traitements ont causé une diminution significative de la teneur en cendres, en K, P, Na, Ca, Mg, en sucres solubles et en acide phytique; et ont entraîné une augmentation de la teneur en protéines, en amidon, et en lipides, tandis que la teneur

en cellulose brute, en Mn et la composition en acides gras demeurent statistiquement constante.

Dans cette étude, on a constaté que la durée de trempage a un effet significatif sur le taux de cendres et de protéines, sur les pertes en matière sèche, la teneur en sucres solubles et le taux de phytate. En effet, les longues durées de trempage augmentent les pertes en matières sèches et augmentent le taux de protéines, et diminuent les teneurs en cendres, en sucres solubles dans les farines de niébé mais aussi diminuent le taux de l'acide phytique ; une durée de trempage supérieure à 16h semble être sans effet sur les teneurs en ces constituants sauf dans le cas des protéines.

La cuisson a montré un effet significatif sur les pertes en matière sèche, sur la teneur en protéines, en cendres, en K, Na, Ca, Mg, P, en amidon, en sucres solubles, en lipides et en acide phytique ; le trempage suivi de cuisson semble avoir le même effet que la cuisson seule sur la teneur en protéine, en Ca, en P et en acide phytique.

Concernant l'autoclavage, un effet significatif a été constaté sur les pertes en matière sèche, sur les protéines, les cendres, K, Na, Ca, Mg, P, l'amidon, les sucres solubles, les lipides et l'acide phytique, il s'agit des mêmes paramètres qui ont été touchés par la cuisson, mais de façon plus importantes. Le trempage combiné avec l'autoclavage a le même effet que l'autoclavage seul sur les pertes en matière sèche, la teneur en protéines, en Na, en Mg, en P, en amidon et en sucres solubles.

Conclusion Générale

L'étude réalisée comporte deux parties :

La première partie concerne la caractérisation physique et biochimique des graines de six populations locales de *Vigna unguiculata* provenant de différentes régions du pays.

L'étude du poids de cent graines ainsi que les dimensions des graines a montré une variabilité au sein de ces populations ; les deux populations VT et VE3 ont les plus grands poids de cent graines et les plus grandes tailles, tandis que la population VG a le plus petit poids de cent graines et la plus petite taille.

L'analyse biochimique des graines a montré des variations entre les populations pour:

- la teneur en eau et en cendre
- la teneur en protéine
- la teneur en phosphore
- la teneur en glucides
- la teneur en acide phytique

Concernant les éléments minéraux tels que K, Na, Ca, Mg et Mn, il ne semble pas qu'il y ait une différence entre la composition en ces éléments.

Les lipides totaux ont un taux comparable pour toutes les graines étudiées, et ils représentent une faible fraction de la composition totale (1,35 à 1,66%MS), les acides gras majoritaires sont l'acide palmitique, l'acide linoléique et l'acide linoléique, le taux de ce dernier par rapport à la composition totale en acides gras chez le niébé étudié est plus élevé que chez les autres légumes secs.

De cette étude, il ressort que les populations étudiées ont une composition intéressante par leur richesse en protéine, en amidon et en éléments minéraux. Les populations VG (El Golea) et VT (Tizi Ouzou) se sont montrées particulièrement les plus riches en protéines.

Aussi, il ressort que les graines issues de la région de Kabylie VC et VT (commerciales et Tizi ouzou) sont plus proches du point de vue composition biochimique des deux populations d'EL Kala Melah VE1 et VE2 que de la population VE3 d'El Kala Tonga. Il semble que le degré de variabilité biochimique entre les populations est en corrélation avec le critère couleur des graines et de hile plutôt qu'avec leur localisation géographique d'origine.

La deuxième partie de notre étude concerne l'effet de trempage pendant 8h, 16h, 24h, de cuisson sans et avec trempage préalable, et d'autoclavage avec et sans trempage sur la composition biochimique des graines de niébé.

Le taux de cendre et le taux de K, de Mg, de Ca et de P ont été affectés par tous les traitements appliqués, tandis que le taux de Na semble être affecté uniquement par la cuisson et par l'autoclavage.

La teneur en protéines a connu une augmentation suite au trempage pendant 24h, suite à la cuisson et à l'autoclavage ; celle de l'amidon a également connu une augmentation sous l'effet de cuisson et d'autoclavage. Aussi, la teneur en lipides semble être augmentée sous l'effet combiné de trempage + cuisson et de trempage +autoclavage. D'autre part, on

a constaté une diminution de la teneur en sucres solubles et en acide phytique sous l'effet de tous les traitements appliqués.

Par ailleurs la teneur en cellulose et en Mn et la composition en acides gras demeurent constantes sous l'effet de tous les traitements.

Ce travail a permis de déterminer la composition biochimique des populations étudiées et de connaître l'influence des traitements technologiques sur cette composition. Pour les recherches futures, il apparaîtrait intéressant :

- d'élargir l'étude biochimique sur les autres composants tels que les vitamines, les acides aminés et les autres facteurs antinutritionnels;
- de réaliser des tests sensoriels qui vont apporter un peu plus de précision sur certaines caractéristiques organoleptiques soumises à l'appréciation des consommateurs.

Références Bibliographiques

- Abdullah A., Baldwin R. E., 1984.** Mineral and vitamin contents of seeds and sprouts of newly available small-seeded soybeans and market samples of mungbeans. *Journal of Food Science*, 49, 656–657.
- Abu J. O., Duodu K. G., Minnaar A., 2006.** Effect of Gamma-irradiation on some physicochemical and thermal properties of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) starch. *Food Chemistry*, 95, 386–393
- Abu J.O, Muller K., Duodu K.G., Minnaar A., 2005.** Functional properties of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) flours and pastes as affected by γ -irradiation. *Food Chemistry* 93, 103–111.
- Abusin S.A.E., Hassan A.B., Elfadil E. Babiker E. E., 2009.** Nutritional Evaluation of Cooked Faba Bean (*Vicia Faba* L.) And White Bean (*Phaseolus Vulgaris* L.) Cultivars. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 3, 3, 2484-2490.
- Adebooye O. C., Singh V., 2008.** Physico-chemical properties of the flours and starches of two cowpea varieties (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9, 92–100
- Afoakwa E.O., Yenyi S.E., 2006.** Application of response surface methodology for studying the influence of soaking, blanching and sodium hexametaphosphate salt concentration on some biochemical and physical characteristics of cowpeas (*Vigna unguiculata*) during canning. *Journal of Food Engineering*, 77, 713–724.
- Aguilera Y, Mart#n-Cabrejas M.A., Ben#tez V., Molla E., Lopez-Andreu F.J., Esteban R.M., 2009.** Changes in carbohydrate fraction during dehydration process of common legumes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 678–683.
- Ahmad S., Pathak D. K., 2000.** Nutritional changes in soybean during germination. *Journal of Food Science and Technology*, 37, 665–666.
- Ahmed M.B., Hamed R. A., Ali M. E., Amro B. Hassan A. B., Babiker E.E., 2006.** Proximate composition, Antinutritional Factors and Protein Fractions of Guar Gum Seeds as Influenced by Processing Treatments. *Pakistan Journal of Nutrition*, 5 (5), 481-484.
- Akinjayeju O., Bisiriyu K. T., 2004.** Comparative studies of some properties of undehulled mechanically dehulled an manually dehulled cowpea (*Vigna unguiculata* Walp. L.) flours. *International Journal of Food Science and Technology* ,39,355-360.
- Akinyele I. O., 1989.** Effects of traditional methods of processing on the nutrient content and some antinutritional factors in cowpeas (*Vigna unguiculata*). *Food Chemistry*, 33, 291–299.
- Akli S., Belabas F., 2002.** Etude biochimique de quelques légumineuses (Pois chiche, Fèves et féveroles) possibilité d’incorporation dans les produits céréaliers. Mémoire d’Ingéniorat. INA, El Harrach, 80 p.

