

N° d'ordre :
Burkina Faso

Unité- Progrès - justice

Ministère des Enseignements
Secondaire et Supérieur (M.E.S.S)

Université Polytechnique de
Bobo-Dioulasso (U.P.B)



Unité de Formation et de Recherche
en Sciences et Techniques
(U.F.R/S.T)

Filière : Génie Biologique

Ministère de la Recherche Scientifique
et de l'Innovation (M.R.S.I)

Centre National de la Recherche
Scientifique et Technologique
(C.N.R.S.T)

Institut de Recherche en Sciences
Appliquées et Technologies
(I.R.S.A.T)



Département Technologie Alimentaire
(D.T.A)

MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE

Pour l'obtention de la

LICENCE PROFESSIONNELLE EN GENIE BIOLOGIQUE

OPTION : AGRO-ALIMENTAIRE

THEME :

**Caractérisation physique et biochimique
de 12 variétés et 16 cultivars de tournesol
(*Helianthus annuus* L.)**

Présenté et soutenu par : RAMDE Richard

Maître de stage :

Dr Charles PARKOUDA

Directeur de mémoire :

Dr Paulin OUOBA

DEDICACE

A :

- ↳ *Mon grand-père RAMDE Pousga et ma grand-mère RAMDE Nopoko*
- ↳ *Mon père RAMDE Y. Jean-Paul et ma mère YAMEOGO K. Pauline*
- ↳ *Mon oncle RAMDE R. Alphonse et son épouse*
- ↳ *Mes frères et sœurs*

Pour m'avoir soutenu et accompagné dans ma quête de savoir. Puissiez-vous trouver dans ce présent travail, entière satisfaction et l'expression de ma profonde gratitude.

REMERCIEMENTS

Ce mémoire est le fruit du travail de recherche mené à l'Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT) au niveau du Département Technologie Alimentaire (DTA). Il rentre dans le cadre de réalisation des activités du projet valorisation des produits locaux (MRSI/ANVAR : sous projet valorisation Tournesol). Il ne saurait être réalisé sans les efforts des personnes à qui nous témoignons ici notre profonde gratitude.

Nous tenons à remercier particulièrement :

- Le Professeur Sado TRAORE, Directeur de l'UFR Sciences et Techniques, pour avoir autorisé la réalisation de ce stage.
- Le Dr Bréhima DIAWARA, Directeur de Recherche et Directeur de l'IRSAT, pour nous avoir acceptés dans sa structure
- Le Dr Hagrétou LINGANI/SAWADOGO, Maître de Recherche, Chef du Département Technologie Alimentaire, pour nous avoir acceptés dans sa structure et pour sa disponibilité à nous accompagner tout au long du stage.
- Le Dr Paulin OUOBA, notre directeur de mémoire qui n'a ménagé aucun effort pour nous soutenir dans la réalisation de ce travail. Puissiez-vous trouver ici l'expression de ma plus haute considération.
- Le Dr Charles PARKOUDA, Chargé de Recherche et notre maître de stage, pour l'encadrement et les multiples conseils dont nous avons tiré profit tout au long de notre stage.
- Mr Michel COMBARI, Responsable Technique du laboratoire d'analyses physico-chimiques pour son assistance permanente et ses précieuses orientations lors des analyses et interprétations des résultats.
- Tous les enseignants-chercheurs et le personnel administratif de l'UFR/ST pour leurs soutiens multiformes et les enseignements reçus lors de notre formation.
- L'ensemble des techniciens du laboratoire d'analyses de physico-chimiques : Mr Souleymane ZONGO, Mr Adama PARE, Mr Adama LODOUN, TRAORE Esther pour leur encadrement et soutien incessants.
- Tout le personnel du DTA, pour l'accueil et toutes les formes de contribution à notre formation pratique.

Nos remerciements vont aussi à l'endroit de tous mes camarades pour leur collaboration et leur entière participation.

Nous remercions également tous ceux qui, de loin ou de près par leur soutien et leur aide multiformes m'ont permis de parvenir à réaliser ce mémoire.

