

MANAGEMENT DE LA QUALITÉ ET SÉCURITÉ DES ALIMENTS

Mémoire de fin d'études du cycle master

Caractérisation de la Qualité Nutritionnelle d'une Collection de Pois Chiche Kabuli (*Cicer arietinum* L.)

Encadré par :

Pr. BOUGHRIBIL Said

Dr. MOEZ Amri

Présentée par :

Mlle TRAORE Fatoumata Farida

Soutenu publiquement le 19 juin 2018 devant les membres du jury :

Pr. BESSI Halima

Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia

Pr. CHARAFEDDINE Omar

Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia

Pr. NASRI Issad

Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia

Pr. BOUGHRIBIL Said

Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia

Responsable de la filière : Pr. HMYENE Abdelaziz

PROGRAMME

Semestre 1

- Maîtrise de la qualité Microbiologique des aliments
- Techniques d'Analyse et Contrôle Qualité
- Biologie moléculaire et génotoxicité
- Physiologie et nutrition humaine
- Biochimie Alimentaire
- Immunologie

Semestre 2

- Outils et méthodes de gestion de la qualité
- Communication et Anglais Scientifique
- Génie enzymatique/bioénergétique
- Nutrition et Allergies alimentaires
- Technologies Alimentaires
- Toxicologie Alimentaire

Semestre 3

- Outils statistiques de la qualité des processus de production
- Management de la qualité dans les industries
- Management de l'hygiène et de la sécurité
- Approche normative de la qualité
- Droit de travail et D'entreprise
- Ecotoxicologie

Semestre 4

- Projet de Fin d'Etudes

Coordonnateur pédagogique : Pr. Hmyene Abdelaziz
Faculté des Sciences et Techniques – Mohammedia
Département de Biologie
Email : hmyeneaziz2002@yahoo.fr

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre gratitude à toutes les personnes qui nous ont consacré de leur temps et de leur énergie afin de faciliter le déroulement de notre stage, et de nous donner les informations suffisantes pour enrichir nos connaissances. Nos sincères remerciements au :

- ✚ Doyen de la Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia, **Mr LKHIDER**, Enseignant-Chercheur à la Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia pour sa gestion sage et les bonnes conditions d'études qu'il nous a procurés.
- ✚ Chef du département de biologie et Coordinateur du Master Management de la Qualité et Sécurité des Aliments à la Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia, **Mr Abdelaziz HMYENE**, Enseignant-Chercheur à la Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia pour avoir accepté mon inscription au sein de cette formation. Je vous remercie chaleureusement pour votre pédagogie, votre disponibilité et votre dévouement.
- ✚ **Toute l'équipe pédagogique** de la Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia, surtout le département de Biologie qui n'a pas cessé de nous préparer théoriquement et expérimentalement pendant notre formation.
- ✚ Mes encadrants, **Mr Said BOUGHRIBIL**, Enseignant-Chercheur à la Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia et **Mr Amri MOEZ**, Chercheur en culture des légumineuses à l'ICARDA de Rabat pour m'avoir proposé ce travail et guidé tout au long de la rédaction de ce mémoire. Cela n'a pas été facile mais votre compréhension et votre disponibilité constante m'ont beaucoup aidé. Je vous en suis sincèrement reconnaissante.
- ✚ Membres du Jury, **Mme Halima BESSI**, **Mr Omar CHARAFEDDINE** et **Mr Issad NASRI**, Enseignants-Chercheurs à la Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia qui me font le grand honneur d'examiner et évaluer ce travail. Je vous en remercie.
- ✚ **Mr EL BAOUCHI Adil**, responsable du laboratoire de Qualité des céréales et des légumineuses de l'ICARDA-Rabat pour m'avoir assisté et guidé tout au long de ce stage.
- ✚ Mes **très chers parents**, pour leur soutien inconditionnel, leur confiance et leurs conseils. Vous m'avez donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance.
- ✚ Tous **ceux qui de près ou de loin** ont contribué à la réalisation de ce travail.

RESUME

Les maladies et les complications de santé causées par la carence en éléments minéraux affligent des milliards de personnes dans le monde. Le pois chiche comme toutes les légumineuses alimentaires constitue une source importante non seulement de protéines végétales beaucoup moins chères que celles d'origine animale mais, il est aussi riche en élément minéraux de bases telles que le Zinc et le Fer. Au total 300 génotypes de pois chiche de type Kabuli ont fait l'objet d'une caractérisation. L'objectif de cette étude était d'effectuer une caractérisation de la qualité nutritionnelle d'une collection de 300 génotypes de pois chiches Kabuli (*Cicer arietinum* L.). La caractérisation technologique des graines a révélé des variations hautement significatives au sein de la collection pour la taille et la couleur des graines (ch2 et ch3). Pour ce qui des minéraux présents dans les graines de cette collection, il en ressort que le potassium est l'élément le plus abondant suivi du phosphore, du calcium et du magnésium. Les teneurs de fer étaient inférieures à ceux du zinc. Une variation génotypique hautement significative a été observée pour la teneur en fer, zinc, manganèse, nickel et de barium. De même, une variation importante a été enregistrée entre les génotypes testés pour leur teneur en protéine. En effet, 47.98% des génotypes testés ont montré une teneur en protéine supérieur à 25%. Des corrélations positives significatives ont été observées entre la teneur en protéines et la teneur en fer.

Mots clés : *Cicer arietinum* L.; qualité nutritionnelle ; teneur en protéines ; éléments minéraux.

ABSTRACT

Diseases and health complications caused by mineral deficiency afflict billions of people around the world. Chickpea, like all food legumes, is an important source not only of much cheaper vegetable proteins than animal ones, but also of basic mineral elements such as Zinc and Iron. A total of 300 Kabuli chickpea genotypes have been characterized. The objective of this study was to characterize the nutritional quality of a collection of 300 genotypes of Kabuli chickpeas (*Cicer arietinum* L.). The technological characterization of the seeds revealed highly significant variations within the collection for seed size and color (ch2 and ch3). As for the minerals present in the seeds of this collection, it appears that potassium is the most abundant element followed by phosphorus, calcium and magnesium. Iron levels were lower than those of zinc. Highly significant genotypic variation was observed for iron, zinc, manganese, nickel and barium content. Similarly, significant variation was recorded between genotypes tested for protein content. In fact, 47.98% of the genotypes tested showed a protein content greater than 25%. Significant positive correlations were found between protein content and iron content.

Key words: *Cicer arietinum* L., nutritional quality; protein content; mineral element.

LISTE DES ABREVIATIONS

α : Seuil de signification

ANOVA : Analyse Of Variance

ANSES : Agences nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

ddl : degré de liberté

FAO : Food and Agriculture Organisation

Fig. : Figure

HSD : Honestly Significant Difference

ICARDA : International Center for Agricultural Research in the Dry Areas

ICP-OES : Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy

ICRISTAT : International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics

L : Longueur

La : Largeur

Max : Maximum

Min : Mininum

P : Phosphore

Pe : Périmètre

Pr : Protéine

Tab : Tableau

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Les types de pois chiche Kabuli et Desi (myfavouritepastime.com).....	7
Figure 2 : L'évolution de la production mondiale et superficie en pois chiche cultivées dans le monde durant la période 1994-2016 (FAOSTAT, 2016).....	8
Figure 3 : Production des principaux pays producteurs de pois chiches dans le monde (2010-2014).....	9
Figure 4 : L'évolution de la production et superficie en pois chiche cultivées au Maroc durant les dix dernières années (FAOSTAT, 2016)	9
Figure 5 : Caractérisation technologique des graines des différents génotypes testés par le logiciel <i>GrainScan</i>	20
Figure 6 : La Spectrométrie à Emission Optique Couplée au Plasma (ICP-OES), ICAP-7000-SERIES, Thermo Scientific.....	21
Figure 7 : Distribution des fréquences de la couleur (ch1, ch2 et ch3) des génotypes étudiés.....	26
Figure 8 : Distribution des fréquences de l'aire, le périmètre, la longueur et de la largeur des génotypes étudiés	27
Figure 9 : Distribution des fréquences de la collection de génotypes étudiés en fonction de la teneur en différents éléments analysés (Fe, Zn, Se, P, Mn, K)	31
Figure 10 : Distribution des fréquences de la collection de génotypes étudiés en fonction de la teneur en différents éléments analysés (Ni, Cu, Ca, Ba et Mg)	32
Figure 11 : Distribution des fréquences de la teneur en protéine des génotypes étudiés.....	34

LISTES DES TABLEAUX

Tableau I : Rôles biologiques, effets de carence et sources des différents minéraux (Guide des vitamines).....	4
Tableau II : Classification taxonomique du pois chiche (USDA).....	5
Tableau III : Composition nutritionnelle du pois chiche (Ciquel 2016)	11
Tableau IV : Effets de l'inoculation de Rhizobium sur la culture du pois chiche (Harendra et al., 2014).....	12
Tableau V : Principales maladies fongiques du pois chiche dans le monde.....	13
Tableau VI : Principales maladies virales affectant le pois chiche (ICRISAT 1990 ; Nene et al., 2012 ; Schwinghamer et Larsen, 2011).....	13
Tableau VII : Principales maladies bactériennes affectant le pois chiche (Nene et al., 1996; Shroeder 2011).....	14
Tableau VIII : Méthodes d'évaluation de la qualité des graines et de la farine de pois chiche (Commission Canadienne des graines)	18
Tableau IX : La moyenne, le minimum, le maximum et le coefficient d'asymétrie de l'aire, le périmètre, la longueur, la largeur, et les couleurs (ch1, ch2 et ch3) dans la collection de pois chiches Kabuli.	25
Tableau X : Carrés moyens de l'aire, le périmètre, la longueur et la largeur des différents génotypes de pois chiche étudiés.	25
Tableau XI : Carrés moyens de la couleur des graines (ch1, ch2 et ch3) des différents génotypes de pois chiche étudiés.....	25
Tableau XII : Le minimum (mg/Kg), le maximum (mg/Kg), la moyenne (mg/Kg) et le coefficient d'asymétrie de la teneur en minéraux Fe, Zn, Se, P, Mn, K, Ni, Cu, Ca, Ba et Mg de la farine de toute la collection de génotypes testés.	29
Tableau XIII : Carrés moyens (mg/Kg) de la teneur en éléments minéraux Fe, Zn, Se, P, Mn, K, Ni, Cu, Ca, Ba et Mg de la farine de toute la collection de génotypes testés.....	30
Tableau XIV: Liste des dix génotypes qui ont montré la teneur en protéine la plus élevée ..	33
Tableau XV : Liste des dix génotypes qui ont montré la teneur en protéine la plus faible. ...	33
Tableau XVI : Corrélations entre la teneur des protéines et les teneurs en éléments minéraux	34
Tableau XVII : Corrélations entre la teneur en protéines et les caractères technologiques ...	35
Tableau XVIII : Corrélations des teneurs des minéraux entre eux.	35
Tableau XIX : Corrélations entre les caractères technologiques et les teneurs des minéraux	36

AVANT PROPOS

Etudiante en fin du cycle Master **Management de la Qualité et Sécurité des Aliments (MQSA)**, nous effectuons un stage au sein de **l'ICARDA-Rabat** afin d'approfondir les connaissances théoriques et pratiques acquises en cours et par la même occasion acquérir de l'expérience et les compétences requises pour faciliter notre insertion dans le monde du travail mais également poursuivre des études doctorales. Ce stage s'inscrit dans le cadre du projet de fin d'étude.

Le Centre International pour la Recherche Agricole dans les Régions Arides, en anglais International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) est une organisation mondiale à but non lucratif, créée en 1977.

L'ICARDA a pour mission de fournir des solutions scientifiques innovantes pour améliorer les moyens de subsistance des couches pauvres en ressources dans les régions arides. D'où son slogan « *La science pour des moyens de subsistance résilients dans les régions arides* ».



L'ICARDA a pour objectifs de mettre fin à la pauvreté et d'améliorer la sécurité alimentaire et hydrique à travers la gestion durable des ressources naturelles face au changement climatique.

Le Siège Social de l'ICARDA auparavant situé en Syrie a été déplacé en 2012 à Beyrouth, au Liban en raison des remous (crise socio –politique) dans ce pays d'accueil.

L'ICARDA a un mandat mondial pour le développement des cultures d'orge, de lentilles et de fèves et assiste les zones sèches non tropicales pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans l'agriculture, les pâturages et la production de petits ruminants. Dans la région du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord et en Asie centrale, l'ICARDA contribue à l'amélioration du pain et du blé dur, **du pois chiche Kabuli**, des légumineuses de pâturages et fourragères et des systèmes d'exploitation associés. Il travaille également sur des sujets liés à la gestion des terres, la diversification des systèmes de production et les chaînes de valeur pour les produits végétaux et animaux issus du secteur.

Notons également que l'ICARDA dispose d'une banque de gènes qui contient plus de 151 000 accessions provenant de plus de 110 pays: Si un pays se retrouve dans une forme de « déficit » agricole, le Centre sera en mesure de lui fournir des graines afin de restaurer et réhabiliter son agriculture.

Au Maroc, l'ICARDA possède ses propres locaux au sein de l'INRA-Rabat, de même que des serres. Elle dispose également d'une station expérimentale à Marchouch. Au sein de l'ICARDA-Rabat, on distingue une banque de gènes, une chambre hydroponique et plusieurs laboratoires dont :

- **le laboratoire de Qualité des céréales et des légumineuses**
- le laboratoire de Rhizobium
- le laboratoire de Virologie
- le laboratoire de Phytopathologie
- le laboratoire de Physiologie
- le laboratoire d'Entomologie
- le laboratoire de Génétique
- le laboratoire de Santé des semences

C'est au sein du laboratoire de Qualité des Céréales et des Légumineuses que nous avons effectué notre stage. Notons que l'objectif principal du laboratoire de qualité des céréales et des légumineuses de l'ICARDA est d'aider les programmes de panification et de sélection à identifier les génotypes de bonnes caractéristiques en fonction de l'utilisation finale.

Ce projet de fin d'étude intervient dans ce contexte et tend à participer à la **caractérisation de la qualité technologique, nutritionnelle et biochimique des graines de pois chiche Kabuli.**

Table des matières

RESUME.....	I
ABSTRACT	II
LISTE DES ABREVIATIONS	III
LISTE DES FIGURES.....	IV
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	2
I. Généralité sur les légumineuses	2
1. Légumineuses alimentaires et leur importance	2
2. Importance agronomique et environnementale.....	2
3. Importance économique	3
4. Importance nutritionnelle	4
II. Pois chiche.....	5
1. Description morphologique et botanique	5
2. Origine et extension de la culture	6
3. Différent types de pois chiche.....	6
4. Ecologie et distribution	7
5. Importance à l'échelle mondiale	8
6. Production nationale	9
7. Valeur nutritionnelle	10
III. Effet des facteurs biotiques, abiotiques et les produits chimiques sur la culture et la qualité des graines du pois chiche.	12
1. Facteurs biotiques	12
2. Facteurs abiotiques.....	14
3. Effets des produits chimiques	15
IV. Paramètres utilisés dans l'évaluation de la qualité des graines	17

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	19
I. Matériel végétale	19
II. Méthodologie	19
1. Caractérisation technologique (morphologique) des graines (<i>GrainScan</i>).....	19
2. Caractérisation chimique.....	20
3. Caractérisation biochimique	22
4. Analyse statistique	23
CHAPITRE III : RESULTATS	24
I. Caractérisation technologique (<i>GrainScan</i>)	24
II. Caractérisation chimique	28
III. Caractérisation biochimique	33
IV. Etude de la corrélation entre les caractères technologiques, la teneur en éléments minéraux et des protéines	34
CHAPITRE IV : DISCUSSION.....	37
CONCLUSION.....	39
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	41
Annexe 1: Apports nutritionnels conseillés (Anses)	i
Annexe 2 : Commerce International	ii
Annexe 3 : Les étapes de la minéralisation (digestion) pour le dosage des minéraux.....	iii
Annexe 4 : Les étapes de la minéralisation (digestion) pour le dosage de l’Azote total....	iv
Annexe 5: Détermination colorimétrique de l'ammonium-N.....	v

INTRODUCTION

La sécurité alimentaire est un enjeu d'actualité dans un contexte globale de changements climatiques dont les répercussions deviennent de plus en plus perceptibles affectant les niveaux de sécurité alimentaire partout dans le monde. La population mondiale augmente rapidement à un rythme alarmant et peut franchir la barre des neuf milliards d'ici 2050 (Godfray et *al.*, 2010). Garantir la sécurité alimentaire et nutritionnelle de cette population en forte croissance est un défi à soulever, sous une grande variabilité climatique et pénurie de ressources en perpétuelle augmentation. Selon les estimations, le nombre de personnes sous-alimentées a passé de 777 millions en 2015 à 815 millions en 2016 (FAO., 2017).