- Alajaji S. A., El-Adawy T.A., 2006.** Nutritional composition of chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by microwave cooking and other traditional cooking methods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 806–812
- Almeida Costa G. E., Queiroz-Monici K. S., Reis S. M. P. M., Oliveira A. C., 2006.** Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry* 94, 327–330.
- Almeida D. T., Greiner R., Furtunado D. M. N., Trigueiro I. N. S., Araujo M.P.N., 2008.** Content of some antinutritional factors in bean cultivars frequently consumed in Brazil. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 243-249.
- AOAC 925 40, 1997.** Association of Official Analytical Chemists - Official methods of analysis, Foods/Nuts and Nuts Products - Moisture.
- Amir Y., Haenni A L., Youyou A., 2006.** Differences in the biochemical composition of dry legumes cultivated in north Algeria. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 5 (3), 1411-1418.
- Ammouche Z., 2002.** Etude biochimique et de la valeur nutritive de quelques légumineuses (fève, féverole et pois chiche) : possibilité d'incorporation dans les produits céréaliers. Thèse de Magister, INA, El Harrach, 87p.
- Anoun N., Echikh N., 1990.** Etude bio systématique d'une légumineuse saharienne : le Tadelaght. Mémoire DES, USTHB, Bab Ezzouar, Alger, 101 p.
- Arkoun M., Belharet N., 2005.** Contribution à l'étude de la culture du haricot dolique (*Vigna unguiculata* L. Walp.) dans la région de la Kabylie. Mémoire d'ingénieur, U.M.M.T.O., Tizi Ouzou, 57p.
- Aykroyd W. R., Doughty J., 1982.** les graines de légumineuses dans l'alimentation humaines 2ème Edition n° 20, FAO, Rome.
- Balint G. A., 2000.** Ultrastructural study of liver cell damage induced by ricin. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 52, 413–417.
- Balla A., Baragé M., 2006.** Influence de la variété, du temps de stockage et du taux de natron sur la cuisson des graines de niébé. *Tropicultura*, 24, 1, 39-44.
- Barampama Z., Simard R.E., 1995.** Effects of soaking, cooking and fermentation on composition, *in-vitro* starch digestibility and nutritive value of common beans. *Plant Foods for Human Nutrition*, 48, 349-365.
- Batra V. I. P., Vasishta R., Dhindsa K. S., 1986.** Effect of heat and germination on trypsin inhibitor activity in lentil and pigeon pea. *Journal of Food Science and Technology*, 23, 260–263.
- Bayram M., Kaya A., Oner M.D., 2004.** Changes in properties of soaking water during production of soy-Bulgur. *Journal of Food Engineering*, 61, 221-230.
- Bazzano L. H. J., Ogden L. G., Loria C., Vupputuri S., Myers L., Whelton, P. K., 2001.** Legume consumption and risk of coronary heart disease in US men and women: NHANES I Epidemiologic Follow-up Study. *Archives of Internal Medicine*, 161, 2573–2578.
- Beddiaf Z., 2006.** Caractérisation agro morphologique de quelques populations locales du (*Vigna unguiculata*) (L.) Walp. Dans la région de Djanet. Mémoire d'Ingénieur, INA, EL Harrach, Alger, 93 p.

- Belane A.K., Dakora F.D., 2011.** Levels of nutritionally-important trace elements and macronutrients in edible leaves and grain of 27 nodulated cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotypes grown in the Upper West Region of Ghana. *Food Chemistry*, 125(1), 99–105.
- Belatra O., 2006.** Effet du stress hydrique sur la symbiose *Vigna unguiculata* - *Rhizobium*. Mémoire d'Ingénieur, INA, El Harrach, 83p.
- Belitz H. D., Weder J. K. P., 1990.** Protein inhibitors of hydrolases in plants foodstuffs. *Food Reviews International*, 6, 151–211.
- Berhaut J., 1976.** Flore du Sénégal, Tome 5 : Légumineuses Papilionacées. Ed. Claire, Afrique, Dakar, livre Africain, 658 p.
- Besançon P., 1978.** La valeur nutritionnelle des légumes secs et des protéines de légumineuses. *Revue Française de Diététique*, 84, 5-17.
- Bhat R., Sridhar K.R., Tomita-Yokotani K., 2007.** Effect of ionizing radiation on antinutritional features of velvet bean seeds (*Mucuna pruriens*). *Food Chemistry*, 103, 860-866.
- Boubkeur D., 2007.** Caractérisation agromorphologique de quelques populations locales de *Vigna unguiculata* L. Walp. dans la région de Tidikelt. Mémoire d'Ingénieur, INA, El Harrach, 75p.
- Bouhnik Y., Raskine L., Simoneau G., Vicaut E., Neut C., Flourie´ B., Brouns F., Francis R, Bornet F. R., 2004.** The capacity of nondigestible carbohydrates to stimulate fecal bifidobacteria in healthy humans: A double-blind, randomized, placebo-controlled, parallel-group, dose-response relation study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 80, 1658–1664.
- Bouquelet S., 2008.** Polysaccharides alimentaires (Biochimie Agroalimentaire). Ed. : Université de Lille I, UNIT, 2008. URL d'accès : <http://biochim-agro.univ-lille1.fr/polysaccharides/co/polysaccharides.html>, consulté en Mars 2010.
- Boye J., Zare F., Pletch A., 2010.** Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed: Review. *Food Research International*, 43, 414–431.
- Bressani R., 1993.** Grain quality of beans. *Food Review International*, 9(2), 237–297.
- Bressani, R., 2000.** "Factors influencing value in food grain legumes-review". Centro de ciencia e tecnologia de alimentos. Universidad del Valle, Guatemala. <http://cidicco.hn/newcidiccoenglish/>.(2000).
- Butt M. S., Batool R., 2010.** Nutritional and Functional Properties of Some Promising Legumes Protein Isolates. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9 (4), 373-379
- Campos-Vega R., Loarca-Pina G, Oomah B. D., 2010.** Minor components of pulses and their potential impact on human health. *Food Research International*, 43, 461–482
- Carnovale E., Marletta L., Marconi E., Brosio E., 1989.** Nutritional and Hydration Properties in Cowpea. *Cowpea Genetic Resources* . Ed, N. Q. Ng and L. M. Monti. 200p.
- Cerdeira A. L., Cole A. W., Luthe D. S., 1985.** Cowpea (*Vigna unguiculata*) seed protein response to glyphosate. *Weed Science*, 33, 1-6.

- Cerning-beroard J., Filiatre A., 1976.** A comparison of the carbohydrate composition of legume seeds : horsebeans, peas, and lupines. *Cereal Chemistry*, 53, 968-978.
- Chaabena A., 1991.** Effet du stress hydrique sur la production de trois populations de Tadelaght (*Vigna unguiculata* L. Walp.). Mémoire d'ingénieur. ITAS. Ouargla. 23 p.
- Chabane D., 2003.** Influence des lipides du pois chiche sur les propriétés fonctionnelles des protéines de blés durs. Thèse Magister. INA, Alger. 99 p.
- Chang K. C. Harrold R. L., 1988.** Changes in selected biochemical components in vitro protein digestibility and amino acids in two bean cultivars during germination. *Journal of Food Science*, 53, 783–787.
- Chapman H.D., Pratt F.P., 1961.** Ammonium vandate-molybdate method for determination of phosphorus. In: *Methods of analysis for soils, plants and water*. 1st Ed. California: California University, Agriculture Division, pp: 184-203.
- Chen L. H., Wells C. E., Fordham J. R., 1975.** Germinated seeds for human nutrition. *Journal of Food Science*, 40, 1290–1294.
- Chung K. T., Wong T. Y., Wei C. I., Huang Y. W., Lin Y. 1998.** Tannins and human health: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38,421–464.
- Cissé N., Hall A.E., 2003.** La culture traditionnelle du niébé au Sénégal : Etude de Cas. FAO, http://www.fao.org/ag/AGP/agpc/doc/publicat/cowpea_cisse/cowpea_cisse_f.htm .
- Codex Alimentarius, 2007.** Céréales, légumes secs, légumineuses et matières protéiques végétales, Ed. OMS-FAO, Rome, 2007, 115p.
- Combe E., Achi T., Pion R., 1991.** Utilisation digestive et métabolique comparées de la fève, de la lentille et du pois chiche chez le rat. *Reproduction, Nutrition, Development*, 31, 631-646.
- Cristofaro E., Mottli F., Whurmann J. J., 1974.** Involvement of raffinose family oligosaccharides in flatulence. *Sugars in Nutrition*. Ed., Sepple H. I., McNut K. W., Academic Press : New York, pp: 313-363.
- Craufurd P.Q., Summerfield R.J., Ellis R.H., Robert E.H., 1997.** Phitoperiod, temperature, the growth and development of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). In: *Advances in cowpea research*. Ed. Ibadan, Nigeria, IITA-JIRCAS, p.p. 75-86
- Dang J., Arcot J., Shrestha A., 2000.** Folate retention in selected processed legumes. *Food Chemistry*, 68, 295–298.
- Danoun R., Ousmer L., 1990.** Etude de la production du haricot dolique (*vigna unguiculata*) (L.) Walp. dans la région de Tizi-Ouzou. Mémoire d'ingénieur, U.M.M.T.O., 108 p.
- Dario A. C., Salgado J. M., 1994.** Effect of thermal treatments on the chemical and biological value of irradiated and non-irradiated cowpea bean (*Vigna unguiculata* L. Walp) flour. *Plant Foods for Human Nutrition*, 46, 181–186.
- Davis D.W., Oelke E.A., Oplinger E.S., Doll J. D., Hansan C.V., Puntnam D. H., 1991.** Cowpea. Ed. Université de Wisconsin-Madison, USA, 14p.
- Dintzis F. R., Lehrfeld J., Nelsen T. C., Finney P. L., 1992.** Phytate content of soft wheat brans as related to kernel size, cultivar, location, and milling and flour quality parameters. *Cereal Chemistry*, 69, 577–581.