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AOAC : Association of Official Analytical Chemist International

CERCI : Centre d'Expérimentation du Riz et des Cultures Irriguées

CNRST : Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique

COFRAC : Comité Français d'Accréditation

DTA : Département Technologie Alimentaire

INERA : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles

INSD : Institut National de la Statistique et de la Démographie

IRHO : Institut de Recherches sur les Huiles et Oléagineux

IRSAT : Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies

ISO : International Organization for Standardization

IVRAZ : Institut Voltaïque de Recherches Agronomiques et Zootechniques

MG gr. Ent : Matière grasse graine entière

MG : Matière Grasse

NaOH : Hydroxyde de sodium.

NF : Norme Française

UE : Union Européenne

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme du Département Technologie Alimentaire (DTA)	5
Figure 2: Appareil végétatif aérien (<i>Helianthus annuus</i>).....	8
Figure 3: Capitule du tournesol.....	8
Figure 4 : Akènes de tournesol (Ramdé, 2014).....	9
Figure 5: Amande (a) de tournesol recouverte de tégument séparé de son péricarpe (p) (Ramdé, 2014)	9
Figure 6 : Structure d'un triglycéride d'acides gras (R1, R2, R3 désignent les chaînes carbonées d'acides gras).....	11
Figure 7 : Schéma de mesurage des rhizomes tubérisés (Aydin, 2007 ; Somé, 2014)	19
Figure 8 : Photos d'une prise de mesure avec un pied à coulisse Castorama (Ramdé, 2014). 19	
Figure 9 : Indice d'iode des huiles de tournesol	33
Figure 10 : Indice de saponification des huiles de tournesol	33
Figure 11 : Représentation graphique de l'ACP.....	37

LISTE DES TABLEAUX ET ANNEXES

Tableau 1 : Composition des graines de tournesol (%MS) (Kartika, 2005).....	10
Tableau 2 : Composition en acides gras de tournesol classique, oléique et mi-oléique (Morin, 2003).	12
Tableau 3 : Bilans 1995-2000 de la production, du marché et de l'utilisation des graines de tournesol (en millions de tonne) (Gunstone, 2002b ; Kartika, 2005)	12
Tableau 4 : Production mondiale (en millions de tonne) par pays des graines de tournesol pour la période de 2002/03 à 2011/12	13
Tableau 5 : Production des huiles de tournesol (en million de tonne) dans le monde pour la période 1996/97 à 2000/01 (Gunstone, 2002b; Kartika, 2005)	13
Tableau 6 : Production mondiale des huiles végétales pour la période de 2002/03 à 2011/12	14
Tableau 7 : Paramètres physiques des graines de tournesol étudiées (moyenne \pm écart type).....	27
Tableau 8 : Caractéristiques biochimiques des graines entières de tournesol étudiées	28
Tableau 9 : Caractéristiques biochimiques des amandes de tournesol	31
Tableau 10 : Classification des variétés et cultivars en fonction de la norme CODEX STAN 210-1999 pour l'indice d'iode.	34
Tableau 11 : Liste des variétés et cultivars ayant un indice de saponification en conformité avec la norme CODEX STAN 210-1999.....	35
Tableau 12 : Cultivars et Variétés sélectionnés en fonction des caractères retenus.	39
Annexe 1 : Mensuration des graines de tournesol (cultivars et variétés)	46
Annexe 2 : Résultats (moyennes + écart type) du poids de mille graines, de l'indice d'iode et de saponification des échantillons de tournesol analysés (cultivars et variétés).	47
Annexe 3 : Quelques représentations graphiques de l'analyse des composantes principales..	48

RESUME

La satisfaction des besoins en huile alimentaire du Burkina Faso en quantité et en qualité suffisante passe par la diversification des sources de cultures. Outre le coton, le tournesol (*Helianthus annuus* L.) est l'une des plantes oléagineuses les mieux indiquées pour apporter une contribution significative à cette question. Cependant une identification de variétés présentant de meilleures performances culturales couplées à une bonne valeur nutritionnelle est nécessaire. C'est dans cette optique que s'inscrit l'objet de la présente étude basée sur une analyse multivariée des paramètres physiques et biochimiques des graines et des huiles de 16 cultivars et 12 variétés de tournesol.