Le développement des légumineuses alimentaires dans les systèmes de production et leur utilisation dans la dite population mondiale semblent être une des meilleures options qui peuvent améliorer le niveau de la sécurité alimentaire et nutritionnelle dans le monde. En effet, les légumineuses peuvent contribuer de manière significative à la sécurité alimentaire et à la santé humaine, ainsi qu'à la lutte contre la faim, la malnutrition et les défis environnementaux. Les légumineuses alimentaires constituent des aliments de qualité étant donnés leur richesse en protéines et en éléments minéraux. Le pois chiche (*Cicer arietinum* L.), occupe une place importante dans l'alimentation humaine dans beaucoup de pays tels que l'Inde, le Pakistan, l'Algérie, l'Ethiopie, l'Iran, le Mexique, le Maroc, le Myanmar, l'Espagne, la Syrie, la Tanzanie, la Tunisie, et la Turquie (Upadhyaya, 2003).

L'identification de matériel génétique qui regroupe à la fois les performances agronomiques et la bonne qualité nutritionnelle est un objectif majeur du programme d'amélioration génétique de pois chiche à l'ICARDA. C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent travail qui s'est déroulé au sein du laboratoire de Qualité des Céréales et des Légumineuses de l'ICARDA-Rabat. Une collection de lignées avancées de pois chiche type Kabuli a fait l'objet d'une caractérisation technologique (morphologique), chimique et biochimique afin de pouvoir :

- Etablir une caractérisation complète de la qualité nutritionnelle chez une collection de 300 lignées,
- Identifier de lignées contrastées potentielles, qui peuvent être utilisées dans les programmes futures d'amélioration pour la qualité chez le pois chiche.

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralité sur les légumineuses

Les légumineuses sont des plantes appartenant à la famille des *Leguminosae* également appelées *Fabaceae*. Il s'agit d'une grande famille avec plus de 18 000 espèces d'alpinistes, herbes, arbustes et arbres dont seul un nombre limité est utilisé dans l'alimentation humaine. (Maphosa et Jideani, 2017). Les légumineuses occupent la deuxième place en terme de production mondiale après les céréales avec une production mondiale estimée à 81 millions de tonnes (FAOSTAT, 2016).

1. Légumineuses alimentaires et leur importance

Les légumineuses alimentaires font partie, depuis des siècles, de nombreux régimes alimentaires partout dans le monde. Au Maroc, elles sont présentes dans la plupart des recettes (couscous, salade de lentille, ragouts d'haricots blanc...). Les pois secs, haricots secs, lentilles, pois chiches, les haricots rouges, noirs et blancs, les fèves, les pois de cajun, les haricots à œil noir et les pois cassés sont tous des légumineuses alimentaires.

Les légumineuses alimentaires présentent de nombreux bienfaits. En plus de leur importance dans les systèmes de production et leur contribution à la sécurité alimentaire des pays en voies de développement, elles contribuent à l'atténuation des effets du changement climatique. Elles ont, par ailleurs, une excellente valeur nutritive. C'est dans ce sens que Michael Hage, le représentant de la FAO au Maroc, estime que « Les légumineuses vont jouer un rôle important dans la réalisation de l'objectif 'Faim zéro' d'ici 2030 en raison de leur densité et importance nutritionnelle, l'accessibilité et l'impact positif sur le sol, ainsi que leur potentiel à l'adaptation au changement climatique en réduisant la dépendance aux engrais synthétiques qui sont utilisés pour introduire de l'azote artificiellement dans le sol.

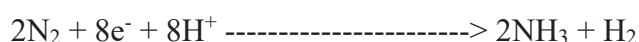
2. Importance agronomique et environnementale

La principale caractéristique des légumineuses est leur capacité à fixer l'azote de l'air. En effet elles sont capables de développer une symbiose avec des bactéries fixatrices de l'azote atmosphérique, les *Rhizobiums*. Cette propriété, originale dans le monde végétal, leur confère des avantages agronomiques qui prennent un relief particulier dans un contexte d'agriculture durable : économie d'engrais azotés, économie d'énergie fossile nécessaire pour produire, transporter et épandre ces engrais azotés. Et aussi une diminution des émissions de gaz à effet

de serre, car la fertilisation azotée est à l'origine d'émissions dans l'atmosphère de protoxyde d'azote (N₂O), un gaz ayant un pouvoir de réchauffement climatique environ 300 fois plus élevé que le gaz carbonique (Mollier, 2014).

La réaction de fixation de l'azote atmosphérique par les bactéries du genre *Rhizobium*

Nitrogénase



Une autre caractéristique des légumineuses est leur contribution à la diversification des rotations agricoles, devenues très courantes et basées sur un tout petit nombre d'espèces. Leur introduction freine le développement de mauvaises herbes, rompt les cycles de parasites et permet une moindre utilisation de pesticides.

Notons que les légumineuses peuvent également jouer un rôle important dans l'adaptation au changement climatique car elles présentent une forte diversité génétique et permettraient la sélection et/ou la culture de variétés résistantes aux aléas climatiques (FAO, 2017).

3. Importance économique

Les légumineuses sont économiquement accessibles et contribuent à la sécurité alimentaire à tous les niveaux. Pour les agriculteurs, les légumineuses représentent une culture importante car elles peuvent être à la fois vendues et consommées par les agriculteurs et leurs familles. Avoir la possibilité de manger ou de vendre les légumineuses qu'ils cultivent aide les agriculteurs à préserver la sécurité alimentaire de leur ménage et leur assure une certaine stabilité économique (FAO, 2015).

Sur le plan mondial, la production des légumineuses est en constante évolution de 71,39 millions de tonnes en 2010, elle est passée à 81,73 millions de tonnes en 2016 (FAOSTAT, 2016). Le haricot représente à lui seul près de 33 % de la production mondiale de légumineuses, suivi respectivement par le Pois Chiche (17 %) et le pois sec (16 %). Notons que l'Inde est à la fois le plus gros consommateur de légumineuses au monde (30 % de la demande mondiale) et le plus gros producteur avec 25 % du total mondial (La France Agricole, 2017)

4. Importance nutritionnelle

Les graines des légumineuses alimentaires sont petites mais riches en protéines, deux fois plus que dans le blé et trois fois plus que dans le riz. Contrairement aux sources alimentaires de protéines d'origine animale, les graines sèches des légumineuses ne contiennent pas de résidus d'hormones ou d'antibiotiques utilisés dans la production animale (FAO, 2016). Les légumineuses sont une excellente source de protéines de bonne qualité (20-45%) et sont riches en acides aminés essentiels notamment la lysine (Maphosa et Jideani, 2017). Elles sont, également, riches en glucides complexes, acide folique, fer, zinc, calcium, magnésium, potassium, vitamines B et d'autres oligo-éléments (Tab. I). Les graines de légumineuses alimentaires en particulier le pois chiche, la lentille et les fèves contiennent une faible teneur en matières grasses mais sont riches en fibres. Les éléments minéraux que contiennent les graines de légumineuses sont essentiels à la croissance et au développement harmonieux de l'organisme (annexe 1).

**Tableau I : Rôles biologiques, effets de carence et sources des différents minéraux
(Guide des vitamines)**

Minéraux	Rôles	Effets de carence	Sources
Fer (Fe)	Constituant de l'hémoglobine, de la myoglobine et d'enzymes impliqués dans la respiration et synthèse d'ADN	Anémie, Retard du développement psychomoteur, Réduction de l'intelligence	Lentille, Haricot Pois chiche
Zinc (Zn)	Antioxydant, Synthèse protéique, Maintien des défenses immunitaires.	Diminution de l'immunité (infections respiratoires)	Lentille, Soja, Haricots, Pois chiche
Magnésium (Mg)	Transmission de l'influx nerveux, Action positives sur les hormones Rôle modérateur de l'excitabilité neuromusculaire	Anxiété, hyperémotivité, dépression, Troubles digestifs, Accidents cardio-vasculaires	Farine de soja, Lentilles
Calcium (Ca)	Intervient dans l'édification et renouvellement squelettique	Rachitisme, Ostéoporose, Caries	Haricots
Potassium (K)	Maintien de la pression osmotique intracellulaire Fonctionnement des systèmes nerveux et musculaires	Des troubles du rythme cardiaque Des douleurs musculaires et des rhumatismes	Lentilles

II. Pois chiche

Le pois chiche fut l'une des premières cultures de légumineuses domestiquées (Tab.II), il y a environ 7000 ans (Van Der, 1987). Aujourd'hui, cette culture constitue un élément clé des systèmes de cultures dans de nombreuses régions de l'Asie et de l'Afrique. Elle constitue également une source précieuse de protéines alimentaires d'origine végétale.

1. Description morphologique et botanique

Le pois chiche, (*Cicer arietinum* L.) est une plante annuelle de la famille des Fabacées. Cette espèce est cultivée pour ses graines comestibles. Le genre *Cicer* est composé de 9 espèces annuelles et 34 espèces sauvages vivaces. Parmi les 9 espèces annuelles, le pois chiche (*C. arietinum* L.) est la seule espèce cultivée (Jendoubi et al., 2017).

Le pois chiche est une herbacée avec une tige érigée, anguleuse, couverte de poils et mesure entre 30 et 50 cm de hauteur. Selon les génotypes, la tige de pois chiche peut se ramifier en deux ou trois branches, pour donner des ramifications secondaires et par la suite des ramifications tertiaires. La plante peut alors présenter un port soit étalé, semi dressé ou dressé (Slama, 1998). La feuille est différenciée en un rachis de 3-7 cm de long, qui soutient 9 à 15 folioles en moyenne, insérées sur petits pétioles (Pundir et al., 1990). Les fleurs blanches (pour le type Kabuli) ou colorées (pour le type Desi) sont produites individuellement ou par paires (Ladizinsky et Abbo, 2015). La gousse est rhomboïde ou ellipsoïde et contient généralement 1-2 graines de couleur beige, brune, verte ou noire selon le type Kabuli ou Desi.

Tableau II : Classification taxonomique du pois chiche (USDA)

	Règne	Plantae
	Sous-règne	Tracheobionta
	Division	Magnoliophyta
	Classe	Magnoliopsida
	Sous-classe	Rosidae
	Ordre	Fabales
	Familles	Fabacées
	Genre	Cicer
	Espèces	<i>Cicer arietinum</i> L.

2. Origine et extension de la culture

Le problème de l'origine du pois chiche a attiré l'attention de plusieurs travailleurs, en effet il y'a eu beaucoup de polémique sur l'origine exact du pois chiche. Pour De Candolle (1886), l'origine du pois chiche se situe dans une région au sud du Caucase et au nord de la Perse. En 1926, Vavilov a désigné deux centres d'origine principaux du pois chiche, le sud-ouest de l'Asie et la Méditerranée, et secondairement, l'Éthiopie. Cependant, pour Ladizinsky (1975), le centre d'origine du pois chiche était le sud-est de la Turquie.

En 1987, Van der Maesen a reconnu la partie sud-est de la Turquie contiguë à la Syrie comme centre d'origine possible du pois chiche en raison de la présence des espèces annuelles étroitement apparentées, *Cicer reticulatum* et *Cicer echinospermum*. Le *Cicer reticulatum* sauvage est interfertile avec le pois cultivé et ressemble morphologiquement étroitement à l'espèce *Cicer arietinum* cultivée. Il est considéré comme le progéniteur sauvage du pois chiche (Ladizinsky, 1975). Le pois chiche est donc originaire du Moyen-Orient (zone entre le sud-est de la Turquie et contiguë à la Syrie) et s'est étendu aux pays européens à l'ouest jusqu'au Myanmar à l'est.

3. Différent types de pois chiche

Les pois chiches sont cultivés dans diverses régions du monde, il en existe deux principaux groupes : Kabuli et Desi (fig. 1). Le pois chiche de type Kabuli est caractérisé par des graines de couleur beige ayant la forme d'une tête de bœuf, tégument mince, et une surface lisse. Les pois chiches de types de Kabuli ont généralement des graines de grande taille. (Jendoubi et *al.*, 2017). Le pois chiche avec des téguments colorés et épais sont appelés Desi. Les couleurs des graines incluent diverses nuances et combinaisons de marron, jaune, vert et noir. Les graines sont généralement petites et angulaires avec une surface rugueuse (Gaur et *al.*, 2010). Plusieurs nouvelles variétés de pois chiche Desi et Kabuli ont été développées grâce à des programmes de recherche menés respectivement par l'ICRISAT et l'ICARDA (Shiferaw et *al.*, 2007). Il a été admis que le pois chiche Kabuli était dérivé du pois chiche Desi par la mutation suivie par sélection consciente (Jana et Singh, 1993).



Figure 1 : Les types de pois chiche Kabuli et Desi (myfavouritepastime.com)

4. Ecologie et distribution

Le pois chiche est l'une des cultures les plus tolérantes à la chaleur et à la sécheresse et convient à la culture dans des sols peu fertiles. Comme toutes les légumineuses, la culture de pois chiche contribue à l'amélioration de la fertilité du sol grâce à la fixation biologique de l'azote et par conséquent à la durabilité des systèmes de culture dans les rotations de cultures céréales-légumineuses. Le pois chiche répond à 80% de ses besoins en azote par la fixation symbiotique de l'azote. Il laisse également une quantité substantielle d'azote résiduel pour les cultures suivantes (Gaur et *al.*, 2010). Grâce à son système racinaire profond, le pois chiche peut supporter des périodes prolongées la sécheresse en extrayant l'eau des couches plus profondes du sol.

Les deux types de pois chiche avaient été géographiquement isolés pendant de nombreuses années (Gowda et *al.*, 1987). Ils sont pour la plupart distribués en Asie du Sud et du Sud-Est, bien que les types Desi soient cultivés dans une certaine mesure en Ethiopie, au Mexique et en Iran. Ils sont spécifiquement adaptés aux semis d'hiver dans les régions subtropicales et dans les régions vallonnées des tropiques. Les pois chiches Kabuli sont distribués principalement en Asie de l'Ouest et dans la région méditerranéenne. Ils sont adaptés au semis de printemps à des latitudes plus élevées.

5. Importance à l'échelle mondiale

Le pois chiche figure parmi les légumineuses les plus importantes en termes de production (la troisième légumineuse alimentaire cultivée dans le monde). La production mondiale de pois chiche a connu beaucoup de fluctuations au cours des dernières années. Les deux extrêmes étant de 6,9 millions de tonnes en 2000-2001 et de 13,39 millions de tonnes en 2013-2014 (FAOSTAT, 2016). L'évolution de la production du pois chiche dans le monde (en tonnes) durant la période 1994-2016 est présentée dans la figure 2. Des fluctuations de la superficie cultivée en pois chiches ont également été observées ces dernières décennies au cours desquelles le rendement moyen des pois chiches a augmenté de 716,5 kg/ha en 1994 à 956 kg/ha en 2016 (FAOSTAT, 2016). Cette augmentation est attribuée au développement de nouvelles variétés résistantes aux contraintes biotiques et abiotiques majeures limitant la production du pois chiche. Le pois chiche Kabuli représente environ 20% de la production mondiale de pois chiches.