- Diop Y. M., Marchioni E., Ba D., Hasselmann C., 1997.** Radiation disinfestation of cowpea seeds contaminated by *Callosobruchus maculatus*. *Journal of Food Processing and Preservation*, 21, 69–81.
- Doblado R., Frias J., Vidal-Valverde C., 2007.** Changes in vitamin C content and antioxidant capacity of raw and germinated cowpea (*Vigna sinensis* var. *carilla*) seeds induced by high pressure treatment. *Food Chemistry*, 101, 918–923.
- Duke J.A. 1981.** Handbook of legumes of world economic importance. Plenum Press. NewYork. 345p.
- Dupin H., Cuq J. L., Malewiak M. I., Leynaud-Rouaud C., Berthier A. M., 1992,** Alimentation et nutrition humaines. Ed. ESF Editeurs, 1533p.
- Echikh N., 2000.** Organisation du pool génétique de formes sauvages et cultivées d'une légumineuse alimentaire *Vigna unguiculata* L. Walp. Thèse de Doctorat en Sciences agronomiques et Ingénierie biologique. Fac. Sci. Agron., Gembloux. Belgique, 307p.
- Edijala J. K., 1980.** Effect of processing on the thiamin, riboflavin and protein contents of cowpea (*V. unguiculata*) 1. soaking, cooking and wet milling processes. *Journal of Food Technology*, 15, 435-443.
- El-Adawy T. A., Rahma E. H., El-Bedawy A. A., Beltagy A. E., 2003.** Nutritional potential and functional properties of germinated mung bean, pea and lentil seeds. *Plant Foods for human Nutrition*, 58, 1-13.
- Ellis R., Morris E. R., Philpot C., 1977.** Quantitative determination of phytate in the presence of high inorganic phosphate. *Analytical Biochemistry*, 77, 537-539.
- Emechebe A., Voh J., Olufajo O., Dike M., 1997.** Ecologically Sustainable Cowpea Pest Management Project: Report on 1997 Activities. Institute for Agriculture Research, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria
- Ene-Obong H. N., 1995.** Content of antinutrients and in vitro protein digestibility of the African yam bean, pigeon and cowpea. *Plant Foods for Human Nutrition*, 48,225–233.
- Ferreira R. B., Melo T. S., Teixeira A. N., 1995.** Catabolism of the seed storage proteins from *Lupinus albus*: fate of globulins during germination and seedling growth. *Australian Journal of Plant Physiology*, 22, 373–381.
- Food and Agricultural Organisation (FAO), 2010.** World Dry Cowpea Production Figures. <http://faostat.fao.org/faostat/> consulté en Janvier, 2010.
- Fordham J. R., Wells C. E., Chen L. H., 1975.** Sprouting of seeds and nutrient composition of seeds and sprouts. *Journal of Food Science*, 40, 552–556.
- Fredlund K., Isaksson M., Rossander-Hulthén L., Almgren A., Sandberg A.S., 2006.** Absorption of zinc and retention of calcium: Dose-dependent inhibition by phytate. *Journal of Trace Elements in Medical Biology*, 20, 49–57.
- Freitas R. L., Teixeira A. R., Ferreira R. B., 2004.** Characterization of the proteins from *Vigna unguiculata* seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 1682–1687.
- Freitas S. M., Mellob L. V., Silvab M. C. M., Vriendc G., Neshichb G., Venturaa M. M., 1997.** Analysis of the black-eyed pea trypsin and chymotrypsin inhibitor-K-chymotrypsin complex. *FEBS Letters*, 409, 121-128

- Frias J., Diaz-Pollan C., Hedley C., Vidal-Valverde C., 1995.** Evolution of trypsin inhibitor activity during germination of lentils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 2231–2234.
- Frias J., Miranda M. L., Doblado R., Vidal-Valverde C., 2005.** Effect of germination and fermentation on the antioxidant vitamin content and antioxidant capacity of *Lupinus albus* L. var Multolupa. *Food Chemistry*, 92, 211–220.
- Frias J., Vidal-Valverde C., Sotomayor C., Diaz-Pollan C., Urbano G., 2000.** Influence of processing on available carbohydrate content and antinutritional factors of chickpeas. *European Food Research and Technology* 210, 340–345.
- Ghalmi N., Ounane S.M., Benmohamed A., Benamara A., 2004.** Le vigna en Algérie une culture Ancestrale. 2^{ème} conférence méditerranéenne de Rhizobiologie, 23.-25 Mai, Oran, 2p.
- Ghalmi N., Hanifi-Mekliche L., Baudoin J. P., Ounane S. M., Benmohamed A., 2005.** Caractérisation agro-morphologique de quelques populations locales de niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) cultivées en Algérie. In : Actes du séminaire international sur l'amélioration des productions végétales- 5-7 Décembre, INA, Alger, pp.190-192.
- Ghalmi N., Malice M., Jacquemin J. M., Ounane S. M., Mekliche L., Baudoin J. P., 2010.** Morphological and molecular diversity within Algerian cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) landraces. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57 (3), 371-386.
- Ghanem F., Outhmane H., 1999.** Contribution à la caractérisation phénologique, biométrique et morphologique. Mémoire d'ingénieur, U.M.M.T.O., 90 p.
- Ghavidel R. A., Prakash J., 2007.** The impact of germination and dehulling on nutrients, antinutrients, in vitro iron and calcium bioavailability and in vitro starch and protein digestibility of some legume seeds. *LWT - Food Science and Technology*, 40, 1292–1299.
- Giami S. Y., 1993.** Effect of processing on the proximate composition and functional properties of cowpea (*Vigna unguiculata*) flour. *Food Chemistry*, 47, 153-158.
- Giami S. Y., 2005.** Compositional and nutritional properties of selected newly developed lines of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Journal of Food Composition and Analysis*, 18, 665–673.
- Gillooly M., Bothwell T. H., Torrance J. D., MacPhail A. P., Derman D. P., Bezwoda W. R., Mills W., Charlton R. W., 1983.** The effects of organic acids, phytates and polyphenols on the absorption of iron from vegetables. *British Journal of Nutrition*, 49, 331-342.
- Giovannucci E., Stampfer M. J., Colditz G. A., Hunter D. J., Fuchs C., Rosner B. A., 1998.** Multivitamin use, folate, and colon cancer in women in the Nurses' Health Study. *Annals of Internal Medicine*, 129, 517–524.
- Giovannucci E., Willett W. C., 1994.** Dietary factors and risk of colon cancer. *Annals of Medicine*, 26, 443–452.
- Glade M. J., 1999.** Food, nutrition, and the prevention of cancer: a global perspective. *Nutrition*; 15(6):523-526.