L'analyse des paramètres physiques des graines révèle un poids de mille graines compris entre $39,39 \pm 0,00$ g à $72,69 \pm 0,06$ g ; une longueur des graines allant de $9,27 \pm 0,93$ à $12,00 \pm 00$ mm ; une largeur de $5,04 \pm 00$ à $7,83 \pm 00$ mm et une épaisseur variant entre $3,04 \pm 00$ à $5,10 \pm 00$ mm. Il ressort des analyses biochimiques que les graines entières de tournesol ont une teneur en eau variant de $3,56 \pm 0,04\%$ à $5,04 \pm 0,02\%$; une teneur en cendres comprise entre $3,35 \pm 0,02\%$ à $6,56 \pm 0,03\%$; une teneur en matières grasses variant de $37,10 \pm 0,09\%$ à $45,66 \pm 1,16\%$ et un indice d'acide de $2,49 \pm 0,06\%$ et $8,72 \pm 0,11\%$. L'analyse des amandes a donné un indice d'acide compris entre $1,65 \pm 0,03$ et $4,87 \pm 0,08$ mg KOH/g et une fraction lipidique variant de $39,80 \pm 0,07\%$ à $52,24 \pm 0,24\%$. Les huiles extraites des graines entières et des amandes ont un indice d'iode compris entre $96,16 \pm 0,15$ et $118,31 \pm 0,02$ mg I₂/100 g et un indice de saponification de $186,16 \pm 0,98$ à $196,48 \pm 2,40$ mg KOH/g d'huile. A l'issue de cette étude, les cultivars C28, C34, C39, C87, C98, C99 et les variétés V1, V13, V14, V15 ont été retenus pour la sélection variétale. Du reste, les variétés et les cultivars étudiés présentent des caractéristiques biochimiques intéressantes et pourraient donc être valorisés au-delà de l'alimentation humaine.

Mots clés: Tournesol, *Helianthus annuus* L., graines, oléagineux, Burkina Faso.

ABSTRACT

The satisfaction of edible oil needs of Burkina Faso in quantity and quality requires the diversification of sources of cultures. Besides cotton, sunflower is one of the best plants shown to make a significant contribution to this. However an identification of crop varieties with better performance coupled with good nutritional value is necessary. It's in this context that joins the object of the present study based on a multivariate analysis of physical and biochemical parameters of seeds and oils from 16 cultivars and 12 sunflower varieties.

The analysis of the physical parameters of the seeds reveals a weight of thousand seeds between 39.39 ± 0.00 to 72.69 ± 0.06 g; length of seeds from 9.27 ± 0.93 to 12.00 ± 00 mm; a width of 5.04 ± 00 to 7.83 ± 00 mm and a thickness varying between 3.04 ± 00 to 5.10 ± 00 mm. It's leaves again of the biochemical analysis the whole seeds of sunflower have a moisture content varying from $3.56 \pm 0.04\%$ to $5.04 \pm 0.02\%$; an ash content of between $3.35\% \pm 0.02$ to $6.56 \pm 0.03\%$; a fat content which fluctuate from $37.10 \pm 0.09\%$ to $45.66 \pm 1.16\%$ and an acid value of $2.49 \pm 0.06\%$ and $8.72 \pm 0.11\%$. The analysis of almonds gave an acid value between 1.65 ± 0.03 and 4.87 ± 0.08 mg KOH /g and a lipid fraction which fluctuate from $39.80 \pm 0.07\%$ to $52, 24 \pm 0.24\%$. Oils extracted from whole seeds and almonds have an iodine value between 96.16 ± 0.15 and 118.31 ± 0.02 mg I₂/100 g and a saponification value of 186.16 ± 0.98 to 196.48 ± 2.40 mg KOH/g of oil. In the stemming from this study, cultivars C28, C34, C39, C87, C98, C99 and varieties V1, V13, V14, V15 were held for the varietal selection. Besides, varieties and cultivars studied have interesting biochemical characteristics and could therefore be valued beyond human food.