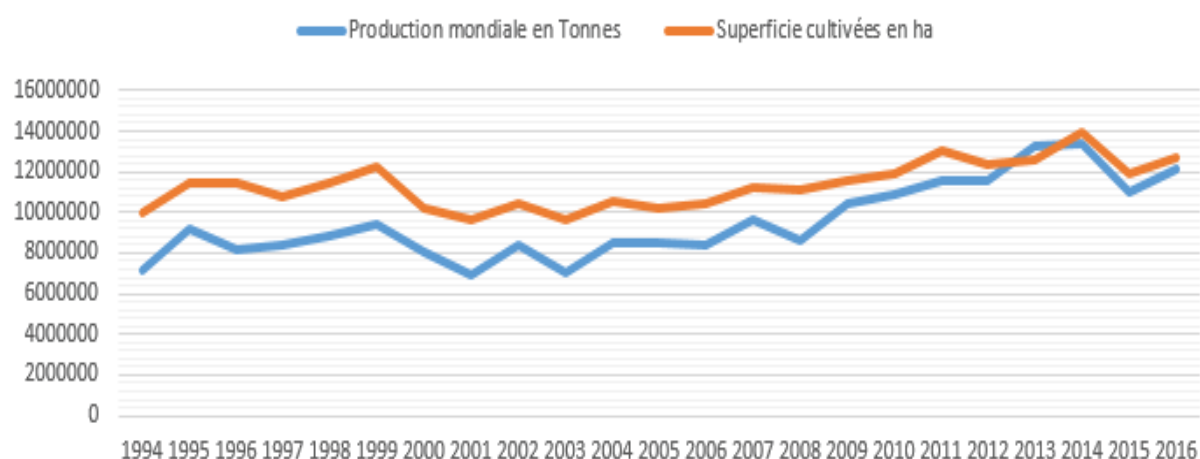


Figure 2 : L'évolution de la production mondiale et superficie en pois chiche cultivées dans le monde durant la période 1994-2016 (FAOSTAT, 2016)

Notons que le pois chiche est cultivé principalement dans le bassin méditerranéen, au Proche-Orient, en Asie centrale et en Asie du Sud, Afrique de l'Est, Amérique du Sud, Amérique du Nord et, plus récemment en Australie. Les plus gros producteurs de pois chiche sont l'Inde, l'Australie et la Turquie (Fig. 3). L'Inde qui produit presque les 2/3 de la production mondiale reste parmi les grands pays importateurs de pois chiche. L'Australie quant à elle, est le premier exportateur mondial de pois chiche avec une production record de 1,6 million de tonnes en 2016 (annexe 2).

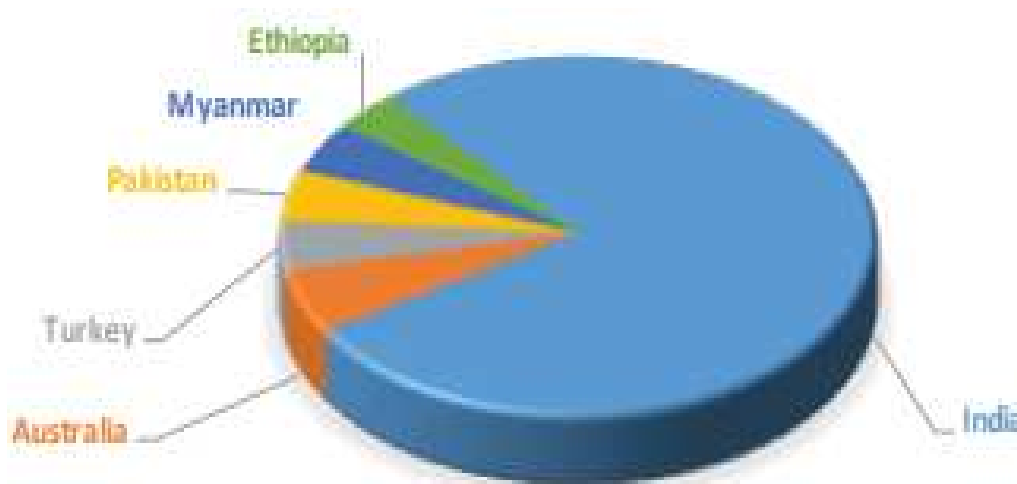


Figure 3 : Production des principaux pays producteurs de pois chiches dans le monde (2010-2014)

6. Production nationale

Les légumineuses alimentaires occupent une place importante dans l'agriculture marocaine du fait de leur richesse en protéines et de leur rôle dans la durabilité des systèmes de culture des zones semi-arides à agriculture pluviale. Le Maroc occupe la 10^{ème} place mondiale en termes de production. Au cours de ces 10 dernières années la production de pois chiche a subi beaucoup de fluctuation (Fig.4) (FAOSTAT, 2016).

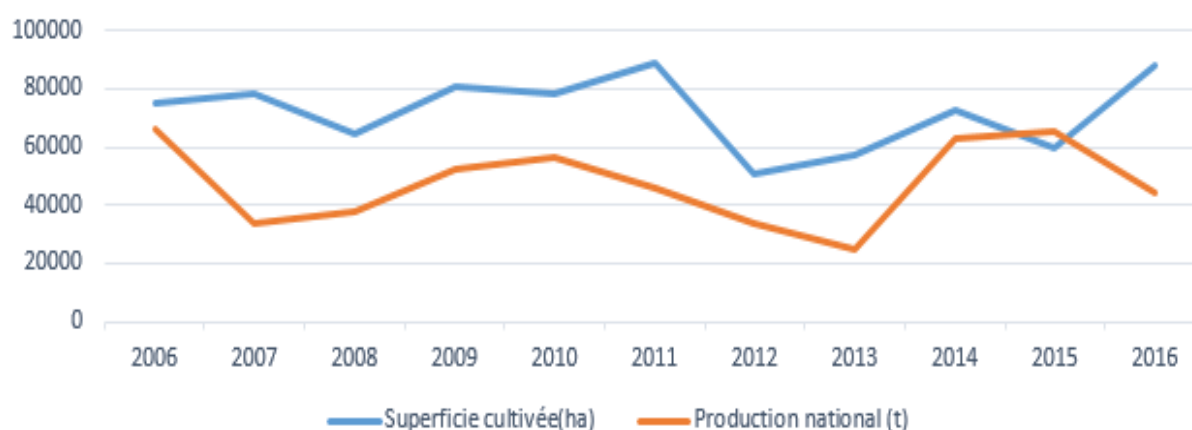


Figure 4 : L'évolution de la production et superficie en pois chiche cultivées au Maroc durant les dix dernières années (FAOSTAT, 2016)

7. Valeur nutritionnelle

Le pois chiche est une légumineuse dont les graines sont largement consommées partout dans le monde du fait de sa bonne valeur nutritionnelle (Tab.III). C'est une excellente source de protéines alimentaires végétale. Outre les protéines, les graines sont aussi riches en fibres et minéraux (phosphore, calcium, magnésium, fer et zinc), et sa fraction lipidique est élevée en acides gras insaturés (Williams et Singh, 1987).

Le profil nutritionnel des graines de pois chiches diffère d'une variété à l'autre, surtout pour la teneur en fibres qui est plus élevée pour les variétés avec une plus grande lumière (graines colorées). En général, les cotylédons et l'embryon contiennent la plupart des avantages nutritionnelles bénéfiques de la graine, tandis que le tégument contient beaucoup de facteurs antinutritionnels (ANF). Les pois chiches Desi ont un tégument plus épais que les pois chiches Kabuli, ce qui se reflète par leur plus grande teneur en fibres (Knights et Mailer, 1989). La différence d'épaisseur de couche entre Desi et Kabuli est contrôlée par un gène majeur (Gil & Cubero, 1993).

Tableau III : Composition nutritionnelle du pois chiche (Ciquel 2016)

Constituants	Teneurs moyennes	Teneurs Min	Teneurs Max
Eau (g/100g)	8,99	4,55	10,9
Protéines (g/100g)	20,5	20	25,8
Protéines brutes, N x 6.25 (g/100g)	20,5	3,2	25,8
Glucides (g/100g)	47,5	45,5	49,4
Lipides (g/100g)	5,85	4,6	6,9
Sucres (g/100g)	6,5	2,3	10,7
Amidon (g/100g)	40		
Fibres alimentaires (g/100g)	13,3	11,4	15,6
Cendres (g/100g)	2,79	1,82	3,13
AG saturés (g/100g)	0,55	0,5	0,6
AG monoinsaturés (g/100g)	1,34	1,3	1,38
AG polyinsaturés (g/100g)	2,67	2,6	2,73
Minéraux			
Fer (mg/100g)	5,36	3,41	6,4
Zinc (mg/100g)	1,88	1	4,54
Magnésium (mg/100g)	120	53	160
Calcium (mg/100g)	90,5	20	223
Chlorure (mg/100g)	60		
Cuivre (mg/100g)	0,71	0,45	0,97
Iode (µg/100g)	0,6	0,5	0,7
Manganèse (mg/100g)	2,2		
Phosphore (mg/100g)	276	164	337
Potassium (mg/100g)	759	582	1090
Sélénium (µg/100g)	2		
Sodium (mg/100g)	23,2	5,5	40

III. Effet des facteurs biotiques, abiotiques et les produits chimiques sur la culture et la qualité des graines du pois chiche.

1. Facteurs biotiques

a. Bactéries du genre *Rhizobium* spécifique du Pois Chiche : Association bénéfique

Depuis des millions d'années, des bactéries sont capables de fixer l'azote atmosphérique pour le rendre disponible aux plantes. Les plantes de la famille des légumineuses ont un avantage majeur ; elles ont la capacité d'établir une symbiose avec ces bactéries du sol du genre *Rhizobium*. Au contact des rhizobia, la plante va former de petits organes racinaires, appelés nodules, au sein desquels les bactéries, différenciées en bactéroïdes, vont pouvoir se loger. Les plantes fournissent aux bactéries une niche écologique et des sources de carbone nécessaires à leur développement. En retour les bactéries fixent l'azote atmosphérique et le transfèrent à la plante sous une forme assimilable, l'ammoniac.

Il existe plusieurs souches de *Rhizobium* spécifique du pois chiche dont BHURC04, BHURC05, BHURC03, USDA-3378 et USDA-3100. En effet, Ammar et *al.*, 2013 ont indiqué que l'inoculation des plantes avec la souche de *Rhizobium* introduite (USDA, 3100) ou avec le bacille *Megatherium* var. entraînait une augmentation significativement ($P < 0,05$) du rendement, de la teneur en cendres, en fibres, en tanins et en protéines des graines de pois chiches. Ces résultats sont confirmés par Harendra et *al.*, 2014 (Tab.IV).

Tableau IV : Effets de l'inoculation de *Rhizobium* sur la culture du pois chiche (Harendra et *al.*, 2014)

Teneurs en	Témoins	Plantes testées
Fibres brutes	12,89 à 13,79%	de 13,11 à 15,03
Minéraux	3,55 à 3,79% de la, de	4,14 à 4,45%
Acides aminés libres	2,35-2,51%	2,38-2,65%

b. Microorganismes pathogènes : Virus, bactéries et champignons

La culture de pois chiches est attaquée par 172 pathogènes (67 champignons, 22 virus, 3 bactéries et 80 nématodes) partout dans le monde (Nene et al., 1996). Les principales maladies sont présentées dans les tableaux V, VI et VII respectivement pour les champignons, virus et bactéries. Beaucoup d'entre eux infectent les graines ; et les semences infectées peuvent fournir des inoculums primaires pour l'infestation de nouveaux pathogènes transmis par les cultures et les semences dispersées sur de longues distances.

Tableau V : Principales maladies fongiques du pois chiche dans le monde

Maladies	Agents responsables	Références
Anthraxnose	<i>Ascochyta rabiei</i>	Akem (1999); Haware et al. (1986) ;
Phoma « blight »	<i>Phoma medicaginis</i>	Haware et Nene (1981); Nene et al. (2012).
Alternariose	<i>Alternaria alternata</i> (syn. <i>A. tenuis</i> Nees)	Bhargava (1988); Bhargava (1995);
Rouille	<i>Uromyces ciceris</i>	Khouader et al. (2013); Nene et al. (1991).
Sclerotiniose	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , <i>Sclerotinia minor</i> , <i>Sclerotinia trifoliorum</i>	Njambere et al. (2007); Nene et al. (1991).

Tableau VI : Principales maladies virales affectant le pois chiche (ICRISAT 1990 ; Nene et al., 2012 ; Schwinghamer et Larsen, 2011)

Symptômes	Agent causal	Distribution	Importance
Mosaïque jaune Jaunissement	<i>Bean yellow mosaic potyvirus (BMV)</i>	USA, Iran, Inde	Importance locale, pertes de rendement estimées à 77-92 % en Iran.
Mosaïque jaune	<i>Beet western yellow luteovirus (BWV)</i>	Espagne, Syrie Australie, Inde,	Mineure
Mosaïque nécroses, flétrissement	<i>Alfaalfa mosaic virus (AMV)</i>	Largement répandu	Localement important en Iran où les pertes de rendement sont estimées à 52%.
Enation, mosaïques	<i>Pea enation mosaic virus (PEMV)</i>	USA, Italie	Mineure
Necrotic yellows	<i>Lettuce necrotic yellows Rhabdovirus (NLV)</i>	Australie	Potentiellement à la Nouvelle Galles du Sud et au sud de la Quesland.

Tableau VII : Principales maladies bactériennes affectant le pois chiche (Nene et *al.*, 1996; Shroeder 2011)

Symptômes	Agent causal	Distribution	Importance
Brûlure bactérienne et fonte de semis	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>cassiae</i> (Kulkarni. Patel & Dhande) Dye.	Inde	Mineure
Chancre bactérien de la tige, taches foliaires et dépérissement	<i>Pseudomonas andropogons</i> (Smith) Stapp.	Australie, Italie, une signalisation aux USA.	Mineure
Graines rose	<i>Erwinia rhapontici</i>	Canada	Faible incidence

Remarques : La maladie la plus néfaste pour la production du pois chiche dans le monde est l'anthracnose provoquée par *Ascochyta rabiei* (Nene et Reddy, 1987). C'est une maladie fongique qui attaque toutes les parties aériennes de la plante aux différents stades de son développement et persiste dans les résidus de culture, dans les graines et dans la plante causant ainsi des pertes très considérables.

2. Facteurs abiotiques

Les cultures de pois chiche sont exposées à un certain nombre de conditions environnementales potentiellement défavorables telles que le déficit hydrique, la salinité élevée, la température extrême, etc. Ces stress abiotiques affectent la croissance et la productivité des plantes.

a. Déficit hydrique.

L'eau est une source importante qui joue un rôle dans l'agriculture. En effet le déficit en eau cause une réduction de la production agricole dans différentes parties du monde. En ce qui concerne la culture du pois chiche, le stress hydrique affecte de manière significative la croissance ainsi que le rendement des graines (Mahmudul, 2009). Cependant il n'a pas d'effet négatif sur la qualité des graines, il améliore la valeur nutritive des graines en termes d'accumulation plus élevée de sucres solubles, d'acides aminés et de protéines (Behboudian et *al.*, 2001)

b. Salinité

Les pois chiches sont très sensibles à la salinité, comme beaucoup d'autres cultures de légumineuses (Ashraf et Waheed, 2013). En effet la salinité réduit la croissance des plantes, le nombre de fleurs, de gousses et de graines ainsi que le poids des graines (Boughribil et *al.*, 1998). Cependant les cultivars Kabuli semblent avoir une plus grande capacité de tolérance au sel par rapport aux cultivars Desi (Sohrabi et *al.*, 2008).

La salinité entraîne également une diminution de la teneur en amidon et en protéines des graines de pois chiches (Asha et Dhingra, 2007) La diminution de la teneur en protéines peut être attribuée à la diminution de la synthèse des protéines ou à une augmentation de l'hydrolyse des protéines (Brady et *al.*, 1984).