- Gomes V. M., Okorokov L. A., Rose T. L., Fernandes K. V. S., Xavier-Filho J., 1998a.** Legume vicilins (7S storage globulins) inhibit yeast growth and glucose stimulated acidification of the medium by yeast cells. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1379, 207-216.
- Gomes V. M., Cunha M. D., Miguens F. C., Fernandes K. V. S., Rose T. L., Xavier-Filho J., 1998b.** Ultrastructure and immuno-labeling of fungi cells treated with *Vigna unguiculata* vicilins (7S storage proteins). *Plant science*, 138, 81-89.
- Gomes V. M., Mosqueda M. I., Blanco-Labra A., Sales M. P., Fernandes K. V. S., Cordeiro R. A., Xavier-Filho J., 1997.** Vicilin storage proteins from *Vigna unguiculata* (legume) seeds inhibit fungal growth. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 45, 4110-4115.
- Granito M., Frias J., Doblado R., Guerra M., Champ M., Vidal-Valverde C., 2002.** Nutritional improvement of beans (*Phaseolus vulgaris*) by natural fermentation. *European Food Research and Technology*, 214, 226-231.
- Grant G., Alonso R., Edwards J. E., Murray S., 2000.** Dietary soya beans and kidney beans stimulate secretion of cholecystokinin and pancreatic digestive enzymes in 400-day-old Hooded-Lister rats but only soya beans induce growth of the pancreas. *Pancreas*, 20, 305–312.
- Gupta R., Dhillon S., 1993.** Characterization of seed storage proteins of Lentil (*Lens culinaris*). *Annals of Biology*, 9, 71–78
- Guesnet P., 1998.** Besoins et apports alimentaires en acides gras essentiels. *Nutrition et sécurité alimentaire*, INRA, Jouy-en-Josas. http://www.inra.fr/internet/Directions/DIC/ACTUALITES/DOSSIERS/DOC/secualim/fijouypdf/Besoins_apports_alim_GUESNE.pdf consulté le 05-05-2011
- Hallberg L., Rossander L., Skanberg A. B., 1987.** Phytates and the inhibitory effect of bran on iron absorption in man. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 45, 988-996.
- Hathcock J. N., 1991.** Residue trypsin inhibitor: data needs for risk assessment. In : *nutritional and toxicological Consequences of Food Processing*, p. 273-279.
- Haytowitz D. B., Matthews R. H., 1983.** Effect of cooking on nutrient retention of legumes. *Cereal Foods World*, 28(6), 382–384.
- Hebbern C.A., Laursen K.H., Ladegaard A.H., Schmidt S.B., Pedas P., Bruhn D., Schjoerring J.K., Wulfsohn D., Husted S., 2009.** Latent manganese deficiency increases transpiration in barley (*Hordeum vulgare*). *Physiologia Plantarum*, 135,307-316.
- Herken E. N., Ibanoglu S., Oner M. D., Bilgicli N., Guzel S., 2007.** Effect of storage on the phytic acid content, total antioxidant capacity and organoleptic properties of macaroni enriched with cowpea flour. *Journal of Food Engineering*, 78,366–372.
- Hoover R., Hughes T., Chung H. J., Liu Q., 2010.** Composition, molecular structure, properties, and modification of pulse starches: A review. *Food Research International* 43, 399–413
- Huang J., Schols H. A., van Soest J. J. G., Jin Z., Sulmann E., Voragen A. G. J., 2007.** Physicochemical properties and amylopectin chain profiles of cowpea, chickpea and yellow pea starches. *Food Chemistry*, 101, 1338–1345

- Hutton, C. W.; Campbell, A. M., 1981.** Water and fat absorption. In Protein Functionality in Foods, Ed. :Cherry, J. P., American Chemical Society, Washington, pp 177-200.
- Ibrahim S. S., Habiba R. A., Shatta A. A., Embaby H. E., 2002.** Effect of soaking, germination, cooking and fermentation on antinutritional factors in cowpeas. *Nahrung/ Food*, 46, 92–95.
- Iqbal A., Khalil I. A., Ateeq N., Khan M.S., 2006.** Nutritional quality of important food legumes. *Food Chemistry*, 97, 331–335
- Jachmanian I., Perifanova-Nemska M., Grompone M. A., Mukherjee K. D., 1995.** Germinating rapeseed as biocatalyst: hydrolysis of exogenous and endogenous triacylglycerols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 2992–2996.
- Jezierny D., Mosenthin R., Eklund M., Rademacher M., 2007.** Determination of standardized digestibilities of crude protein and amino acids in legume seeds for growing pigs. In: Proceedings of the 16th International Science Symposium on Nutrition of Domestic Animals, Radenci, pp. 198–203.
- Kabagambe E.K., Baylin A., Ruiz-Narvarez E., Siles X., Campos H., 2005.** Decreased consumption of dried mature beans is positively associated with urbanization and nonfatal acute myocardial infarction. *Journal of Nutrition*, 135, 7, 1770-1775.
- Kashub S., Tumwesigye, Natabirwa H., 2005.** Effects of processing methods on the nutritional value of bean flour and acceptability of the cassava/bean-based composite meals. *African Crop Science Conference Proceedings*, 7, 647-650.
- Kadam S. S., Salunkhe D. K., 1989.** Minerals and vitamins. In : Handbook of world food legumes , Ed.: Salunkhe, p. 117–121.
- Kaptso K. G., Njintang Y.N., Komnek A.E., Hounhouigan J., Scher J., Mbofung C.M.F., 2008.** Physical properties and rehydration kinetics of two varieties of cowpea (*Vigna unguiculata*) and bambara groundnuts (*Voandzeia subterranea*) seeds. *Journal of Food Engineering*, 86, 91–99.
- Khalil M.M., 2001.** Effect of soaking, germination, autoclaving and cooking on chemical and biological value of guar compared with faba bean. *Nahrung*,45(4), 246-250 .
- Khan R. I., Gatehouse J. A., Boulter D., 1980.** The seed proteins of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Journal of Experimental Botany*, 31, 1599–1611.
- Khattab R. Y., Arntfield S. D., 2009.** Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments: 2. Antinutritional factors. *LWT - Food Science and Technology*, 42, 1113–1118.
- Khattab R. Y., Arntfield S. D., Nyachoti C. M., 2009.** Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments, Part 1: Protein quality evaluation. *LWT - Food Science and Technology*, 42, 1107–1112
- Khokhar S., Chauhan B. M., 1986.** Antinutritional factors in mothbean (*Vigna aconitifolia*): varietal difference and effect of methods of domestic processing and cooking. *Journal of Food Science*, 51,3, 591–594.
- Kumaraguru Vasagam K. P., Balasubramanian T., Venkatesan R., 2007.** Apparent digestibility of differently processed grain legumes, cow pea and mung bean in black