Keywords: sunflower, *Helianthus annuus* L., seeds, oleaginous, Burkina Faso

SOMMAIRE

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS.....	ii
SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	iii
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES TABLEAUX ET ANNEXES.....	v
RESUME.....	vi
ABSTRACT	vii
INTRODUCTION	2
CHAPITRE I : GENERALITES	5
I. PRESENTATION DE LA STRUTTURE D'ACCUEIL.....	5
I.1. Création de l'IRSAT.....	5
I.2. Création et organisation du Département Technologie Alimentaire (DTA)	5
I.3. Activités du DTA.....	6
II. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE.....	7
II.1. Description botanique du tournesol.....	7
II.1.1. Origine.....	7
II.1.2. Systématique botanique.....	7
II.1.3. Caractéristiques physiologiques et botaniques.....	8
II.2. Les graines de tournesol	9
II.2.1. Caractéristiques de la graine.....	9
II.2.2. Marché et utilisation des graines de tournesol.....	12
II.2.3. Marché et utilisation des huiles de tournesol.....	13
II.3. Mise en œuvre et valorisation de la culture du tournesol au Burkina Faso.....	15
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	18
II.1. Matériel végétal	18
II.2. Matériel d'analyse	18
II.3. Méthodes d'analyses	19
II.3.1. Analyses physiques des graines.....	19
II.3.1.1. Détermination du poids de mille (1000) graines.....	19
II.3.1.2. Dimensionnement des graines	19
II.3.2. Analyses biochimiques des graines et de l'huile extraite	20
II.3.2.1. Détermination du taux d'humidité (teneur en eau).....	20
II.3.2.2. Détermination de la teneur en cendres.....	20
II.3.2.3. Détermination de la teneur en matières grasses des graines entières et des amandes	21

II.3.2.4. Détermination de l'indice d'acide des graines entières et des amandes	22
II.3.2.5. Détermination de l'indice d'iode.....	23
II.3.2.6. Détermination de l'indice de saponification.....	24
II.4. L'analyse statistique.....	25
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION.....	27
III.1. Analyses physiques des graines entières	27
III.2. Analyses biochimiques.....	28
III.2.1. Caractéristiques biochimiques des graines.....	28
III.2.3. Caractéristiques biochimiques des huiles extraites	32
III.3. Identification de variétés performantes et adaptées pour le Burkina Faso.	36
III.3.1. Analyse en composantes principales (ACP)	36
III.3.2. Les cultivars et variétés identifiés.....	38
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	41
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	43
ANNEXES.....	46

INTRODUCTION

INTRODUCTION

La culture du tournesol (*Helianthus annuus* L.) occupe une place importante dans la filière oléagineuse. Recherchées par les industries, les graines de tournesol constituent une source importante de matières premières pour l'alimentation humaine, animale et pour diverses applications non alimentaires. La production mondiale de graines de tournesol est passée de 33,3 millions de tonnes en 2010/2011 à 39,1 millions de tonnes en 2011/2012 (FranceAgriMer, 2012). Les principaux pays producteurs sont la Russie, l'Ukraine, l'Argentine, la France et l'Espagne. Originaire d'Amérique du Nord, la culture du tournesol est devenue aujourd'hui l'une des cultures oléagineuses les plus importantes dans le monde avec le soja, le colza, le palmier, le coton et l'arachide.

Le tournesol est généralement cultivé pour ses graines très riches en huile (environ 45% de leur composition) alimentaire de meilleure qualité (présence d'acides gras oléique, linoléique et de composés mineurs). Cependant, dans le secteur non alimentaire, l'huile de tournesol peut être utilisée à d'autres fins (lubrifiants, biosolvants, cosmétiques et pharmaceutiques) et le tourteau constitue une source de matière riche en protéines pour l'alimentation animale.

La mise au point de nouvelles variétés sur les critères de teneurs en huile, de précocité et de résistance aux maladies, a contribué au développement de la culture du tournesol au cours des vingt dernières années. Toutefois, les équilibres biochimiques des constituants de la graine de tournesol tels que les protéines et les lipides représentent un critère essentiel à prendre en compte pour définir la qualité technologique des semences et diversifier leurs utilisations (Roche, 2005).