Remarque : De nos jours, diverses stratégies sont utilisées pour générer des plantes capables de résister aux contraintes abiotiques. Ces dernières années, l'amorçage des semences a été développé comme une méthode indispensable pour produire des plantes tolérantes contre divers stress (Jisha, 2013). L'amorçage des graines est l'induction d'un état physiologique particulier chez les plantes par le traitement des graines avec des composés naturels et synthétiques avant la germination.

3. Effets des produits chimiques

Lors de la culture du pois chiche, des agents chimiques sont généralement utilisés afin d'améliorer le rendement (les engrais) et protéger les semences contre les pathogènes fongiques des semis ou les attaques d'insectes (les pesticides).

a. Engrais

Pour la plupart des agriculteurs, le pois chiche étant une culture de légumineuses, il n'a pas besoin de nutrition particulière et le cultive généralement sur une terre marginale, sans appliquer d'engrais. Cependant l'application d'engrais chimiques améliore le rendement, le poids de 100 graines, la teneur en cendres, en matières grasses et en protéines des graines (Ammar et *al.*, 2013). De plus le rendement en graines de pois chiche augmente de manière significative lors de l'application du *Rhizobium* et de phosphore par contre le rendement grainier, le rendement biologique le plus bas ont été obtenus avec une inoculation et zéro phosphate appliqué (Hakoomat et *al.*, 2004).

Une augmentation significative de la taille des graines, la teneur en azote des feuilles et des graines et également la teneur en protéines des graines ont été observées lors des traitements foliaires par l'urée, un engrais azoté (Venkatesh et Basu, 2011). L'utilisation de l'engrais NPK en raison de 30,60, 0 Kg ha⁻¹ entraîne une augmentation du nombre de graines par gousse, le nombre de gousses par plante, le rendement biologique et la teneur en protéines des graines (Tariq, 2016).

b. Pesticides

Les légumineuses à graines sont sujettes aux attaques de nombreux insectes nuisibles et maladies (Tadele Tefera, 2006). Et le pois chiche ne fait pas exception à la règle. Pour lutter contre ces maladies, insectes et mauvaises herbes, les agriculteurs font appel à des pesticides (fongicides, insecticides, et herbicides). En effet, les fongicides et les insecticides sont considérés comme fiables en raison de leur action rapide et efficace. Divers produits chimiques ont été évalués et déclarés efficaces contre les principales maladies des cultures et les insectes nuisibles.

Les champignons généralement associés aux graines de pois chiches sont *Alternaria alternata*, *Aspergillus flavus*, *A. fumigatus*, *A.niger*, *A. terreus*, *Curvularia lunata*, *Fusarium oxysporum*f.sp. *ciceri*, *Penicillium*spp. , *Rhizopus stolonifer* et *Trichoderma* sp. Pour lutter contre ces champignons, les agriculteurs font appel à des fongicides. En effets les fongicides, à savoir le carbendazime, le thirame, le captane, le zineb et le mancozèbe à des concentrations élevées réduisent la croissance maximale de l'*Alternaria alternata*, de l'*Aspergillus flavus* et du *Fusarium oxysporum* f.sp. *Ciceri* par rapport au contrôle (Saroja, 2012).

Les fongicides peuvent également être utilisées pour améliorer les semences. Par exemple, le traitement préalable des semences par *Trichoderma viride* et *vitavax* entraîne une augmentation de 14,67% de la germination de la variété de pois chiche par rapport au contrôle. L'effet bénéfique du traitement des semences a également été enregistré pour la longueur du tronc, la longueur des semis, la longueur des plantules et l'indice de vigueur (Mohd et al., 2011).

L'utilisation d'insecticides, le diméthoate et l'oxychlorure de cuivre est bénéfique pour la gestion des ravageurs et des maladies des légumineuses. En effet, les dommages aux gousses et aux graines ont été significativement réduits. Une augmentation du nombre de gousses par plante et du rendement total en graines a été observée. La qualité du rendement a augmenté

grâce à la réduction des graines ratatinées et décolorées dues aux maladies (Muthomi et *al.*, 2008).

En plus des maladies et des insectes, le pois chiche souffre sévèrement du stress dû à la concurrence des mauvaises herbes. Ces mauvaises herbes occasionnent une réduction du rendement de 20 à 49,5% selon la nature et la densité des mauvaises herbes, (Pritam et *al.*, 2015). Avec l'augmentation des coûts de main-d'œuvre et la rareté de la main-d'œuvre agricole rendent le désherbage manuel difficile, les agriculteurs font appel à des herbicides. En effet, l'application de fluchloraline, de pendiméthaline et de métribuzine se révèle efficace contre les mauvaises herbes. Ces traitements entraînent une diminution significative de la population et du poids sec des mauvaises herbes dominantes comme *Chenopodium album* et *Vicia sativa* par rapport aux parcelles herbeuses. Cependant, le rendement en grains des parcelles traitées par les herbicides ci-dessus ne différait pas significativement des parcelles non traitées (Balyan et *al.*, 1987).

Remarque : Bien que l'utilisation de produits chimiques comme mesure de contrôle et d'amélioration du rendement soit souhaitable, divers problèmes sont apparus. Outre les coûts prohibitifs des pesticides, les applications élevées ont un effet dangereux sur l'environnement et sur la santé humaine en plus du risque de développement d'une résistance.

IV. Paramètres utilisés dans l'évaluation de la qualité des graines

Le pois chiche est une source importante de protéines, d'hydrates de carbone, de vitamines et de certains minéraux. Au vue de ces différents avantages, ils sont de plus en plus utilisés dans l'industrie agroalimentaire. Dans cette dernière filière, l'évaluation des caractéristiques qualitatives des graines est obligatoire pour orienter leur transformation vers un produit final (farine, chips, purée...).

Les différentes analyses généralement effectuées sont énumérées dans le tableau ci-dessous

Tableau VIII : Méthodes d'évaluation de la qualité des graines et de la farine de pois chiche (Commission Canadienne des graines)

Caractéristiques	Tests	Descriptions
Caractéristiques physiques	Taux de cassure	Ce test permet d'apprécier la dureté de la graine et par suite sa résistance aux chocs
	Poids de 100 graines	Cent graines sont comptées à l'aide d'une planche conçue à cette fin, puis pesées.
Caractéristiques technologiques	Détermination de la taille et la couleur des graines*	Ce test renseigne sur la longueur, la largeur, l'aire, le périmètre et la couleur de chaque graine. Ce test peut être effectué grâce au logiciel GrainScan.
	Indice d'absorption dans l'eau **	Représente la quantité maximale d'eau pouvant être absorbée par 100 graines à température ambiante (22 ± 2 °C)
	Indice d'absorption dans l'huile.	Il représente la capacité de la farine de s'associer avec de l'huile.
	Concentration de gélification.	Elle permet de déterminer le pouvoir gélifiant de la farine
	Pouvoir émulsifiant et sa stabilité.	Elle permet de déterminer le pouvoir émulsifiant des protéines de pois chiches
	Durée de cuisson**	La durée de cuisson est déterminée à l'aide d'un autocuiseur Mattson
Caractéristiques biochimiques	Détermination du taux de protéine*	La teneur en protéines peut être mesurée par spectroscopie dans le proche infrarouge(NIRS) ou par la méthode de Kjeldahl
	Détermination du taux de cendre.	Ce test permet d'avoir une idée sur la matière minérale du produit. Mesuré par le NIRS
	Détermination du taux de la matière grasse	Il est mesuré par la méthode Soxhlet, et généralement varie autour de 1%. Peut également être mesuré par le NIRS
	Détermination du taux de fibres	Ce test permet d'avoir une idée sur la teneur en fibre du produit. Mesuré par le NIRS
Caractéristiques chimiques	Détermination de la teneur en éléments minéraux*	La quantité de micronutriments dans la farine peut être dosée par la Spectrométrie à Emission Optique (OES) couplée à l'ICP (Plasma à couplage inductif) ou par spectrométrie à absorption atomique(SAA)

*Analyse effectué dans le cadre de ce projet ; **Analyse à réaliser.

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

I. Matériel végétale

Un total de 300 génotypes de pois chiche type Kabuli ont fait l'objet d'une analyse complète de la qualité nutritionnelle, soit 293 lignées avancées et 7 variétés cultivées au Maroc (Arifi, Douiyet, Farihane, Moubarek, Rizki, Zahour et Garbanzo). Les semences ont été récoltées et récupérées à partir des essais avancés de rendement installés au cours de la campagne agricole 2016-2017 dans la station de Recherche de l'ICARDA à Marchouch. Les essais ont été conduits selon un Alfa Latis Design avec deux répétitions.

II. Méthodologie

1. Caractérisation technologique (morphologique) des graines (*GrainScan*)

GrainScan est une méthode logicielle permettant de mesurer la taille et la couleur des grains à partir d'images capturées à l'aide de scanner plat. Cette manipulation se fait en 2 étapes, tout d'abord on a la capture de l'image qui sera suivi par l'analyse de la dite image par le logiciel *GrainScan*.

Pour la capture de l'image, nous avons utilisé un scanner plat (Fig. 5). Pour normaliser la capture d'images, la numérisation a été gérée par le logiciel Canon Quick Menu. Toutes les images ont été scannées à 300 dpi sans ajustement de couleur ni recadrage appliqué. Pour le balayage, les graines de pois chiche ont été étalées sur un film transparent pour éviter de rayer le verre du scanner. Le nombre de graines par image variait de 68 à 101 graines avec une valeur moyenne de 78 graines. Pour maximiser le contraste à la frontière de chaque graine, une boîte noire mate était retournée sur la surface de numérisation, minimisant la réflexion et l'ombre.

L'analyse de l'image par le logiciel *GrainScan* génère un document Excel qui nous renseigne sur l'aire, le périmètre, la longueur, la largeur, et les couleurs de chaque graine de l'image.



Figure 5 : Caractérisation technologique des graines des différents génotypes testés par le logiciel *GrainScan*.

2. Caractérisation chimique

L'analyse de la qualité nutritionnelle en terme de concentration des graines des différents génotypes testés en éléments minéraux (Fe, Zn, Se, P, Mn, K, Ni, Cu, Ca, Ba, Mg) été déterminée en utilisant une méthode $\text{HNO}_3 / \text{H}_2\text{O}_2$ modifiée. Dans un premier temps, les graines à analyser ont été broyées et minéralisées (annexe 3). Les extraits obtenus à la fin de la minéralisation ont été dilués et quantifiés par Spectrométrie à Emission Optique (OES) Couplée au Plasma (ICP) ; ICAP-7000-SERIES, Thermo Scientific. L'ICP-OES est contrôlé par un ordinateur externe qui utilise le logiciel de contrôle QTEGRA-ISDS (Fig.6).



Figure 6 : La Spectrométrie à Emission Optique Couplée au Plasma (ICP-OES), ICAP-7000-SERIES, Thermo Scientific

L'ICP-OES repose sur l'excitation thermique des ions dans le plasma et l'analyse de la lumière émise par ces ions excités. Chaque élément émet des photons caractéristiques. Ces derniers sont alors séparés, identifiés et leurs intensités mesurées par un spectromètre. La concentration élémentaire de chaque élément est ensuite déterminée par confrontation à une courbe d'étalonnage. Les courbes d'étalonnage pour la concentration des différents éléments minéraux ont été faites en utilisant des dilutions en série.

La concentration en mg/Kg de farine pour chaque élément est obtenue en appliquant la formule suivante :

$$C_{\text{mineraux}}(\text{mg/kg}) = \frac{C(\text{ICP}) * V * F.D}{\text{Prise d'essai}}$$

Avec :

C : la concentration en minéraux obtenue en mg/uL

V : le volume d'acide nitrique utilisé pour la digestion (8 mL)

F.D : Facteur de dilution (10)

Prise d'essai : la masse de l'échantillon initial (500 mg)

3. Caractérisation biochimique

Pour déterminer la teneur en protéines de nos échantillons, nous sommes passées par le dosage de l'Azote total selon la méthode de Kjeldahl. Dans un produit biologique, l'azote peut se trouver sous forme minérale et organique (protéines, phospho-amino-lipides...); pour le doser dans sa totalité, il faut détruire les composés organiques de manière à obtenir tout l'azote sous forme minérale. On effectue pour cela une minéralisation (annexe 4).

La farine de pois chiche est minéralisée en milieu acide (acide sulfurique et acide salicylique) en présence d'un catalyseur (sélénium). L'acide salicylique forme un composé avec les nitrates présents pour éviter les pertes d'azote. La digestion proprement dite est démarrée par l'ajout du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) à 30%. Dans cette étape, la plus grande partie de la matière organique est oxydée. A la fin de la digestion, l'azote N se retrouve sous forme ammonium NH_4^+ . L'ammonium formé est ensuite quantifié par dosage colorimétrique (annexe 5). La teneur d'azote (TN) a été calculée selon la formule suivante :

$$TN = \frac{DO * F.D * V * M(N)}{a * \text{Prise d'essai} * M(NH_4)}$$

Avec

DO : Densité optique à 650 nm

F.D : Facteur de Dilution (2)

V : volume final obtenue lors du dosage colorimétrique (12.5 mL)

M(N) : masse molaire de l'azote (14 g/mol)

a : pente de la courbe d'étalonnage ($y=ax$)

Prise d'essai : la masse de l'échantillon initial (300 mg)

M(NH_4) : masse molaire de l'ammonium (18 g/mol)

La teneur en protéines brutes (pourcentage des protéines) est obtenue en multipliant teneur en azote par le facteur 6,2

$\% \text{Protéine} = TN * 6.2$

4. Analyse statistique

Le traitement statistique des données obtenues a porté sur une analyse des paramètres statistiques suivie d'une analyse de variance (ANOVA) en utilisant le HSD de Duncan ($\alpha = 0,05$). Des corrélations par paires ont également été déterminées entre les différents paramètres effectués. Toutes ces analyses ont été réalisées par le logiciel SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*).

CHAPITRE III : RESULTATS

I. Caractérisation technologique (*GrainScan*)

La technique du *GrainScan* nous a permis de déterminer pour toute la collection de génotypes étudiés, la longueur, la largeur, le périmètre, l'aire et la couleur des graines (ch1, ch2 et ch3). L'analyse de la variance (ANOVA) a montré une différence hautement significative ($P < 0,01$) entre les différents génotypes étudiés pour l'aire, le périmètre, la longueur, la largeur, la couleur-ch2 et couleur-ch3. Aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été enregistrées entre les génotypes étudiées pour la couleur ch1, il n'y a pas de différence significative entre les génotypes (Tab. X et XI). L'analyse du tableau IX a permis les constatations suivantes :

- Des maxima de 76,70 mm², 42,55 mm, 11,18 mm et 8,39 mm ont été enregistrés chez la variété Garbonzo respectivement pour l'aire de la graine, le périmètre, la longueur et la largeur.
- Des minima de 35,32 mm², 27,35 mm et 7,19 mm ont été enregistrés respectivement pour l'aire de la graine, le périmètre, la longueur. Ces valeurs ont été enregistrées chez le génotype S130341
- Les graines du génotype S130390 ont montré la largeur la plus faible avec uniquement 6,12 mm.
- Le coefficient d'asymétrie, nous renseigne sur la distribution des fréquences. Les fréquences de la longueur, de la largeur et des couleurs ch2 et ch3 sont symétriques (distribution normale).
- La distribution des génotypes pour les caractères liés à l'aire, le périmètre, la couleur ch1 des graines a montré une asymétrie positive (Fig.7 et 8).

Tableau IX : La moyenne, le minimum, le maximum et le coefficient d'asymétrie de l'aire, le périmètre, la longueur, la largeur, et les couleurs (ch1, ch2 et ch3) dans la collection de pois chiches Kabuli.

	Aire (mm ²)	Périmètre (mm)	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Couleur - ch1	Couleur - ch2	Couleur - ch3
Moyenne	47,54	32,73	8,61	6,96	165,49	132,45	110,36
Minimum	35,32	27,35	7,192	6,12	155,25	119,48	93,64
Maximum	76,70	42,55	11,18	8,39	175,54	146,07	126,32
Asymétrie	0,824	0,511	0,471	0,223	0,660	-0,009	-0.172

Indices de couleur : ch1 *: composant Noir /Blanc ; ch2 *: composant Bleu /Rouge et Ch3 *: composant Vert / Jaune.