- tiger shrimp, *Penaeus monodon* Fabricius and associated histological anomalies in hepatopancreas and midgut. *Animal Feed Science and Technology*, 132, 250–266.
- Kushi L. H., Meyer K. A., Jacobs D. R., 1999.** Cereals, legumes, and chronic disease risk reduction: evidence from epidemiologic studies. *American Journal of Clinical Nutrition*, 70, 451-485.
- Laghetti G., Padulosi S., Hammer K., Cifarelli S. Perrino P., 1989.** Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Germplasm collection in southern Italy and preliminary evaluation. In: *Genetic Resources*. Ed, N. Q. Ng and L. M. Monti. 200p.
- Lajolo F.M., Genovese M.I., 2002.** Nutritional significance of lectins and enzyme inhibitors from legumes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50, 6592–6598.
- Lara-Flores M., Granados-Puerto S.G., Olivera-Castillo L., Pereira-Pacheco F. E., R#o-Rodr#iguez R.E., Olvera-Novoa M. A., 2007.** Nutritional evaluation of treated X'pelon seed (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in the feeding of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animal Feed Science and Technology*, 138, 178–188.
- Laurena A. C. , Rodriguez F. M. , Sabino N. G. , Zamora A. F. , Mendoza E. M. T. , 1991.** Amino acid composition, relative nutritive value and in vitro protein digestibility of several Philippine indigenous legumes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 41, 59–68.
- Liener L. E., 1974.** Phytohaemagglutinins: Their nutritional significance. *Journal of Agriculture and food chemistry*, 22, 17-22.
- Lestienne I, Icard-Verniere C., Claire Mouquet C., Picq C., Treche S., 2005.** Effects of soaking whole cereal and legume seeds on iron, zinc and phytate contents. *Food Chemistry*, 89, 421–425.
- Lopes F.C.C., Gomes R. F. L., Filho F. R. F. F., 2003.** Genetics control of cowpea sizes. *Scientia Agrícola*, 60 ,2, 315-318.
- Lopez A., 1987.** Canning of vegetables. In : *A complete course in canning Book III* (12th ed.). Baltimore, Maryland, USA: The Canning Trade Inc.
- Luo Y., Xie W., Xie C., Li Y., Gu Z., 2009.** Impact of soaking and phytase treatments on phytic acid, calcium, iron and zinc in faba bean fractions. *International Journal of Food and Technology*, 44 (12) 2590-2597.
- Lyayi E. A., Kluth H., Rodehutsord M., 2008.** Effect of heat treatment on antinutrients and precaecal crude protein digestibility in broilers of four tropical crop seeds. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 610-616.
- Mansouri M., 1983.** Effet des traitements thermiques sur les facteurs antinutritionnels et la valeur alimentaire de trois légumineuses (*Phaseolus vulgaris*, *Cicer Arietinum*, *Lens esculenta*). Thèse Magister. INA, Alger, 102 p.
- Marconi E., Ng N.Q., Carnovale E., 1993.** Protease inhibitors and lectins in cowpea. *Food Chemistry* 47, 37–40.
- Marconi E., Lombardi-Boccia G., Carnovale E., Ng N. Q., 1989.** Nutritional Evaluation of Wild and Cultivated Species of Cowpea. In: *Genetic Resources*. Ed, N. Q. Ng and L. M. Monti. 200p.
- Maréchal R., Mascherpa J. M., Stainer F., 1978.** Étude taxonomique d'un groupe complexe d'espèces des genres *Phaseolus* et *Vigna* (Papilionaceae) sur la base de

- données morphologiques et polliniques, traitées par l'analyse informatique. *Boissiera* 28, 1–273.
- Marlett J. A., McBurney M. I., Slavin J. L., 2002.** Position of the American Dietetic Association: health implications of dietary fibre. *Journal of the American Dietetic Association*, 102 (7): 993-1000.
- Martín-Cabrejas M., Díaz M. F., Aguilera Y., Benítez V., Molla E., Esteban R. M., 2008.** Influence of germination on the soluble carbohydrates and dietary fibre fractions in non-conventional legumes. *Food Chemistry* 107, 1045–1052.
- Mason A. C., Weaver C. M., Kimmel S., Brown R. K., 1993.** Effect of soybean phytate content on calcium bioavailability in mature and immature rats. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 41, 246–249.
- Mbithi-Mwikya S., Van Camp J., Rodríguez R., Huyghebaert A., 2001.** Effects of sprouting on nutrient and antinutrient composition of kidney beans. *European Food Research and Technology*, 212, 188–191.
- Mbithi-Mwikya S., Van Camp J., Yiru Y., Huyghebaert A., 2000.** Nutrient and antinutrient changes in finger millet (*Eleusine coracana*) during sprouting. *Food Science and Technology*, 33, 9–14.
- Mbofung C. M. F., Rigby N., Waldron K., 1999.** Use of two varieties and hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris*) in the processing of koki (a steamed legume product). *Plant Foods for Human Nutrition*, 54, 131–150.
- McWatters K. H., Enwere N. J., Fletcher S. M., 1992.** Consumer response to akara (fried cowpea paste) served plain or with various sauces. *Food Technology*, 46, 111–114.
- Messina M. J., 1999.** Legumes and soybeans: overview of their nutritional profiles and health effects. *American Journal of Clinical Nutrition*, 70, 439-450.
- Meynier M., 2003.** Alimentation. <http://www.clubalpinorthez.fr/IMG/pdf/Alimentation.pdf> consulté le 20 juillet 2010.
- Michael G. J., Varriano-Marston E., 1981.** Hard-to-cook phenomenon in beans: effects of accelerated storage on water absorption and cooking time. *Journal of Food Science*, 46, 799-803.
- Michels K. B., Giovannucci E., Chan A. T., Singhania R., Fuchs C. S., Willett W. C., 2006.** Fruit and vegetable consumption and colorectal adenomas in the Nurses' Health Study. *Cancer Research*, 66, 3942-3953.
- Miller P.R., Graves W. L., Williams W.A., Madson B.A., 1989.** Covercrops for California Agriculture. University of California Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, 24 pp.
- Mota A. C., Fernandes K. V. S., Sales M. P., Flores V. M. Q., Xavier-Filho J., 2002.** Cowpea vicilins : Fractionation of urea denatured subunits and effects on *Callosobruchus maculatus* F. (Coleoptera: Bruchidae) development. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 45, 1-5.
- Mubarak A.E., 2005.** Nutritional composition and antinutritional factors of mung bean seeds (*Phaseolus aureus*) as affected by some home traditional processes. *Food Chemistry* 89, 489–495.

- Nabi F., 2009.** Effet de la salinité sur la germination, la croissance et les composantes du rendement du *Vigna unguiculata* L.(Walp.) Thèse de Magister. ENSA, E Harrach, 105p.
- Nestel P., Cehun M., Chronopoulos A., 2004.** Effects of long-term consumption and single meals of chickpeas on plasma glucose, insulin, and triacylglycerol concentrations. *American Journal of Clinical Nutrition*, 79 ,3, 390-395.
- NF V18-117, 1997.** [AFNOR](#), Aliments des animaux – Détermination de la teneur en matière grasse.
- NF V03-040, 1993.** AFNOR, Produits agricoles et alimentaire- Détermination de la cellulose brute – Méthode générale.
- Ngarmsak T.,1989.** Development of cowpea products for utilization in the villages of north eastern Thailand. In Paper presented at consultants' meeting on uses of grain legumes, ICRISAT, Patancheru, Andhra Pradesh, India.
- Nnanna I. A., Phillips R. D., Mc Watters K. H., Hung Y. C., 1990.** Effect of germination on the physical, chemical and sensory characteristics of cowpea products: flour, paste, and akara. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38, 812–816.
- Norme 1999-79 CE, 1999.** __Directive européenne 1999/79/CE portant sur la fixation de méthodes d'analyse communautaires pour le contrôle officiel des aliments des animaux. *Journal officiel* n° L 209 du 07/08/1999, pp. 23 – 27.
- Norme ISO 2171, 1980.** Organisation internationale de normalisation, Cereals, pulses and derived products - Determination of ash.
- Nti C.A., Plahar W.A., 1995.** Chemical and biological characteristics of a West African weaning food supplemented with cowpea (*Vigna unguiculata*). *Plant Foods for Human Nutrition* 48, 45–54.
- Nyabyenda P., 1987.** La production des légumineuses alimentaires au Rwanda. In: Les légumineuses alimentaires en Afrique. Colloque organisé par l'Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger, 79-86, Eds. AUPELF.
- Ogounmodedo B. K., Oyenuga V. A., 1968.** Estimation of vitamins A, D and value of varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) grown in Nigeria. *Nigerian Agricultural Journal*, 5 (2), 65-67.
- Olapade A. A., Okafor G. I., Ozumba A. U., Olatunji O., 2002.** Characterization of common Nigerian cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) varieties. *Journal of Food Engineering*, 55, 101–105.
- Onwuliri V.A., Obu J.A., 2002.** Lipids and other constituents of *Vigna unguiculata* and *Phaseolus vulgaris* grown in northern Nigeria. *Food Chemistry* 78, 1–7.
- Oomah B. D., Blanchard C., Balasubramanian P., 2008.** Phytic acid, phytase, minerals, and antioxidant activity in Canadian dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 11312–11319.
- Oyenuga V. A., 1968.** Nigeria's food and feeding stuffs: the chemistry of food value. University of Ibadan Press. p 79-83
- Panlasigui L. N., Panlilio L. M. , Madrid J. C., 1995.** Glycemic response in normal subjects to five different legumes commonly used in the Philippines. *International Journal of Food Sciences & Nutrition*, 46, 2, 155-160.