Le Burkina Faso, comme la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest, est fortement dépendant des importations à plus de 50% pour subvenir aux besoins en huile de sa population (OCL, 2014). En 2007, les importations d'huiles alimentaires se chiffraient à plus de 25 mille tonnes, provenant principalement de la Côte d'Ivoire, de la Malaisie, des USA, de Singapour et du Togo. Malgré cela, les besoins du marché restent à satisfaire. Ce qui a pour conséquence une tension sur les prix (CCI-BF, 2008 ; INERA, 2013). Par ailleurs, les huiles importées ne sont pas toujours de bonne qualité nutritionnelle et peuvent être source de problèmes de santé publique. Le secteur des oléagineux est donc stratégique pour le Burkina Faso. Cependant, l'insuffisance de la production de graines oléagineuses limite considérablement la production nationale d'huile du pays.

Les statistiques de la production moyenne des 10 dernières années étaient de 292.614 tonnes pour l'arachide, 21.487 tonnes pour le sésame et 7.315 tonnes pour le soja (INSD, 2011 ; INERA, 2013), dont une bonne partie est destinée à l'exportation. Au Burkina Faso, la crise cotonnière de ces dernières années (baisse du prix d'achat aux producteurs, augmentation des coûts de production) entraîne les producteurs à rechercher de nouvelles cultures de rente.

Ainsi, la nécessité d'une diversification de l'approvisionnement en graines à triturer, autre que le coton est impérieuse pour la sécurisation de l'approvisionnement durable des consommateurs en huile. C'est dans ce cadre que le gouvernement burkinabé, à travers le Ministère de la Recherche Scientifique et de l'Innovation (MRSI) et celui en charge de l'agriculture et de la sécurité alimentaire, s'est engagé avec l'Institut National de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) et bien d'autres acteurs à la promotion de la culture du tournesol afin de relever les défis en huile alimentaire au Burkina Faso. L'objectif global de la présente étude est de générer des données scientifiques tangibles pour contribuer à la sélection de meilleures variétés de tournesol pour l'agro-industrie du Burkina Faso. Pour ce faire plusieurs objectifs spécifiques sont poursuivis :

- déterminer les caractéristiques physiques des graines de quelques variétés et cultivars de tournesol ;
- déterminer les caractéristiques biochimiques des graines de quelques variétés et cultivars de tournesol.

CHAPITRE I : GENERALITES

CHAPITRE I : GENERALITES

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

I.1. Création de l'IRSAT

Suite à l'adoption du Plan stratégique national de la recherche scientifique et technologique par le gouvernement burkinabè en 1995, le Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST) a été restructuré en 1997 et l'Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT), l'un des quatre (4) instituts du CNRST a été créé la même année. Le Département Technologie Alimentaire (DTA), le Département Mécanisation (DM), le Département Substances Naturelles (DSN) et le Département Energie (DE) sont les quatre composantes de l'IRSAT.

I.2. Création et organisation du Département Technologie Alimentaire (DTA)

Situé au quartier 1200 logements de Ouagadougou, le Département Technologie Alimentaire a été créé en 1997 sur la base des acquis du laboratoire de Biochimie et Technologie Alimentaire (LBTA) mis en place en 1991 par le CNRST. La mise en place du DTA a été suivie en 2000 par la création d'un laboratoire de recherche et d'analyse à Bobo-Dioulasso. Depuis sa création, le DTA s'est fixé pour objectif d'apporter de la valeur ajoutée aux produits agricoles, animaux et forestiers en vue de diversifier et d'accroître la consommation et l'exportation. Depuis 2005, le DTA est composé de cinq (5) laboratoires et de deux (2) ateliers pilotes agroalimentaires (Figure 1).