Tableau X : Carrés moyens de l'aire, le périmètre, la longueur et la largeur des différents génotypes de pois chiche étudiés.

Source	Ddl	Aire (mm ²)	Périmètre (mm)	Longueur (mm)	Largeur mm
Génotypes	299	46,90**	6,58**	0,543**	0,195**
Erreur	311	5,077	0,547	0,049	0,038
		R ² = 0,89	R ² = 0,92	R ² = 0,91	R ² = 0,83

Différence significative entre les génotypes (P<0.05) ; ** Différence hautement significative entre les génotypes (P<0.01)

Tableau XI : Carrés moyens de la couleur des graines (ch1, ch2 et ch3) des différents génotypes de pois chiche étudiés

Source	Ddl	Couleur -ch1	Couleur -ch2	Couleur -ch3
Génotypes	299	33,75	27,09**	47,02**
Erreur	311	36,28	7,32	9,13
		R ² = 0,47	R ² = 0,781	R ² = 0,832

Différence significative entre les génotypes (P<0.05) ; ** Différence hautement significative entre les génotypes (P<0.01)

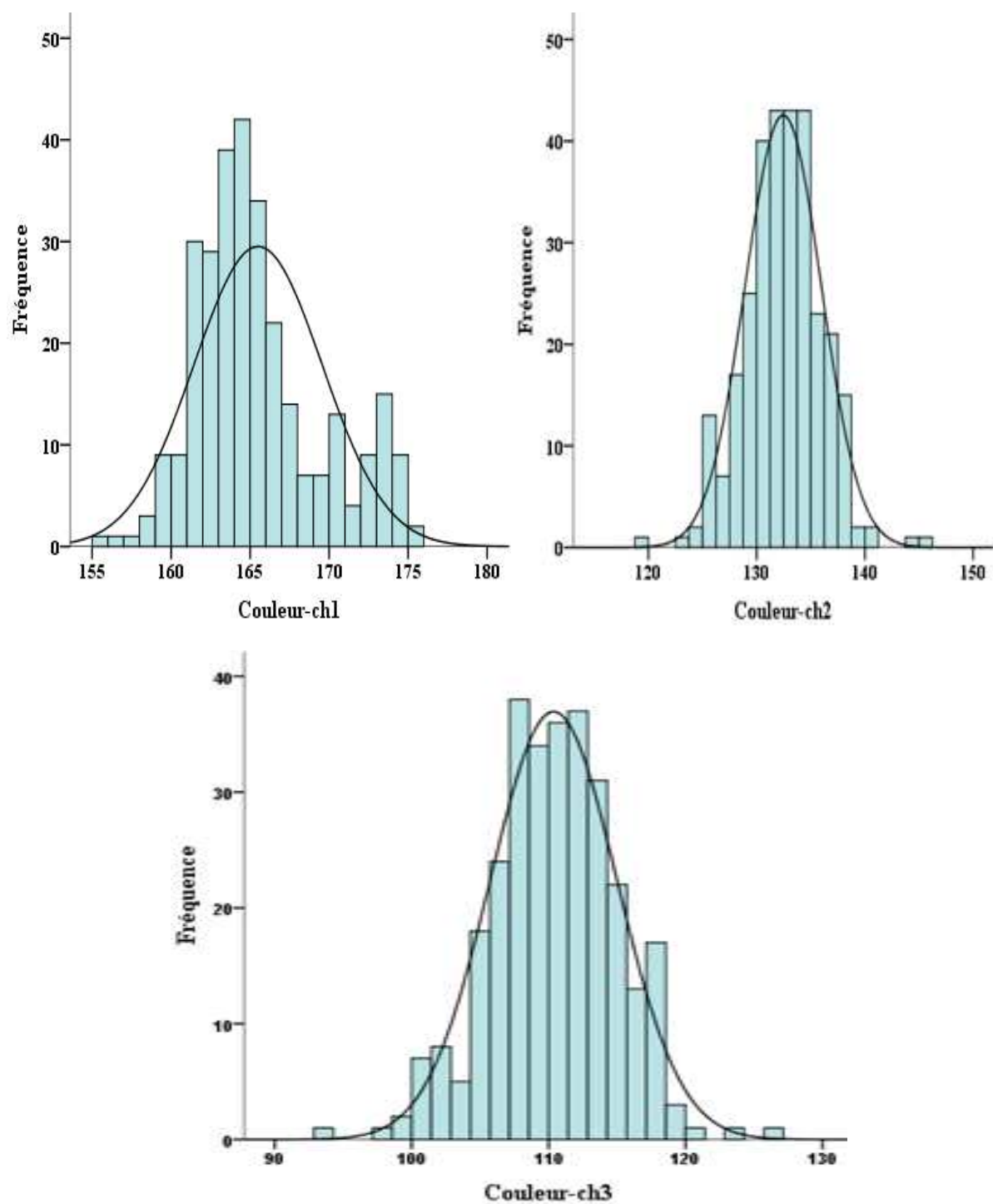


Figure 7 : Distribution des fréquences de la couleur (ch1, ch2 et ch3) des génotypes étudiés

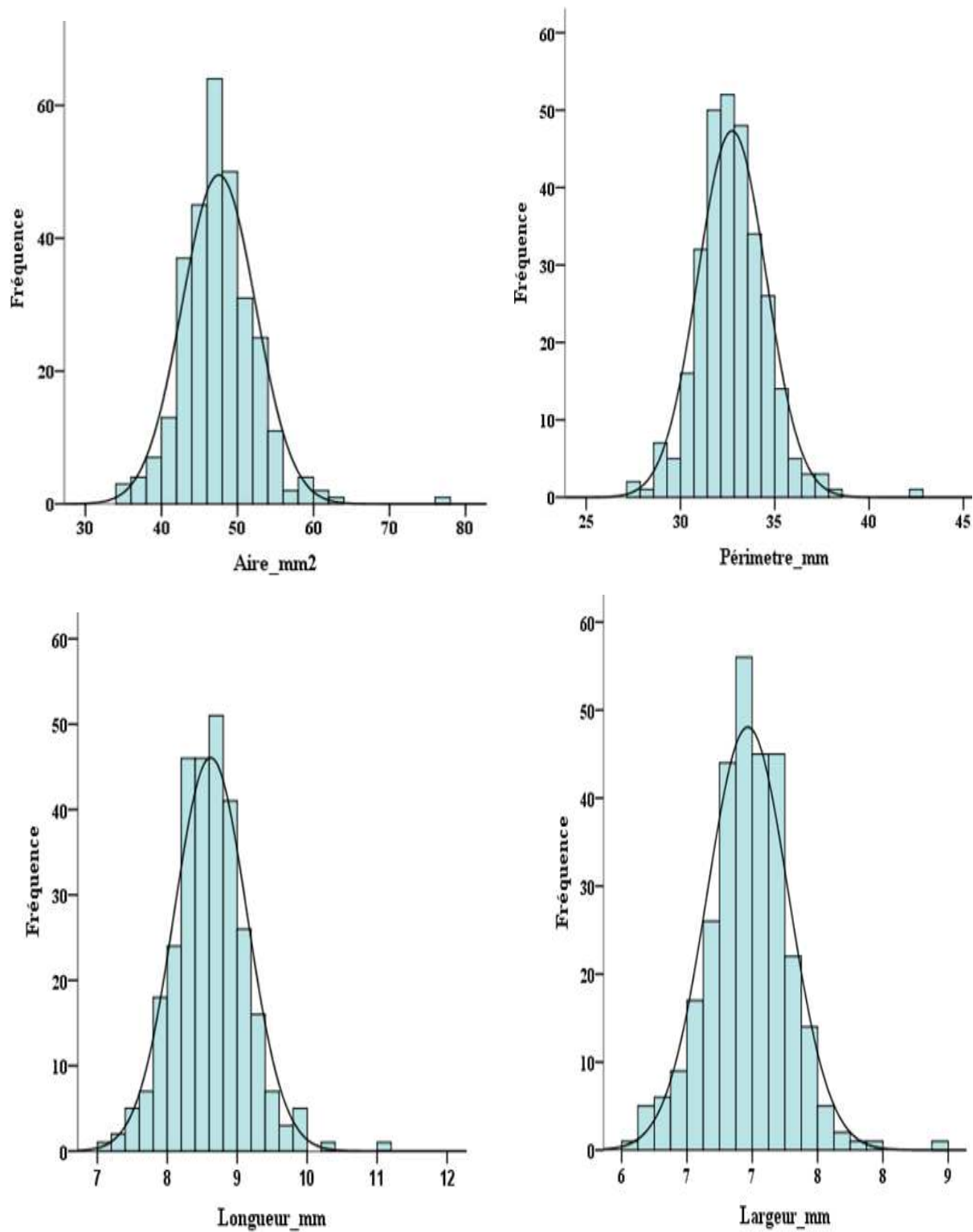


Figure 8 : Distribution des fréquences de l'aire, le périmètre, la longueur et de la largeur des génotypes étudiés

II. Caractérisation chimique

L'analyse de la variance a montré une différence significative ($P < 0.05$) de la composition/teneur en éléments minéraux entre les différents génotypes étudiés (Tab.XIII). Les résultats ont montré que :

- Parmi tous les minéraux analysés, le potassium (K) et le phosphore (P) sont les éléments les plus abondants dans la farine des graines des génotypes de pois chiche étudiés (Tab.XII).
- La teneur en K a varié entre des maxima 6130,8 mg/kg (génotype S130120) et des minima 13476,40 mg/kg de farine (génotype S130505).
- La teneur en P a varié entre un minimum de 1289,23 mg/Kg de farine enregistré chez le génotype S130371 et un maximum de 3606,40 mg/Kg de farine enregistré chez le génotype S130318.
- La teneur en calcium (Ca) a varié entre 729,8 mg/Kg (génotype S130019) et 1848,2 mg/Kg de farine (génotype S130295) avec aucune différence significative ($P > 0.05$) entre les génotypes étudiés.
- Tout comme le potassium, le phosphore et le calcium, le magnésium (Mg) était présent dans la farine des graines de pois chiche à une teneur assez importante variant de 566,9 mg/Kg (génotype S130264) à 1574 mg/kg de farine (génotype S130257) avec une différence significative ($P < 0.05$) entre les génotypes étudiés.
- En plus du magnésium, les résultats ont aussi montré que la farine des différents génotypes testés contient une teneur assez importante en zinc (Zn) et en fer (Fe). Une différence significative ($P < 0.05$) a été enregistrée entre les génotypes testés pour ces deux éléments.
- La teneur en zinc a varié entre un minimum de 32,1 mg/kg chez le génotype S130073 et un maximum de 86,1 mg/Kg chez le génotype S130342.
- La teneur en fer a varié entre un minimum de 29,4 mg/Kg de farine chez le génotype S130478 et un maximum de 81 mg/Kg de farine enregistré chez le génotype S130373.
- La teneur en Manganèse (Mn) a varié entre 12,6 mg/Kg chez le génotype S130313 et 55,75 mg/kg chez le génotype S130274. Une différence hautement significative ($P < 0.01$) a été enregistrée entre les génotypes testés pour cet élément.

- La teneur en Cuivre (Cu) quant à elle a varié de 4,9 mg/Kg chez le génotype S130415 et 10,9 mg/Kg chez le génotype S130508. Il faut noter qu'aucune différence significative ($P>0.05$) n'a été enregistrée entre les génotypes étudiées pour cet élément.
- Les résultats ont aussi montré que le sélénium (Se), le nickel (Ni) et le barium (Ba) étaient des éléments présents dans la farine des différents génotypes étudiés à des faibles teneurs. Une différence hautement significative ($P<0.01$) a été enregistrée entre les différents génotypes étudiés pour la teneur en Ni et en Ba. Contrairement, aucune différence significative ($P>0.05$) n'a été enregistré pour la teneur en Se entre les génotypes étudiés.
- La teneur en Sélénium (Se) a varié entre un minimum de 0,13 mg/kg et un maximum de 0,97 mg/kg enregistrés respectivement chez les deux génotypes S130324 et S130419.
- La teneur en nickel (Ni) a varié entre un minimum de 0,1 mg/Kg chez le génotype S130004 et un maximum à 0,9 mg/Kg enregistré chez le génotype S130481.
- La teneur en Ba a varié entre 0,018 mg/kg chez le génotype S130415 et 1,02 mg/kg enregistré chez le génotype S130508.

Par ailleurs, l'analyse des résultats du coefficient d'asymétrie de tous les minéraux pour toute la collection des génotypes étudiés a révélé :

- Une distribution normale symétrique des génotypes notamment pour les éléments Fe, Se, P, Mn, K, Ba et Mg (Fig. 9).
- La distribution asymétrique positive des génotypes pour la teneur en Zn, Ni, Cu, et Ca.

Tableau XII : Le minimum (mg/Kg), le maximum (mg/Kg), la moyenne (mg/Kg) et le coefficient d'asymétrie de la teneur en minéraux Fe, Zn, Se, P, Mn, K, Ni, Cu, Ca, Ba et Mg de la farine de toute la collection de génotypes testés.

	Eléments minéraux										
	Fe	Zn	Se	P	Mn	K	Ni	Cu	Ca	Ba	Mg
Moyenne	61,7	48,8	0,42	2248,2	31,5	8801,5	0,3	6,9	1114,2	0,44	1207,8
Minimum	29,4	32,1	0,13	1289,2	12,6	6130,8	0,1	4,9	729,8	0,018	566,9
Maximum	81	86,1	0,97	3606,4	55,75	13476,4	0,9	10,9	1848,2	1,02	1574
Asymétrie	-0,45	0,6	0,24	0,05	0,4	0,34	1,06	0,6	0,88	0,45	0,21

Tableau XIII : Carrés moyens (mg/Kg) de la teneur en éléments minéraux Fe, Zn, Se, P, Mn, K, Ni, Cu, Ca, Ba et Mg de la farine de toute la collection de géotypes testés.