- Pasquet R.S., 1993a.** Classification intra spécifique des formes spontanées de *Vigna unguiculata* (L.)Walp. à partir de données morphologiques. Bulletin du Jardin Botanique National de Belgique, 62, 127-173.
- Pasquet R.S., 1993b.** Variation at isozyme loci in wild *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Fabaceae, Phaseoleae). Plant Systematics and Evolution, 186, 157-173.
- Pasquet R.S., 1997.** A new subspecies of *Vigna unguiculata* (Leguminosae - Papilionoideae). Kew Bulletin, 52, 4, 838-839.
- Pasquet R.S., 1998.** Morphological study of cultivated cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Importance of ovule number and definition of cv.gr. Melanophthalmus. Agronomie, 18, 61-70.
- Pasquet R. S., Baudoin J. P., 1997.** Le niébé, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: L'amélioration des plantes tropicales, Cirad-Orstom, Montpellier, France, p.483-505.
- Pasquet R. S., Echikh N., Gepts P., Baudoin J. P., 1997.** La domestication du niébé, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In : Gestion des ressources génétiques des plantes en Afrique des savanes, 24–28 février, Bamako (Mali). p. 261–270.
- Pearson D., 1976.** The chemical analysis of foods. London, UK: Churchill Livingstone, pp. 7-11.
- Phillips R. D., 1993.** Starchy legumes in human nutrition, health and culture. Plant Food for Human Nutrition, 44, 195–211.
- Piergiovanni A. R., Della Gatta C., 1994.** #-Amylase inhibitors in cowpea (*Vigna unguiculata*): Effects of soaking and cooking methods. Food chemistry, 51, 1, 79-81.
- Piergiovanni A. R., Della Gatta C., Singh B. B., Singh S. R., Ng N. Q., Perrino P., 1989.** Biochemical seed Analysis in Relation to Bruchid Resistance . Genetic Resources . Ed, N. Q. Ng and L. M. Monti. 200p.
- Plahar W. A., Annan N. T., Nti C.A., 1997.** Cultivar and processing effects on the pasting characteristics, tannin content and protein quality and digestibility of cowpea (*Vigna unguiculata*). Plant Foods for Human Nutrition 51, 343–356.
- Platt B.S., 1962.** Tables of representative values of food commonly used in tropical countries. Medical Research Council Special Report Series 20. M.R.C. London.
- Plaza L., De Ancos B., Cano P., 2003.** Nutritional and health-related compounds in sprouts and seeds of soy bean (*Glycine max*), wheat (*Triticum aestivum* L.) and alfalfa (*Medicago sativa*) treated by a new drying method. European Food Research and Technology, 216, 138–144.
- Podesta F. E., Plaxton W. C., 1994.** Regulation of cytosolic carbon metabolism in germinating *Ricinus communis* cotyledons I. Developmental profiles for the activity, concentration, and molecular structure of the pyrophosphate- and ATP-dependent phosphofructokinases, phosphoenolpyruvate carboxylase and pyruvate kinase. Planta, 194, 374–380.
- Price K. R., Lewis J., Wyatt G. M., Fenwick R. G., 1988.** Flatulence- causes, relation to diet and remedies. Nahrung, 32, 609-626.
- Prinyawiwatkul W., McWatters K. H, Beuchat L. R., Phillips R. D., 1996.** Changes in fatty acid, simple sugar, and oligosaccharide content of cowpea (*Vigna unguiculata*)

flour as a result of soaking, boiling, and fermentation with *Rhizopus microsporus* var. *oligosporus*. *Food Chemistry*, 57, 3, 405-413

- Prinyawiwatkul W., McWatters K. H., Beuchat L. R., Phillips R. D., 1997.** Functional characteristics of cowpea (*Vigna unguiculata*) flour and starch as affected by soaking, boiling and fungal fermentation before milling. *Food Chemistry*, 58, 361–372.
- PROTA, 2004.** Resources Végétales de l’Afrique Tropicale2: Légumes. Fondation PROTA/Backhuys Publishers/CTA, Wageningen, Pays bas, 2004, pp 618-625.
- Rachie K. O., Roberts L. M., 1974.** Grain legumes of the lowland tropics. *Advances in Agronomy*, 26, 1–132.
- Raemakers R.M., 2001.** L’agriculture en Afrique tropicale. Ed. DGCI, Bruxelles, Belgique, pp 368-383.
- Rehman Z. U., 2007.** Domestic processing effects on available carbohydrate content and starch digestibility of black grams (*Vigna mungo*) and chickpeas (*Cicer arietium*). *Food Chemistry*, 100, 764–767.
- Rehman Z. U., Shah W. H., 2001.** Tannin contents and protein digestibility of black grams (*Vigna mungo*) after soaking and cooking. *Plant foods for human Nutrition*, 56, 265-273.
- Rehman Z.-U., Rashid M., Shah W.H., 2004.** Insoluble dietary fibre components of food legumes as affected by soaking and cooking processes. *Food Chemistry*, 85, 245-249.
- Reynoso-Camacho R., Gonzalez de Mejia E., Loarca-Pina G., 2003.** Purification and acute toxicity of a lectin extracted from tepary bean (*Phaseolus acutifolius*). *Food and Chemical Toxicology*, 41, 21–27.
- Rivas-Vega M.E., Goytortua-B ores E., Ezquerra-Brauer J.M., Salazar-Garc# M.G., Cruz-Suarez L.E., Nolasco H., Civera-Cerecedo R., 2006.** Nutritional value of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) meals as ingredients in diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei* Boone). *Food Chemistry*, 97, 41–49
- Saharan, K., Khetarpaul, N., 1994.** Protein quality traits of vegetable and field peas: Varietal differences. *Plant Foods for Human Nutrition*, 45, 11–22.
- Sales M.P., Gomes V.M., Fernandes K.V.S., Xavier-Filho J., 1996 .** Chitin-binding proteins from cowpea (*Vigna unguiculata*) seeds. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 29, 319-326.
- Salunkhe D. K., Kadam S. S., 1989.** Production, distribution and consumption. In: *CRC Hand Book of World Food Legumes: Nutritional Chemistry, Processing Technology, and Utilisation*, Vol. I, 1-21.
- Sandhya Rani M. R., Bhattacharaya K. R., 1989.** Rheology of rice-flour pastes: Effect of variety, concentration, and temperature and time of cooking. *Journal of Texture Studies*, 20, 127#137.
- Sathe S. K ., Deshpande S. S., Salunkhe D. K., 1982.** Functional properties of winged bean proteins. *Journal of Food Science*, 47, 503-509.
- Sattar A., Durrani S.K., Mahmood F., Admad A., Khan I., 1989.** Effect of soaking and germination temperatures on selected nutrients and antinutrients of mungbean. *Food Chemistry*, 42, 111-120.