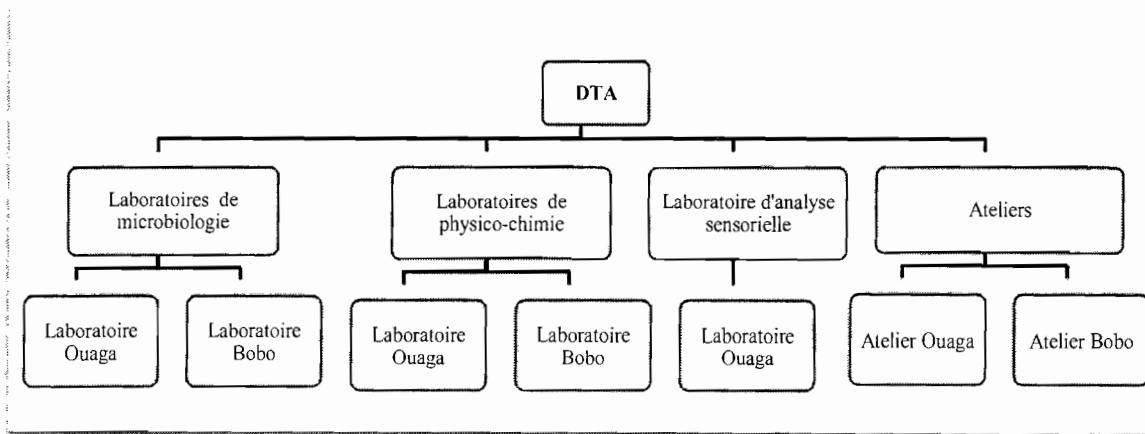


Figure 1: Organigramme du Département Technologie Alimentaire (DTA)

Les laboratoires du DTA sont engagés depuis 2003 dans la démarche qualité selon la norme internationale ISO/CEI 17025 : «*Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*». L'objectif visé est la maîtrise de la qualité du système d'organisation et des compétences techniques des laboratoires du département en vue d'une reconnaissance internationale des travaux d'analyse qui y sont réalisés.

Le laboratoire de microbiologie de Ouagadougou a été accrédité (en août 2012) sur trois paramètres (flore totale, coliformes totaux et coliformes thermo tolérants) pour une durée de 4 ans par le Comité Français d'Accréditation COFRAC.

I. 3. Activités du DTA

Pour atteindre ses objectifs, le Département Technologie Alimentaire (DTA) conduit des activités de Recherche-Développement dans le domaine des procédés post-récolte, de transformation, de conservation/stockage et de conditionnement/emballage des produits alimentaires, des études de consommation, de la formulation et l'amélioration de la valeur nutritive et sanitaire des aliments dans le but de les valoriser. Deux programmes de recherches sont développés au sein du DTA. Il s'agit du programme Technologie, Qualité et Sécurité sanitaires des Produits végétaux et d'origine végétale et du programme Technologie, Qualité et Sécurité sanitaires des Produits animaux et d'origine animale. Les programmes de recherche sont axés sur les produits tels que les céréales (riz, mil, maïs, sorgho, fonio) ; les oléagineux/protéagineux (sésame, beurre de karité, coton, arachide, tournesol) ; les fruits et légumes (bissap, mangue, tamarin, pain de singe) ; les racines et tubercules (manioc, igname, patate douce, souchet) ; la gomme arabique ; le lait et produits laitiers ; la viande et produits halieutiques.

L'objectif est d'apporter de la valeur ajoutée aux produits agricoles, animaux et forestiers en vue de diversifier et d'accroître la consommation et l'exportation. En plus de ses activités de recherche, le DTA effectue l'analyse et le contrôle-qualité des produits agroalimentaires ; la formation/encadrement des étudiants, des techniciens et cadres ; l'accompagnement des entreprises agroalimentaires ; des appuis/conseils ; le transfert de technologies et de compétences ; la promotion des équipements et des procédés ainsi que la promotion des produits locaux.

II. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

II.1. Description botanique du tournesol

II.1.1. Origine.