Source	Ddl	Fe	Zn	Se	P	Mn	K	Ni	Cu	Ca	Ba	Mg
Géno Types	299	174,9 3**	155,7 4**	0,03	37449, 67	145,9 1**	2311 1,82	0,0 5**	2,0 7	7825 0,43	0,0 67* *	28446 ,766*
Erreur	307	127,1 1	61,49	0,03	338184 ,12	75,05	2011 098,1 6	0,0 3	1,8 6	7979 0,85	0,0 3	22609 ,37
		R ² = 0,57	R ² = 0,71	R ² = 0,53	R ² = 0,52	R ² = 0,65	R ² = 0,53	R ² = 0,6	R ² = 0,5 2	R ² = 0,49	R ² = 0,7	R ² = 0,55

Différence significative entre les géotypes ($P < 0.05$) ; ** Différence hautement significative entre les géotypes ($P < 0.01$)

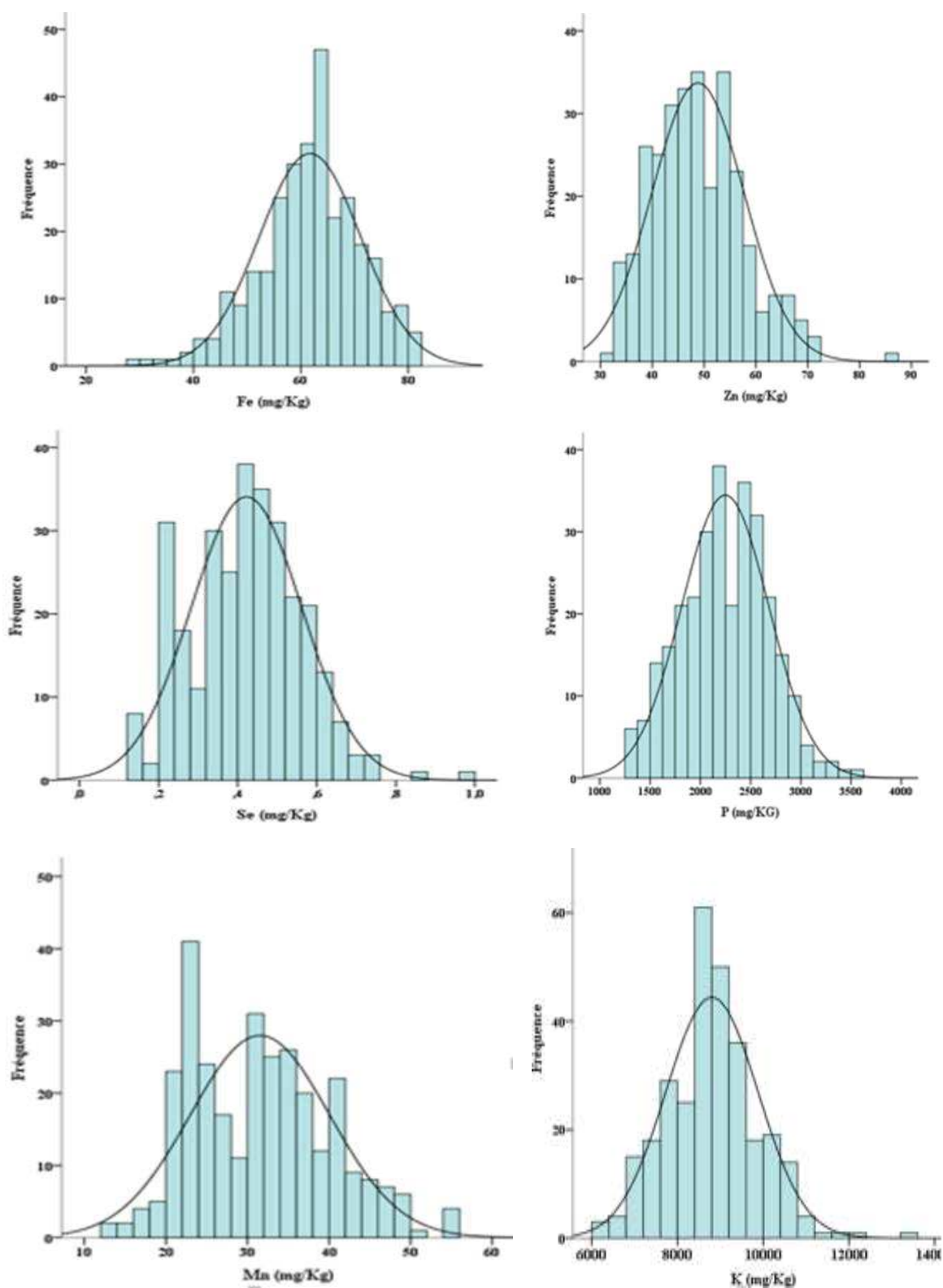


Figure 9 : Distribution des fréquences de la collection de géotypes étudiés en fonction de la teneur en différents éléments analysés (Fe, Zn, Se, P, Mn, K)

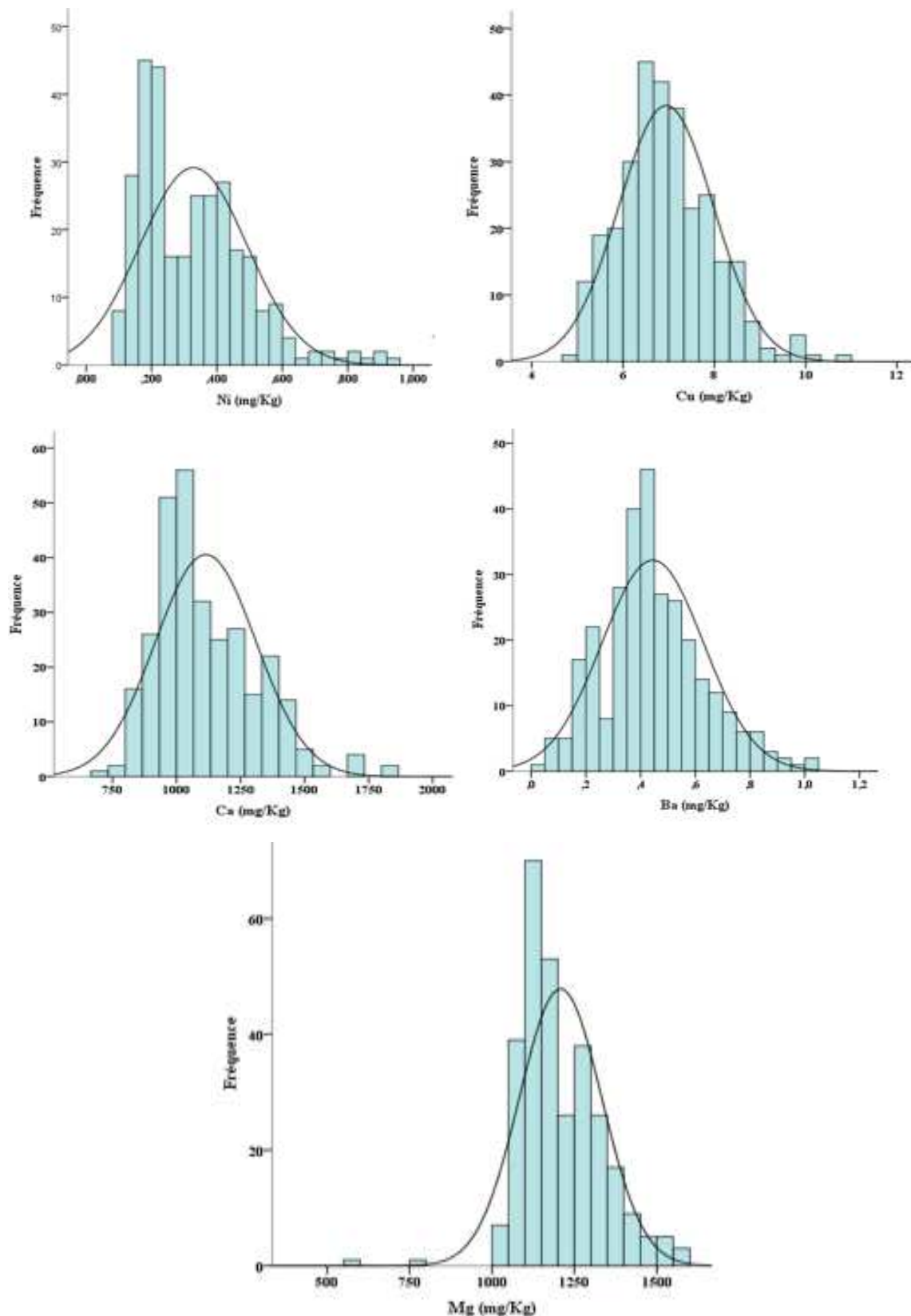


Figure 10 : Distribution des fréquences de la collection de génotypes étudiés en fonction de la teneur en différents éléments analysés (Ni, Cu, Ca, Ba et Mg)

III. Caractérisation biochimique

La méthode de Kjeldahl nous a permis de déterminer la teneur en protéines pour toute la collection de génotypes étudiés (Tab.XIV).

- Les différents génotypes étudiés ont montré une distribution normale symétrique sur la base de leur teneur en protéine (Fig.10).
- La teneur en protéine a varié entre un minimum de 17,73% enregistré chez le génotype S130458 et un maximum à 30,85% chez le génotype ICABN-P38.

Tableau XIV : Liste des dix génotypes qui ont montré la teneur en protéine la plus élevée

Génotypes	Teneur en protéine (%)
ICABN P38	30,85
S130129	30,83
S130037	30,81
S130352	30,74
S130021	30,54
S130086	30,26
S130087	30,24
S130053	30,17
S130112	30,12
S130221	30,12

Tableau XV : Liste des dix génotypes qui ont montré la teneur en protéine la plus faible.

Génotypes	Teneur en protéine (%)
S130458	17,73
S130147	18,32
S130166	18,39
S130489	18,79
S130496	18,79
S130439	18,86
S130383	19,23
S130425	19,30
S130001	19,48
S130502	19,50
Minimum par rapport à l'ensemble des échantillons	17,73
Maximum par rapport à l'ensemble des échantillons	30,85
Moyenne par rapport à l'ensemble des échantillons	24,9
Asymétrie par rapport à l'ensemble des échantillons	-0,066

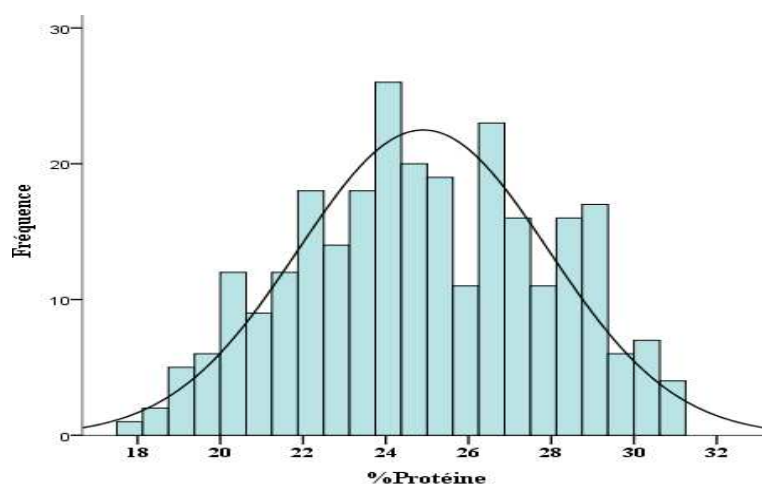


Figure 11 : Distribution des fréquences de la teneur en protéine des génotypes étudiés

IV. Etude de la corrélation entre les caractères technologiques, la teneur en éléments minéraux et des protéines

Pour démontrer les associations potentielles entre les caractères technologiques, la teneur en éléments minéraux et des protéines, des corrélations par paires ont été effectuées.

L'analyse du tableau XVI a permis les constatations suivantes :

- Une corrélation positive hautement significative a été observée entre la teneur des protéines et la teneur du phosphore ;
- Une corrélation positive significative entre la teneur des protéines et la teneur en fer ;
- Une corrélation négative hautement significative entre la teneur des protéines et les teneurs de zinc, de sélénium et de manganèse.

Tableau XVI : Corrélations entre la teneur des protéines et les teneurs en éléments minéraux

	Fe	Zn	Se	P	Mn	K	Ni	Cu	Ca	Ba	Mg
%Pr	0,118*	-0,21**	-0,18**	0,26**	-0,17**	-0,1	0,02	-0,12*	-0,04	-0,06	-0,11

*la corrélation est significative au niveau de 5% ; ** la corrélation est hautement significative au niveau de 1%.

Les corrélations entre la teneur en protéines et les caractères technologiques sont illustrées dans le tableau XVII. L'analyse de ces valeurs montre :

- Une corrélation positive hautement significative entre la teneur des protéines et l'aire, la longueur et la largeur des graines ;
- Une corrélation positive significative entre la teneur des protéines et le périmètre des graines ;

- Une corrélation négative hautement significative entre la teneur des protéines et la couleur ch1 des graines.

Tableau XVII : Corrélations entre la teneur en protéines et les caractères technologiques

	A	Pe	L	La	ch1	ch2	ch3
%Pr	,183**	,139*	,159**	,195**	-,208**	-,071	-,065

*la corrélation est significative au niveau de 5% ; ** la corrélation est hautement significative au niveau de 1%.

En ce qui concerne les éléments minéraux, leurs corrélations sont résumées dans le tableau XVIII. L'analyse de ces données permis de déduire les conclusions suivantes :

- Une forte corrélation positive hautement significative a également été enregistrée entre la teneur en manganèse et les teneurs en zinc, barium et magnésium ;
- Une corrélation positive hautement significative a été observée entre plusieurs éléments notamment
 - ✓ entre la teneur en fer et la teneur en manganèse ;
 - ✓ entre la teneur en zinc et les teneurs potassium et de magnésium ;
 - ✓ entre la teneur en potassium et les teneurs de manganèse, cuivre et de barium;
 - ✓ entre la teneur en barium et les teneurs de nickel et de cuivre ;
 - ✓ entre la teneur en nickel et les teneurs de calcium et de phosphore ;

Par contre, une absence de corrélation a été enregistrée entre la teneur en fer et la teneur en zinc.

Tableau XVIII : Corrélations des teneurs des minéraux entre eux.

	Fe	Zn	Se	P	Mn	K	Ni	Cu	Ca	Ba	Mg
Fe	1	,021	-,088	,139	,173	,026	-,110	-,179	,030	-,156	-,002
Zn	,021	1	-,025	-,068	,340	,169	,102	-,024	,097	,051	,272
Se	-,088	-,025	1	-,251	,096	,098	-,123	,021	-,298	,127	,073
P	,139*	-,068	-	1	,176	-,190	,179	-,297	,053	-,169	-,176
Mn	,173**	,340**	,096	-	1	,241	,067	,004	,119	,512	,412
K	,026	,169**	,098	-,176**	,241**	1	-,178	,203	,107	,174	,009
Ni	-,110	,102	-,123*	,179**	,067	-,178**	1	-,048	,199	,260	-,010
Cu	-	-,024	,021	-,297**	,004	,203**	-,048	1	-,002	,270	,098
Ca	,030	,097	-	,053	,119*	,107	,199**	-,002	1	,130	-,055
Ba	-	,051	,127*	-	,512**	,174**	,260**	,270**	,130*	1	,144
Mg	-,002	,272**	,073	-	,412**	,009	-,010	,098	-,055	,144*	1

*la corrélation est significative au niveau de 5% ; ** la corrélation est hautement significative au niveau de 1%.

L'association entre la teneur des minéraux et les caractères technologiques ont été également analysé (Tab. XIX). L'analyse de ce tableau a permis les constatations suivantes :

- Une corrélation négative hautement significative entre taille (l'aire, le périmètre, et la longueur) des graines et les teneurs de zinc, manganèse et de magnésium ;
- Une corrélation négative hautement significative entre la largeur des graines et les teneurs de zinc et de magnésium ;
- Une corrélation négative hautement significative entre la couleur des graines ch1 et les teneurs de nickel, de calcium, et de barium et entre la couleur ch3 et la teneur du cuivre ;
- Une corrélation positive hautement significative entre la couleur des graines ch1 et les teneurs de fer, zinc, sélénium et de magnésium, entre la couleur ch2 et les teneurs de fer et de zinc et entre la couleur ch3 et la teneur en zinc.

Tableau XIX : Corrélations entre les caractères technologiques et les teneurs des minéraux

	Fe	Zn	Se	P	Mn	K	Ni	Cu	Ca	Ba	Mg
A	-,122*	- ,243**	-,041	-,042	- ,166**	,074	-,086	,055	,021	,064	- ,198**
Pe	-,106	- ,210**	-,028	-,091	- ,142**	,067	-,093	,052	,006	,047	- ,161**
L	-,116*	- ,238**	-,050	-,048	- ,188**	,058	-,083	,039	,000	,052	- ,186**
La	-,136*	- ,255**	-,036	-,046	-,125*	,048	-,102	,094	,033	,074	- ,178**
Ch1	,4227**	,164**	,171**	- ,115*	,126*	- ,005	- ,215**	-,033	- ,207**	- ,279**	,233**
Ch2	,185**	,209**	-,008	,064	,122*	,051	-,002	-,139*	-,096	-,141*	,144*
Ch3	,147*	,245**	,005	,071	,122*	,084	,003	- ,153**	-,104	-,143*	,128*

*la corrélation est significative au niveau de 5% ; ** la corrélation est hautement significative au niveau de 1%.