- Savelkoul F. H. M. G., Van der Poel A. F. B., Tamminga S., 1992.** The presence and inactivation of trypsin inhibitors, tannins, lectins and amylase inhibitors in legume seeds during germination. A review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 42, 71–85.
- Sefa-Dedeh S., Stanley D., 1979.** Cowpea proteins. 2. Characterization of water extractable proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 27, 1244–1247.
- Sellamna K., 2005.** Caractérisation agro morphologique de quelques populations locales du *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Mémoire d'ingénieur, INA, EL Harrach, Alger, 61p.
- Shils M. E., Olson J. A., Shike M., Ross A. C., 1999.** Modern nutrition in health and disease. Baltimore, MD: Williams & Wilkins.
- Shi melis E. A., Rakshit S. K., 2008.** Influence of natural and controlled fermentation on #galactosides , antinutrients and protein digestibility of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *International Journal of food Science and Technology*, 43, 658-665.
- Siddiq M., Ravi R., Harte J. B., Dolan K. D., 2010.** Physical and functional characteristics of selected dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. *LWT - Food Science and Technology*, 43, 232–237.
- Silva, L. P., Leite J. R. S. A. , Bloch C., Freitas S. M., 2001.** Stability of a black eyed pea trypsin/chymotrypsin inhibitor (BTCI). *Protein and Peptide Letters*, 8,33–38.
- Singh S. , Kundu S.S., Negi A.S., Singh P.N., 2006.** Cowpea (*Vigna unguiculata*) legume grains as protein source in the ration of growing sheep. *Small Ruminant Research*, 64, 247–254.
- Singh U., Jambunathan R., 1982.** Distribution of seed protein fractions and amino acids in different anatomical parts of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and pigeonpea (*Cajanus cajan* L.). *Plant Food for Human Nutrition*, 31, 347–354.
- Stanton W.R., Doughty J., 1970.** Légumineuses à grains en Afrique. Rome: FAO, pp 128-141.
- Taibi N., 2004.** Contribution à l'étude de la multiplication végétative *in vitro* de deux Cultivars de haricot dolique (*vigna unguiculata*) (L.) Walp. dans la région de Tizi-Ouzou. Mémoire d'ingénieur, U.M.M.T.O., 99p.
- Tarawali S.A. , Singh B.B., Peters M., Blade S. F., 1997.** Cowpea haulms as fodder In : *Advances in cowpea research*. Edited by B.B. Sigh, D.R. Mohan Raj, K.E. Dashiell and L.E.N. Jackai. IITA and JIRCAS 1997. pp 313-325
- Touami N., 2004.** Caractérisation agro morphologique de quelques populations de *Vigna unguiculata* L. provenant de la région d'El Kala. Mémoire d'Ingénieur, INA, El Harrach, Alger,70p.
- Trowell H., Burkitt D., Heaton K., 1985.** Fibre depleted foods and disease. Academic Press.
- Udensi E. A., Ekwu F. C., Isinguzo, J. N. 2007.** Antinutrient factors of vegetable cowpea (*Sesquipedalis*) seeds during thermal processing. *Pakistan Journal of Nutrition*, 6, 194–197.
- Uwaegbute A. C., Iroegbu C. U., Eke, O., 2000.** Chemical and sensory evaluation of germinated cowpeas (*Vigna unguiculata*) and their products. *Food Chemistry*, 68, 141–146.

- Uzogara S.G., Morton I.D., Daniel J.W., 1992.** Processing, microstructural and nutritional changes in cowpeas (*Vigna unguiculata*) cooked in kanwa alkaline salt. *In: Traditional African foods quality and nutrition. Proceedings of a regional workshop Dar Es Salaam, Tanzania.* Ed.: International foundation for science (IFS).
- Vasconcelos I. M., Maia F. M. M., Farias D. F., Campello C.C., Carvalho A. F. U., Moreira R. A., Olive ira J. T. A., 2010.** Protein fractions, amino acid composition and antinutritional constituents of high-yielding cowpea cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23 (1), 54–60
- Venn B. J., Mann J. I., 2004.** Cereal grains, legumes and diabetes. *European Journal of Clinical Nutrition*, 58(11)1443-1461.
- Verdcourt B., 1970.** Studies in the Leguminosae – Papilionoideae for “flora of Tropical East Africa”. IV. *Kew Bulletin*, 24, 3, 507-569.
- Vucenik I. , Shamsuddin A. M. , 2006.** Protection against cancer by dietary IP6 and inositol. *Nutrition and Cancer*, 55, 109–125.
- Wang N., Hatcher D. W., Gawalko E. J., 2008.** Effect of variety and processing on nutrients and certain anti-nutrients in field peas (*Pisum sativum*). *Food Chemistry*, 111, 132–138
- Wang N., Lewis M. J., Brennan J. G., Westby A., 1997.** Effect of processing methods on nutrients and anti-nutritional factors in cowpea. *Food Chemistry*, 58, 59-68.
- Wang N., Hatcher D. W., Toews R., Gawalko E. J., 2009.** Influence of cooking and dehulling on nutritional composition of several varieties of lentils (*Lens culinaris*). *LWT - Food Science and Technology* 42, 842–848
- Wang N., Hatcher D. W., Tyler R. T., Toews R., Gawalko E. J., 2010.** Effect of cooking on the composition of beans (*phaseolus vulgaris* L.) and chickpeas (*Cicer arietinum* L). *Food Research International* 43, 589-594
- Wanjekeche E., Wakasai V., Mureithi J.G., 2003.** Effect of germination, alkaline and acid soaking and boiling on the nutritional value of mature and immature mucuna (*Mucuna pruriens*) beans. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1, 183-192.
- Weaver C. M., Kannan S., 2002.** Phytate and mineral bioavailability. *Food phytates*, 211–224.
- Welch R. M., Graham R. D., 2004.** Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. *Journal of Experimental Botany*, 55, 353–364.
- Xavier-Filho J., Ventura M. M., 1988.** Trypsin inhibitors in Cowpea: a review. *Comments on Agricultural and Food Chemistry*, 1, 239–314.
- Yeh, C. T., Yen, G. C., 2003.** Effects of phenolic acids on human phenolsulfotransferases in relation to their antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 1474–1479.
- Youssef M. M., Hamza M. A., Abdel-Aal M. H., Shekib L. A., El-Banna A. A., 1986.** Amino acid composition and in vitro digestibility of some Egyptian foods made from faba bean (*Vicia faba* L.). *Food Chemistry*, 22, 225–233.
- Yu-Hui T., 1991.** Effect of the hard-to-cook defect and processing on protein and starch digestibility of Cowpeas. *Cereal Chemistry*, 68, 4, 413–418.

- Yunes A. N. A., Andrade M.T., Sales M.P., Morais R. A., Fernandes K.V. S., Gomes V.M., Xavier-Filho J., 1998.** Legume seed vicilins (7S storage proteins) interfere with the development of the cowpea weevil (*Callosobruchus maculatus* (F)). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76, 111-116.
- Zhou J. R., Erdman J. W. J., 1995.** Phytic acid in health and disease. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35, 495–508.
- Ziegler P., 1995.** Carbohydrate degradation during germination. *Seed development and germination*, Ed.: Kigel and Galili, p. 447- 474.

ANNEXES

Annexe 1 Analyse de variance : Effets de population sur les caractéristique physiques et la composition chimique des graines de niébé locales

Caractère étudié	SCE	DDL	CM	F	Probabilité
Longueur des graines	250,479	5	50,0959	93,01	0,0000
Epaisseur des graines	71,5786	5	14,3157	80,80	0,0000
Largeur des graines	60,2309	5	12,0462	60,13	0,0000
Poids de 100 graines	5,585x 10 ⁸	5	1,11708 x 10 ⁸	111,57	0,0000
Cendre	0,472916	5	0,09458	5,709331	0,0279
P	117441,2	5	23488,24	26,71	0,0005
Ca	3177,59	5	635,518	1,49	0,3187
K	23947,7	5	4789,53	1,25	0,3901
Mg	589,7970	5	117,9594	1,523790	0,309307
Na	40,3142	5	8,06283	0,60	0,7016
Mn	0,18988706	5	0,03797741	2,09637533	0,19692
Humidité	6,22063	5	1,24413	16,95	0,0009
Cellulose	39,02734	5	7,805468	11,99749	0,004438
Sucres Solubles	10,3498	5	2,06996	15,69	0,0022
Amidon	57,10018	5	11,42004	14,18271	0,002846
Proteines	63,4486	5	12,6897	53,51	0,0001
Lipides	0,095619	5	0,019124	0,866180	0,553074
Ac phytique	306787,5	5	61357,5	13,17413	0,003466
Ac palmitique	20,750	5	4,1501	3,640	0,07353
Ac palmitoleique	0,30786	5	0,0615	2,598	0,13828
Ac stéarique	6,9994	5	1,399	1,51154	0,3124
Ac oleique	13,868	5	2,7736	3,98705	0,0611
Ac linoleique	2,3246	5	0,4649	1,0832	0,4538
Ac linolenique	41,315	5	8,2631	4,0983	0,0577
Ac arachidique	6,0626	5	1,21253	0,8843	0,543
Ac behinique	1,2309	5	0,2461	4,26185	0,05317