Le tournesol est une plante oléagineuse annuelle dont le nom scientifique est *Helianthus annuus* L.. C'est une plante de la famille des Asteraceae. L'appellation «tournesol» (appellation française) provient de sa tendance à se tourner vers le soleil pendant la journée, alors que son nom scientifique fait référence à la forme caractéristique de son inflorescence composée, ou capitule : en grec *Helios* signifie « soleil » et *anthos* signifie « fleur ». Le tournesol est donc la « fleur du soleil » (*sunflower* en langue anglaise). Originaire d'Amérique, le tournesol serait l'une des plus anciennes espèces, endémique dans le sud de l'Amérique du Nord. Il fut cultivé jusqu'au XV^{ème} siècle par les indiens d'Amérique à des fins alimentaires (consommation de ses graines crues ou sous forme de farine) mais également pour d'autres applications (médicinale, colorante...). En raison de sa forme de soleil, le tournesol avait aussi une fonction ornementale et symbolique. Ce n'est qu'au début du XVI^{ème} siècle que les explorateurs espagnols le rapportèrent en Europe, d'abord pour cette fonction ornementale (Evon, 2008). Toutefois, d'autres utilisations ne tardèrent pas à apparaître. Les feuilles furent utilisées pour l'alimentation du bétail, les pétales pour la teinture, les tiges pour le papier et surtout les graines pour l'huile. En développant des variétés adaptées localement, les chercheurs firent passer la teneur en huile de la graine de 25 à 45 % en quelques décennies, améliorant par la même occasion la précocité de la plante ainsi que sa résistance aux maladies (Evon, 2008). Réintroduit en Amérique du Nord en 1880, la culture du tournesol se développa par la suite dans le reste de l'Europe dès le début du XX^{ème} siècle (Sérieys, 1993), puis se reprend à partir de 1960 à d'autres pays du monde.

II.1.2. Systématique botanique

D'après Chadefaud et Emberger (1960) cité par Nouri (2011), le tournesol cultivé *Helianthus annuus* L. appartient :

- ♣ à l'embranchement des Spermaphytes,
- ♣ au sous-embranchement des Angiospermes,
- ♣ à la classe des Dicotylédones,
- ♣ au groupe des Capitules,
- ♣ à l'ordre des synanthérales,

- ☞ à la famille des Astéracées ou Composées
- ☞ à la sous-famille des Tubuliflores
- ☞ à la tribu des Hélianthés
- ☞ au genre *Helianthus*
- ☞ à l'espèce *annuus*.

D'après Schilling et Heiser (1981), le tournesol cultivé *Helianthus annuus* L. renferme 49 espèces, réparties en 4 sections nommées : *Divaricati* (31 espèces), *Helianthus* (11 espèces), *Ciliares* (6 espèces) et *Agrastes* (1 espèce).

II.1.3. Caractéristiques physiologiques et botaniques

↪ *L'appareil végétatif aérien*

Le tournesol est une plante annuelle dont la taille varie entre 1 et 4 m selon les variétés et les conditions de culture (Fig. 2). Les tiges sont normalement non ramifiées et, comme la plupart des autres parties de la plante, elles peuvent varier de glabres à très pubescentes. Les premières feuilles sont toujours opposées mais, chez certaines variétés, les suivantes deviennent alternes (Ebrahimi, 2008). Les capitules, réceptacles floraux charnus (Fig. 3), peuvent atteindre 15 à 30 cm de diamètre (Temagoult, 2009).



Figure 2: Appareil végétatif aérien (*Helianthus annuus*)



Figure 3: Capitule du tournesol

↪ *L'appareil végétatif souterrain*

La racine est de forme pivotante. Elle se caractérise par un axe principal (le pivot) pouvant atteindre de très grandes profondeurs (2,70 m). Ainsi, la plante résiste mieux à la sécheresse, exploitant par la même occasion les éléments nutritifs situés en profondeur. Bien que le pivot puisse dépasser les 2 mètres de profondeur, il est cependant peu agressif face aux

obstacles présents dans le sol (galets, semelle de labour) (Thebaud, 2012). Les racines secondaires sont surtout présentes en surface. Leur quantité et leur diamètre diminuent en fonction de l'éloignement de celui-ci ; les racines de second ordre étant elles-mêmes plus fines et plus courtes (Aguirrezabal, 1993 ; Thebaud, 2012). Le tournesol est une plante qui résiste au stress hydrique. Cependant, des études ont montré que l'irrigation améliore à la fois le rendement et la teneur en huile (Lagravère, 1999 ; Ayerdi Gotor, 2008).