CHAPITRE IV : DISCUSSION

Dans un contexte international et un engagement mondial dans une stratégie qui vise, en plus de la sécurité alimentaire, une approche de sécurité nutritionnelle de la population mondiale future. C'est dans ce contexte que le programme d'amélioration génétique du pois chiche à l'ICARDA s'est orienté, en plus des performances agronomiques et résistance aux différents stress, à la sélection de matériel génétique de bonne qualité nutritionnelle. Une collection de 300 génotypes de pois chiche type Kabuli ont fait l'objet d'une analyse de leur propriété physique, chimique et biochimique. Les résultats ont montré une importante variabilité génétique entre les différents génotypes de la collection étudiée en termes de caractéristiques technologiques et valeur nutritionnelle.

Dans la présente étude, la longueur des graines variait de 7,19 mm à 11,18 mm et la largeur variait de 6,12mm à 8,39mm. Des résultats similaires étaient également observés par Ghadge *et al.*, 2008.

Généralement, il est admis que la qualité des graines des pois chiche est influencée par la taille des graines (Nagabhushana *et al.*, 1992), par la couleur des graines (Indrakumar *et al.*, 2009). De même, les caractéristiques biochimiques des graines sont influencées par la couleur des graines (Indrakumar *et al.*, 2009) et par leur taille (Anuradha *et al.*, 2009)

Les caractérisations chimiques et biochimiques des graines sont essentielles pour les programmes de sélection et d'amélioration de la qualité nutritionnelle des graines. Il semble que les carences en fer, en zinc et en sélénium sont les plus rencontrées.

Nos valeurs des teneurs en zinc sont supérieures à celle du Fer. Des résultats similaires chez le pois chiche ont été rapportées dans la littérature (Kaur *et al.*, 2016).

Par contre, les teneurs du fer étaient inférieures à celles mentionnées dans la littérature (Viveros *et al.*, 2001; Agricultural Research Service, 2008).

Le fer et le zinc jouent un rôle crucial dans la croissance et le développement de l'être humain. La carence du premier oligoélément est généralement associée à plusieurs troubles physiologiques, y compris l'anémie ferriprive, fatigue, fonctions cognitives, syndrome des jambes sans repos, perte de cheveux et insuffisance cardiaque chronique (Cozon, 2014).

Tandis que, pour le second, sa carence entraîne un retard de croissance, un dysfonctionnement de la réponse immunitaire à médiation cellulaire et une déficience cognitive (Ananda, 2014).

La recherche des génotypes à forte concentration en zinc et en fer est l'un des principaux objectifs des programmes de sélection. Cependant aucune corrélation positive entre ces deux oligoéléments n'a pas été observée. Le même résultat a été signalé par Rosalind A et *al.*, 2011. De même pour le sélénium, qui joue un rôle essentiel dans la croissance et le développement harmonieux de l'organisme, il est moins abondant dans les graines de pois chiche étudiées. Petterson et *al.*, 1997 ont trouvé le même résultat. Comme les autres oligoéléments, une carence en sélénium a des conséquences cardiovasculaires bien établies, notamment sur le fonctionnement myocardique. En effet, son rôle essentiel intervient en modulant le transport actif du calcium. De plus, il participe dans la protection du tissu endothélial contre l'accumulation des radicaux libres (Briel et *al.*, 1997).

Pour les protéines, Les teneurs enregistrées dans nos échantillons sont similaires à celles rapportées dans la littérature (Harsha., 2014 et Wood., 2007).

Au niveau du corps humain, les protéines alimentaires constituent une source d'acides aminés pour synthétiser des nouvelles protéines, réparer et remplacer les tissus et également pour synthétiser des enzymes, des anticorps et des hormones.

La composition en acides aminés du pois chiche est bien équilibrée, à l'exception des acides aminés soufrés limités (méthionine et cystéine), mais riche en lysine. Par conséquent, le pois chiche est un complément idéal pour les céréales, qui sont riches en acides aminés soufrés, mais pauvres en lysine (Wood et Grusak 2007).

CONCLUSION

Améliorer les conditions de vie et les moyens de subsistances des populations pauvres des régions arides est une des missions principale de l'ICARDA. Le développement de nouveau matériel génétique avec une bonne qualité nutritionnelle est devenu une priorité afin de substituer les protéines de source animale devenues très chères et fournir une solution qui répond aux problèmes de carences en oligo-éléments rencontrés dans plusieurs régions du monde notamment chez les enfants. Le pois chiche figure parmi les légumineuses les plus consommées dans le monde. L'étude a été focalisée sur la caractérisation de la qualité nutritionnelle (caractérisation technologique- morphologique, chimique et biochimique) d'une collection de lignées avancées de pois chiche Kabuli. Les résultats ont montré une variabilité hautement significative entre les différents génotypes testés. Pour ce qui des éléments minéraux présents dans les graines de cette collection, il en ressort que le potassium est l'élément le plus abondants. Des variations génotypiques hautement significatives ont été relevées pour les teneurs en fer, zinc, manganèse, nickel et de barium. Nous avons également constaté une importante variation de la teneur en protéine allant d'un minimum de 17,73% chez le génotype S130458 à un maximum de 30,85 % chez le génotype ICABN P38. Les résultats ont, par ailleurs, montré que 47.98% des génotypes testés ont montré une teneur en protéine supérieur à 25%. Seulement 4.01% des génotypes ont montré une teneur en protéine supérieur à 30%. Ces derniers peuvent être utilisés comme géniteurs dans les programmes futurs d'hybridation afin de pouvoir coupler la bonne qualité nutritionnelle avec les performances agronomiques et la résistance aux contraintes majeurs.

Ce travail nous a également permis d'étudier les corrélations entre les différents paramètres. La teneur des protéines et la teneur en fer sont corrélées. Par contre une absence de corrélation a été relevée entre les teneurs de fer et les teneurs de zinc et de sélénium. Il en ressort que des génotypes riches en fer sont également riche en protéine, cependant ils contiendront de faibles quantités de zinc et de sélénium. Les génotypes de cette collection qui sont riches en éléments minéraux et/ou en protéines seront utiles en tant que matériel parental pour développer des cultivars améliorés de pois chiches à haut potentiels nutritionnelles. Dans le même contexte, il serait important de procéder également à une caractérisation des autres propriétés technologiques du pois chiche afin de valoriser son utilisation dans l'industrie agroalimentaire. En effet nous envisageons étudier la capacité d'absorption de l'eau et le temps de cuisson des graines de cette collection. L'ensemble des résultats que nous obtiendrons pourra constituée

une base de données pour l'amélioration de la qualité nutritionnelle et technologique des graines de pois chiche Kabuli.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Akem C. (1999). Ascochyta blight of chickpea : Present status and future priorities. *Int. J. Pest Manag.* 45: 131-137

Agricultural Research Service (2005) USDA National Nutrient Database for Standard

Ammar S. Abdalla, Migdam E. Abdelgani and Awad G. Osman (2013). Effects of Biological and Mineral Fertilization on Yield, Chemical Composition and Physical Characteristics of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Seeds. *Pakistan Journal of Nutrition*, 12:1-7.

Ananda S. Prasad (2014). Impact of the discovery of human zinc deficiency on health. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, Vol28, Issue 4, P 357-36

Anuradha R., Balamurugan P., Srimathi P and Sumathi S. (2009). Influence of seed size on seed quality of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Legume Res*, 32:2

Asha and Hans R. Dhingra. (2007). Salinity mediated changes in yield and nutritive value of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds. *Indian J. Plant Physiol*, 12:3

Ashraf, M. and Waheed, A. (2013) .Responses of some genetically diverse lines of chickpea(*Cicer arietum* L.) to salt.Plant Soil, 154(2):257-266.

Balyan, R. S, Malik. R. K, Vedwan R. P. S and Bhan V. M. (1987). Chemical weed control in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Tropical Pest Management*, 33(1), 16-18. Bhargava P. K, Khare M.N. (1988). Epidemiology of alternaria blight of chickpea. *Indian Phytopathol*, 41:195-198

Bhargava P. K.(1995). Impact of seed transmission of *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler on seed quality and yield of Chickpea. *Indian Phytopathol*, 48 (3): 285-288.

Behboudian, M. Hossein , Qifu Ma Neil, Turner Jairo and Palta, A. (2001). Chickpea reactions to water stress: yield and seed composition. 81(13):1288-1291

Boughribil S, Abdelly, C, Lachaal, M and Soltani, A. (1998). Nutrition minérale de deux variétés de haricot en milieu salé : relation avec le mode de nutrition azotée. Bulletin scientifique de la Faculté des Sciences de Tunis – Tunisie.

Brady, C.J, Gibson, T.S, Barlow, E.W.R, Speirs, J. and Wyn Jones, R.G. (1984). Salt tolerance in plants. Ions, compatible organic solutes and the stability of plant ribosomes. *Plant Cell Environ*, 1: 571-578.

Briel A, Veber B. and Dureuil B. (1997). Carence en sélénium favorisant la survenue d'une défaillance cardiaque après un polytraumatisme. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation*, V16, Issue 7, P 911-91

Cozon G.JN. (2014). Carence en fer et troubles digestifs transfusion clinique et biologique. 21(4-5) :189-192

De Candolle Alphonse (1886). Origine des plantes cultivées.

Food and Agriculture Organization of the United Nations(FAO). (2015). Les légumineuses: qu'est-ce que c'est?

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2016). Les bienfaits pour la santé des légumineuses.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017). Les légumineuses pour la sécurité alimentaire et nutritionnelle Comment tirer le meilleur parti de leur potentiel?

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017). L'état de la sécurité alimentaire et de la nutrition dans le monde.

Ghadge P. N, Vairagar P. R. and Prasad K. (2008). Some Physical Properties of Chickpea Split (*Cicer arietinum* L.) *Agricultural Engineering International : the CIGR Ejournal. Manuscript*, Vol.10.

Gaur PM, Tripathi S, Gowda C.L, Ranga Rao G.V, Sharma H.C, Pande S and Sharma M. (2010). Chickpea Seed Production Manual. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 28 pp.

Gil, J. and Cubero, J. (2006). Inheritance of Seed Coat Thickness in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and its Evolutionary Implications . *Plant Breeding*, Vol. 111.

Godfray, HC, Beddington, JR, Crute IR, Haddad L, Lawrence D, Muir JF, Jolie J, Robinson S, Thomas SM, and Toulmin C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327, 812–818.

Gowda, C.L.L., Rao, B.V., Chopra, S. (1987). Utility of desi × kabuli crosses in chickpea improvement. *Int. Chickpea Newsl*, 17 :4–6.

Hakoomt Ali, Muhammad Azam K. and Shakeel Ahlad R. (2004) Interactive Effect of Seed Inoculation and Phosphorus Application on Growth and Yield of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) *Int. J. Agri. Biol*, 6 :1.

Harendra Singh, Pratibha Singh, R.P. Singh and Mritunjay Tripathi. (2014). Biochemical and Molecular Studies on Rhizobium Inoculated Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genotypes Grown in Eastern U.P. *American Journal of Biochemistry and Molecular Biology* 4: 86-92.

Harsha Hirdyani. (2014). Nutritional composition of Chickpea (*Cicerarietinum*-L) and value added products - a review. *Indian J Comm Health*, vol 26.

Haware M.P. and Nene Y.L. (1981). Phoma blight: A new disease of chickpea. *Plant Disease* 65:282-282.

Haware M.P, Nene Y.L. and Mathur S.B. (1986). Seed borne diseases of chickpea. *Technical Bulletin of the Institute of Seed Pathology for Developing Countries* 1:8-15

ICRISAT, (1990). Chickpea in The nineties proceeding of the 2nd International workshop on chickpea improvement, ICRISAT Center, India, Patancheru, AP 502, 324, India.

Indrakumar Singh. N., Seema Ali and Chauhan J S. (2009). Effect of seed size on quality within seed lot of pea and correlation of standard germination, vigour with field emergence test. *Nature and Sci.*, 7(4): 1545-0740.

Kaur Satvir, Sarbjit Kaur, Anil K Gupta and Jagmeet Kaur. (2016). Physiochemical and nutritional attributes of raw and soaked seeds of chickpea (*Cicer arietinum* L.)

Khouader M., Benkirane R., Touhami A.T., and Douira A. (2013). Étude de quelques Pucciniales liés aux plantes cultivées au Maroc. *Journal of Applied Biosciences*, 72: 5869–5882.

Knights, E.J and Mailer, R.J. (1989). Association of seed type and colour with establishment, yield and seed quality in chickpea (*Cicer arietinum*). *Journal of Agricultural Science*, 113: 325–330.

Jana, S. and Singh, K.B, (1993). Evidence of geographical divergence in kabuli chickpea from germplasm evaluation data. *Crop Science*, 33: 626-632.

Jendoubi, W., Bouhadida, M., Boukteb, A., Béji, M., and Kharrat, M. (2017). Fusarium Wilt Affecting Chickpea Crop. *Agriculture*, 7(3), 23.

Jisha K.C, Vijayakumari Jos K and T. Puthur, (2013). Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(5):1381-1396.

La France agricole (2017) production de légumineuses en hausse.

Ladizinsky, G. (1975). A new *Cicer* from Turkey. *Notes from the Royal Botanical Garden Edinburgh* 34: 201-202.

Ladizinsky G, and Abbo S. (2015). The Search for Wild Relatives of Cool Season Legumes. *Plant Science*.

Mahmudul Haque, Madhvi Pathak. N.A, Ansari Subodh S and Tewari J.P, (2009) Effect of water stress on growth and seed yield of different varieties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) *International Journal of Plant Sciences*, Vol. 5 Issue 1 : 38-39

Maphosa .Y and Jideani V. (2017). The Role of Legumes in Human Nutrition. In the book: *Functional Foods - Improving Health Through Adequate Food*.

Mohd Shahid, Anuradha Sindh, Mukesh Srivastava, Sachan.C.P and Biswas S.K. (2011). Effect of Seed treatment on germination and vigour in chickpea. *Trends in Biosciences*, 4: 2

Muthomi J.W, Otieno P.E, Chemining'wa.G.N, Nderitu. J.H. and Wagacha. J.M. (2008). Effect of Chemical Spray on Insect Pests and Yield Quality of Food Grain Legumes. *Journal of Entomology*, 5: 156-163.

Nagabhushana. G.G ; Nadagoudar.B.S ; Manjunatha.M and Thimmaiah G, (1992), Effect of seed size on germination and seedling vigour of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Karnataka J. Agric. Sci.*, 5(2): 121-124

Nene, Y.L and Reddy, M.V. (1987). Chickpea diseases and their control. In: Sexena MC, Singh KB, eds. *The Chickpea*. Wallingford, UK: CAB International, 233–370

Nene, Y.L, Reddy M.V. and Haware, M.P. (1991). Field Diagnosis of Chickpea Diseases and their Control. Information Bulletin No.28. India: International Crops Research Institute for the SemiArid Tropics. 52 pp

Nene Y.L., Sheila V.K. and Sharma S.B. (1996). A world list of chickpea and pigeonpea pathogens. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the SemiArid Tropics.

Nene, Y.L, Reddy M.V., Haware M.P. and Ghanekar A.M. (2012). Field Diagnosis of Chickpea Diseases and their Control. Information Bulletin No. 28. Patancheru, A.P. 502 324, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 60 pp.

Njambere, E.N, Chen W, Pullman WA, and Frate C. (2007). Cultural and DNA-based identification of *Sclerotinia trifoliorum* infecting chickpea in the U.S. *Pisum Genetics*, vol. 39., 2 pp.

Pascale Mollier. (2014). *Le poids des légumineuses*, INRA –France.

Peterson, D.S, Sipsas, S .and Mackintosh, J.B. (1997). *The Chemical Composition and Nutritive Value of Australian Pulses*, 2nd ed. Grains Research and Development Corporation, Kingston, Australia.

Pritam Bhutada. (2015). Effect of herbicides & cultural practices on soil microbial population in chickpea (*cicer arietinum*) *Green Farming Int. J* vol 6 no5.

Pundir P.S.R, Mengesha, H.M. and Reddy, K. (1990). Leaf types and their genetics in chickpea (*Cicer arietinum* L.) (Vol. 45).