Annexe 2 Analyse de variance : Effets de population sur les caractéristique physiques et la composition chimique des graines de niébé locales

Caractère étudié	SCE	DDL	CM	F	Probabilité
P	260309,3	7	37187,04	93,09	0,000000
Ca	16177,0	7	2311,01	9,21	0,0028
Na	841,091	7	120,156	5,29	0,0159
K	612629,	7	87518,4	52,95	0,0000
Mg	3111,845	7	444,5493	25,62126	0,000072
Mn	1,27626721	7	0,18232389	3,26567914	0,059583
Cendres	5,843841	7	0,834834	159,4653	0,00000
Les pertes durant les traitements	333,5712	6	55,59520	4826,242	0,00000
Sucres solubles	21,3297	7	3,04711	28,45	0,0000
Amidon	47,03379	7	6,719113	5,136618	0,017409
Cellulose	7,9978	7	1,14254286	2,06348244	0,18001
Protéines	15,26826	7	2,181179	7,122073	0,0064
Acide phytique	1,06246E6	7	151780,	94,82	0,0000
Lipides	0,356061	7	0,050866	6,235614	0,009716
Ac palmitique	23,162975	7	3,3089	1,19144	0,401943
Ac palmitoleique	0,286	7	0,0408	2,375415	0,12430
Ac stéarique	5,3379	7	0,7625	1,209897	0,39409
Ac oleique	1,18017	7	0,16859	0,392016	0,88269
Ac linoleique	12,2023	7	1,74318	2,913199	0,07860
Ac linolenique	10,5307	7	1,50438	1,6949	0,23761
Ac arachidique	0,92557	7	0,1322	0,72981	0,65448
Ac behinique	0,8653	7	0,1236	2,741130	0,0905

Annexe 3 Effet de Populations : Comparaison des moyennes avec le test LSD

1- Longueur des graines			
Population	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
VG	25	5,72	A
VE2	25	8,1	B
VC	25	9,075	C
VE1	25	9,15789	CD
VT	25	9,42105	CD
VE3	25	9,54545	D

2 – Epaisseur des graines			
Population	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
VG	25	3,592	A
VE2	25	4,3	B
VC	25	4,975	C
2VE1	25	5,07895	C
VE3	25	5,47727	D
VT	25	5,73684	D

3- Largeur des graines			
Population	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
VG	25	4,2688	A
VE2	25	5,22	B
VE1	25	5,78947	C
VE3	25	5,90009	C
VC	25	6,025	CD
VT	25	6,21053	D

4 Poids des cent graines			
Population	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
VG	3	8084,67	A
VE2	4	15365,3	B
VC	3	19684,5	C
VE1	4	21473,6	D
VE3	4	23061,9	E
VT	3	23398,4	E

5- Taux P			
Population	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
VE3	2	42,63	A
VE1	2	44,12	AB
VG	2	44,90	B
VC	2	45,62	BC
VE2	2	47,67	CD
VT	2	49,18	D

11- Taux de Cellulose			
Population	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
VE3	2	4,37	A
VC	2	5,20	AB
VT	2	5,40	AB
VE2	2	6,55	BC
VE1	2	8,44	CD
VG	2	9,38	C

Population			
Effectif	Moyenne	Groupe homogène	
VE3	2	348,35	A
VG	2	380,315	A
VE2	2	313,205	B
VT	2	321,17	B
VE1	2	362,36	BC
VC	2	631,155	C

5- Taux de l'Humidité			
Population	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
VG	2	7,775	A
VT	2	9,025	B
VE1	2	9,195	B
VE3	2	9,55	BC
VE2	2	9,555	BC
VC	3	9,93333	C

6- Taux des Cendres			
Population	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
VG	2	3,4135	A
VE3	2	3,4905	A
VC	2	3,7035	AB
VT	2	3,818	B
VE1	2	3,8985	B
VE2	2	3,9405	B

7- Taux des sucres solubles			
Population	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
VT	2	3,28	A
VG	2	4,38	B
VE1	2	4,795	B
VE2	2	4,81	B
VE3	2	5,89	C
VC	2	6,035	C

9- Taux d'amidon			
Population	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
VE3	2	42,63	A
VE1	2	44,12	AB
VG	2	44,90	B
VC	2	45,62	BC
VE2	2	47,67	CD
VT	2	49,18	D

10- Taux de Protéines			
Population	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
VC	2	23,65	A
VE1	2	24,95	B
VE3	2	25,42	B
VE2	2	27,22	C
VG	2	29,29	D
VT	2	29,98	D

Annexe 4 Effet de traitement Comparaison des moyennes avec le test LSD

1- Taux de P par traitement			
Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T+A	2	184,81	A
A	2	199,79	A
T+C	2	313,265	C
T24	2	334,245	CB
C	2	334,76	CB
T16	2	334,845	CB
T8	2	369,615	B
Te	2	631,155	A

2- Taux de Ca par traitement			
Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T+A	2	101,705	A
T+C	2	116,071	A
A	2	119,791	A
C	2	125,468	AB
T24	2	157,793	BC
T16	2	158,359	BC
T8	2	183,542	CD
Te	2	195,33	D

3- Taux de Na par traitement			
Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T+C	2	49,99	A
T+A	2	53,275	AB
A	2	53,02	AB
C	2	62,905	BC
T24	2	63,25	BC
T16	2	66,9285	C
T8	2	68,62	C
Te	2	71,16	C

4- Taux de K par traitement			
Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T+A	2	694,24	A
T+C	2	789,09	B
A	2	807,25	B
C	2	961,15	C
T24	2	1071,29	D
T16	2	1102,87	DE
T8	2	1188,06	E
Te	2	1282,81	E

9- Taux d'amidon par traitement			
Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Te	2	45,62	A
T8	2	45,65	A
C	2	46,1	AB
T16	2	47,385	ABC
T24	2	47,79	ABC
A	2	48,48	BCD
T+C	2	49,63	CD
T+A	2	50,53	D

10- Taux de protéines par traitement			
Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
Te	2	23,65	A
T16	2	24,578	AB
T8	2	24,66	ABC
T24	2	25,84	BC
T+C	2	25,93	C
C	2	25,98	C
A	2	26,415	C
T+A	2	26,64	C

5- Taux de Mg par traitement			
Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T+C	2	75,9165	A
A	2	86,376	B
T+A	2	89,8905	BC
C	2	93,3335	BCD
T24	2	97,497	CD
T8	2	101,054	DE
T16	2	107,586	E
Te	2	125,889	F

6- Taux de cendre par traitement			
Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T+A	3	2,08	A
A	3	2,28267	B
T+C	2	2,3745	B
C	3	2,69967	C
T24	2	3,1775	D
T16	2	3,199	D
T8	2	3,4555	E
Te	2	3,7035	F

7- Pertes durant traitement			
Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T8	2	2,6005	A
T16	2	3,8725	B
T24	2	3,989	B
T+C	2	4,2805	C
C	2	5,228	D
A	2	14,579	E
T+A	2	14,786	E

8- Taux de sucres solubles par traitement			
Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T+A	2	1,925	A
A	2	2,395	AB
T+C	2	2,74	B
T24	2	3,04	BC
T16	2	3,1	BC
T8	2	3,14	BC
C	2	3,54	C
Te	2	6,035	D

11- Taux d'acide phytique par traitement			
Traitement	Effectif	Moyenne	Groupe homogène
T+A	2	509,16	A
A	2	712,83	B
T16	2	835,03	C
T24	2	883,43	CD
C	2	930,44	DE
T+C	2	984,39	E
T8	2	1188,05	F
Te	2	1405,3	G