Rosalind A. Bueckert, Dil Thavarajah, Pushparajah Thavarajah and Janet Pritchard, (2011). Phytic acid and mineral micronutrients in field-grown chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars

from western Canada. *European Food Research and Technology*. Volume 233, Issue 2, pp 203–212

Saroja D G M, (2012) Effect of fungicides on seed mycoflora and seed germination of chickpea *Indian Journal of Plant Protection*, 40(2): 150-152.

Schwinghamer M.W and Larsen R.C. (2011). Viruses reported to infect chickpea and/or lentil naturally. In: Chen W, Sharma HC, Muehlbauer FJ (eds) *Compendium of chickpea and lentil diseases and pests*. APS Press, St. Paul, MN, USA, pp 73–76.

Shiferaw B, Jones R, Silim S, Teklewold H and Gwata E. (2007). Analysis of production costs, market opportunities and competitiveness of Desi and Kabuli chickpeas in Ethiopia. IPMS Working Paper 3. ILRI, Addis Ababa, Ethiopia. 48 pp.

Shroeder B.K. (2011). Diseases caused by bacteria and phytoplasma. In: Chen W, Sharma HC, Muehlbauer FJ (eds). *Compendium of chickpea and lentil diseases and pests*. APS Press, St. Paul, MN, USA, pp 92-94.

Slama F., (1998), *Les cultures industrielles et les légumineuses à graines*. Tunis: Ed. CUD

Sohrabi, Y., Heidari, G. and Esmailpour, B. (2008). Effect of Salinity on Growth and Yield of Desi and Kabuli Chickpea Cultivars (Vol. 11)

Tadele Tefera (2006). Effect of common bacterial blight severity on common bean yield. Vol,46 p41-44

Tariq S, Fareed A. and Nauman M (2016). Yield and Quality Response of Chickpea Cultivars to Different NPK Levels. *Austin Food Sci.*; vol 1(4): 101

Upadhyaya H.D. (2003). Geographical patterns of variation for morphological and agronomic characteristics in the chickpea germplasm collection. *Euphytica*, 132: 343–352.

Van der Maesen, LJG (1987). Origin, history and taxonomy of chickpea. p.11-34

Vavilov, N.I. (1926). Studies on the origin of cultivated plants. Leningrad, pp. 129, 238.

Venkatesh, M. S. and Basu, P. S. (2011). Effect of foliar application of urea on growth, yield and quality of chickpea under rainfed conditions (Vol. 24). *Journal of Food Legumes*, 24(2): 110-112.

Viveros, A, Brenes ,A, Elices, R, Arja, I. and Canales, R.(2001). Nutritional value of raw and autoclaved kabuli and desi chickpeas(*Cicer arietinum* L.) for growing chickens.British Poultry Science 42,242-251.

Williams P.C. and Singh U. (1987). Nutritional quality and the evaluation of quality in breeding programmes. In: Saxena MC, Singh KB (eds) *The chickpea*. CAB International, Wallingford, pp 329–390.

Wood, J. and Grusak, M. (2007). Nutritional Value of Chickpea. In book: Chickpea Breeding and Management, Chapter: 5. Nutritional Value of Chickpea, Publisher: CAB International, Editors: S. S. Yadav, R. Redden, W. Chen, B. Sharma, pp.101-142.

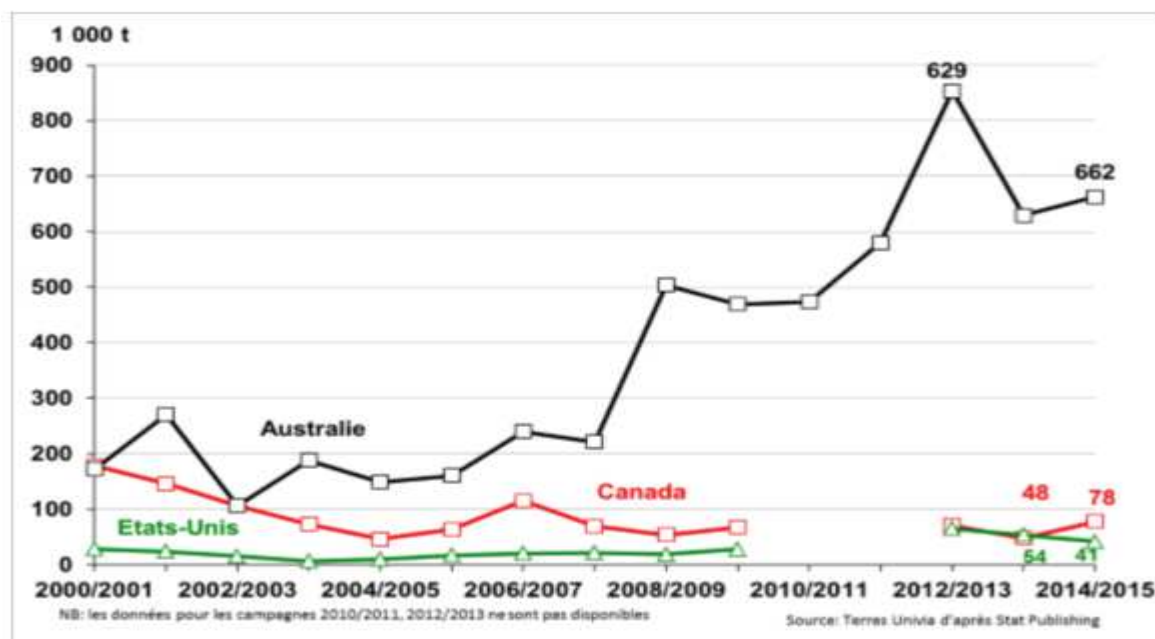
Annexe 1: Apports nutritionnels conseillés (Anses)

A. Apports énergétiques conseillés pour la population pour un niveau moyen d'activité			
	Âge (ans))	Poids (kg)	Énergie (kcal)
Hommes	20–40	70	2700
	41–60	70	2500
Femmes	20–40	60	2200
	41–60	60	2000
Seniors	60–75	36/kg de poids corporel	36/kg de poids corporel

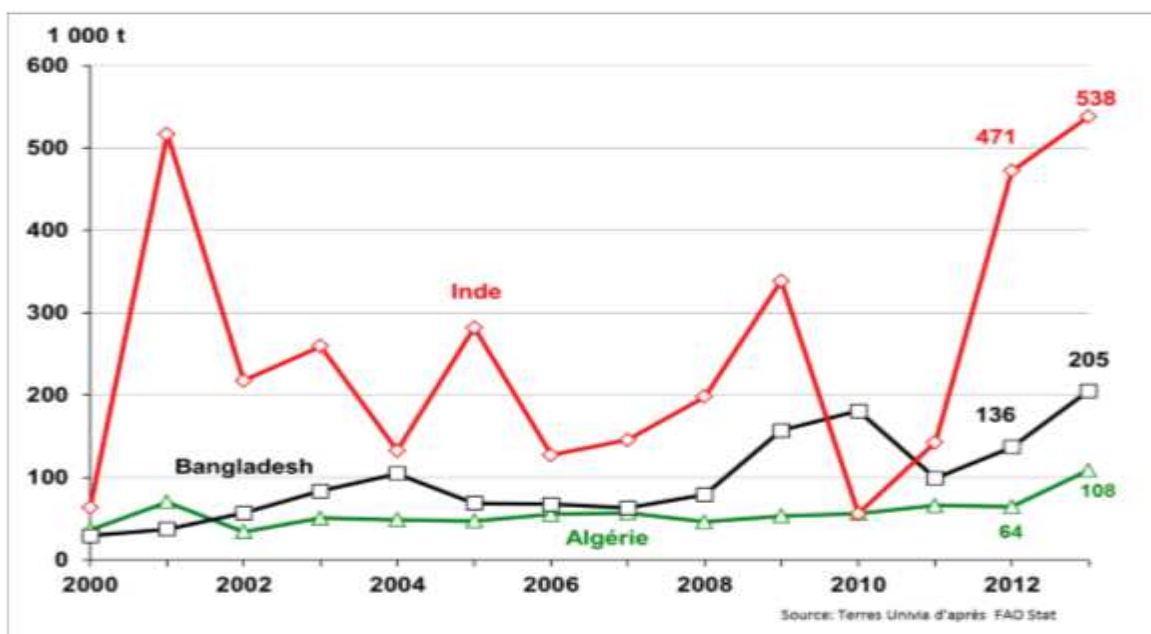
B. Vitamines										
	B1	B2	PP	B6	B9	B12	C	A	D	E
Hommes adultes	1,3 mg	1,6 mg	14 mg	1,8 mg	330 µg	3,4 µg	110 mg	800 µg	5 µg	12 mg
Femmes adultes	1,1 mg	1,5 mg	11 mg	1,5 mg	300 µg	2,4 µg	110 mg	600 µg	5 µg	12 mg
Femmes enceintes	1,8 mg	1,6 mg	16 mg	2 mg	400 µg	2,6 µg	120 mg	700 µg	10 µg	12 mg
Personnes âgées	1,2 mg	1,6 mg	14 mg	2,2 mg	350 µg	3,0 µg	120 mg	700 µg	10–15 µg	20–50 mg

C. Minéraux et oligoéléments							
	Ca	P	Mg	Fe	Zn	I	Se
Hommes adultes	900 mg	750 mg	420 mg	9 mg	12 mg	150 µg	60 µg
Femmes adultes	900 mg	750 mg	360 mg	16 mg	10 mg	150 µg	50 µg
Femmes enceintes	1000 mg	800 mg	400 mg	30 mg	14 mg	200 µg	60 µg
Personnes âgées	1200 mg	800 mg	400 mg	10 mg	12 mg	150 µg	80 µg

Annexe 2 : Commerce International



Graphique 1: Exportations des 3 principaux pays exportateurs de Pois Chiches dans le monde



Graphique 2: Importations des 3 principaux pays importateurs de Pois Chiches dans le monde

Annexe 3 : Les étapes de la minéralisation (digestion) pour le dosage des minéraux

- Des échantillons de graines finement broyés (500 mg) ont été placés dans des tubes de digestion individuels.
- 8 mL d'acide nitrique concentré (70%) (HNO_3) ont été ajoutés à chaque tube de digestion et laissés pour la nuit.
- Les tubes de digestion ont été placés dans un bloc de digestion à 90 ° C pendant une heure, et ils ont été agités à 15 et 45 minutes.
- 3 mL de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) à 30% ont ensuite été ajoutés à chaque tube. Les tubes ont été replacés dans le bloc de digestion à 90 ° C.
- Après digestion complète (le temps requis pour une digestion complète a été déterminé dans des expériences de laboratoire antérieures, la digestion complète est indiquée par le changement de coloration du filtrat qui devient incolore)
- Retirer les tubes du bloc de digestion et laisser refroidir à température ambiante.
- Filtrer le digest (papiers Whatman)
- Diluer 1:10 avec HCl 6M

Annexe 4 : Les étapes de la minéralisation (digestion) pour le dosage de l'Azote total

A. Préparation de la solution de stock acide sulfurique-sélénium

1. Peser 3,5 g de sélénium (Se) en poudre
2. Soigneusement et lentement versé 1 L d'acide sulfurique concentré (95-97%) dans un bécher de 2 L
3. Transférer la poudre de sélénium dans ce bécher
4. Dissoudre le sélénium en chauffant le bécher pendant 4-5 heures à 300 ° C. la couleur noire originale de la solution se transforme en bleu foncé en jaune clair
5. Laissez la solution refroidir
6. Mélange de digestion

B. Préparation de la solution de digestion

1. Peser 10,80 g d'acide salicylique
2. Ajouter l'acide salicylique à 150 mL de la solution de stock acide sulfurique-sélénium
3. Dissoudre en remuant
4. Cette solution est stable pendant 48 heures seulement.

C. Procédure de minéralisation

1. Peser 0.300 g des échantillons de graines finement broyés dans un tube de digestion de 75ml
2. Ajouter 2,5 mL de la solution de digestion
3. Laisser reposer toute la nuit
4. Insérer les tubes de digestion dans le bloc de digestion
5. Chauffer le bloc de digestion à 100 ° C
6. Laisser les tubes durant 2 heures à 100 ° C
7. Retirer les tubes de digestion du bloc et laisser refroidir
8. Lentement et soigneusement ajouter 1 mL de peroxyde d'hydrogène (30%) dans chaque tube de digestion
9. Mélanger soigneusement le contenu des tubes
10. Après la fin de la réaction, répétez les instructions n °8 et 9
11. Placer les tubes de digestion dans le bloc de digestion et chauffer à 230 ° C pendant 1 heure répéter les instructions n°7, 8, 9, et 10
12. Replacer les tubes de digestion dans le bloc de digestion et chauffer à 230 ° C
13. Après digestion complète (le filtrat incolore), retirez les tubes du bloc de digestion et laissez-le refroidir.
14. Prélever 1 mL du filtrat et diluer le avec de l'eau distillée jusqu'au volume final de 50 mL.

Annexe 5 : Détermination colorimétrique de l'ammonium-N

A. Préparation des réactifs

➤ **Solution tampon**

Peser 26.4 g de $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ et dissoudre dans 600 mL d'eau distillée
Ajouter 50 g de Na-K tartrate de K Na. Rajouter 108 g de NaOH à 50%.
Compléter à 1 L avec de l'eau distillée.

➤ **Solution de Na Salicylate-Na nitroprussiate**

Dans une fiole de 1000 mL, dissoudre 150 g de Na salicylate et 0,30 g de Na nitroprussiate et compléter à 1 L avec de l'eau distillée. A conserver à l'abri de la lumière.

➤ **Solution d'hypochlorite**

Diluer 6 mL d'hypochlorite de sodium à 5,25% jusqu'à 100 mL. A préparer au moment de l'utilisation car il n'est pas stable.

➤ **Solution standard d'azote**

Dans une fiole de 1000 mL, dissoudre 4,715 g de sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dans 1 L d'eau distillée pour préparer une solution stock contenant 1000 mg N/ L.
Utiliser cette solution pour préparer des standards contenant 5, 10, 15 ; 30, 40 et 50 mg N/L

B. Procédures

- Prélever 1 mL du filtrat de digestion dilué dans un tube à essai
- Ajouter 5,5 mL de la solution tampon et mélanger avec le vortex
- Ajouter 4 mL de la solution de Na Salicylate-Na nitroprussiate, et bien mélanger
- Ajouter 2 mL de la solution d'hypochlorite et bien mélanger
- Laisser reposer pendant 15 minutes à 37 ° C pour assurer le développement complet de la coloration.
- Chaque échantillon doit être agité avec le vortex avant la détermination colorimétrique
- Lire l'absorbance dans un spectrophotomètre en utilisant une longueur d'onde de 650 nm

RESUME

Les maladies et les complications de santé causées par la carence en éléments minéraux affligent des milliards de personnes dans le monde. Le pois chiche comme toutes les légumineuses alimentaires constitue une source importante non seulement de protéines végétales beaucoup moins chères que celles d'origine animale mais, il est aussi riche en élément minéraux de bases telles que le Zinc et le Fer. Au total 300 génotypes de pois chiche de type Kabuli ont fait l'objet d'une caractérisation. L'objectif de cette étude était d'effectuer une caractérisation de la qualité nutritionnelle d'une collection de 300 génotypes de pois chiches Kabuli (*Cicer arietinum* L.). La caractérisation technologique des graines a révélé des variations hautement significatives au sein de la collection pour la taille et la couleur des graines (ch2 et ch3). Pour ce qui des minéraux présents dans les graines de cette collection, il en ressort que le potassium est l'élément le plus abondant suivi du phosphore, du calcium et du magnésium. Les teneurs de fer étaient inférieures à ceux du zinc. Une variation génotypique hautement significative a été observée pour la teneur en fer, zinc, manganèse, nickel et de barium. De même, une variation importante a été enregistrée entre les génotypes testés pour leur teneur en protéine. En effet, 47.98% des génotypes testés ont montré une teneur en protéine supérieur à 25%. Des corrélations positives significatives ont été observées entre la teneur en protéines et la teneur en fer.

Mots clés : *Cicer arietinum* L.; qualité nutritionnelle ; teneur en protéines ; éléments minéraux.