II.2. Les graines de tournesol

II.2.1. Caractéristiques de la graine

II.2.1.1. Structure et composition des graines

Selon la description faite par Karleskind (1996) cité par Kartika (2005) le fruit du tournesol, communément appelé « graine » est un akène généralement constitué d'une amande et d'un péricarpe (Fig.4 et Fig. 5). Les dimensions de cette graine varient selon les variétés, de 7 à 25 mm de longueur et de 4 à 13 mm de largeur. Le poids de 1000 graines est compris entre 30 et 80 g. Quant à sa forme, elle peut être allongée, légèrement aplatie, ovale ou presque ronde. Riche en huile (lipides), la graine de tournesol contient également des protéines en quantité significative.



Figure 4 : Akènes de tournesol (Ramdé. 2014)

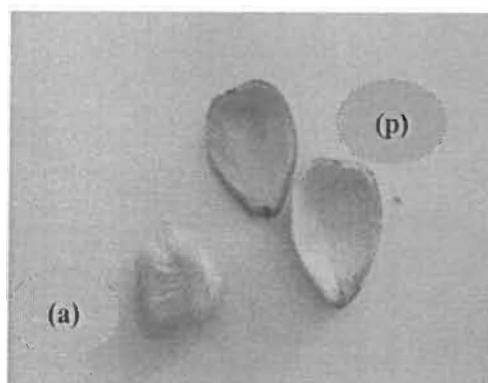


Figure 5: Amande (a) de tournesol recouverte de tégument séparé de son péricarpe (p) (Ramdé. 2014)

Un akène entier contient :

- Une **coque** qui constitue 20 à 40% du poids total de la graine. Campbell (1983) cité par Kartika (2005) rapporte que la proportion de coque dans la graine de tournesol riche en huile ($\pm 23\%$) est plus faible que dans la graine pauvre en huile ($\pm 43\%$). La coque est essentiellement formée de fibres de cellulose, de lignine (50 à 73% de la matière sèche) et d'hémicellulose (20%) (Connor et Hall, 1997 cité par Kartika (2005)). Cependant, dans la littérature, il est rapporté que de larges différences de composition en constituants sont

observées : (0,9 à 7,1% /MS) pour la teneur en lipides, (2,8 à 7,1% /MS) pour les protéines, (50 à 68%/MS) pour la lignine + cellulose, et (20 à 21%) pour l'hémicellulose (Bau *et al.*, 1983 ; Berot et Briffaud, 1983 ; Roche, 2005). Ces écarts peuvent être attribués soit à la présence en plus ou moins grande quantité du tégument riche en huile, localisée entre la coque et l'amande soit au mode de stockage de la graine. La faible teneur en protéines dans la coque réduit significativement l'utilisation du tourteau de tournesol dans l'alimentation animale par son faible pouvoir nutritionnel.

- Une **amande**, constituée d'un embryon et de deux cotylédons, est le lieu de stockage des réserves nécessaires au développement de l'embryon. Les réserves de l'embryon du tournesol, indispensable à la germination et au développement de la plantule, sont donc constituées de deux types de substances de réserve, les protéines et les lipides représentant respectivement 20 et 50% de matière sèche de l'akène (USDA, 2004 ; Ayerdi Gotor, 2008).

La graine de tournesol est ainsi essentiellement constituée de lipides, de protéines, d'une fraction ligno-cellulosique et de polysaccharides non cellulosiques (Canibe *et al.*, 1999 ; Ayerdi Gotor, 2008) (Tableau 1).

Tableau 1 : Composition des graines de tournesol (%MS) (Kartika, 2005)

Composés	Graines entières		Amandes		Coques		
Lipides	40-60	44-52	62,9-69,0	50-70	3,1-7,7	2,5-4,5	3-3,5
Protéines	13,5-25,5	15-19	43,4-50,4*	20-35	/	4,5-6,0	3-3,5
Ligno-cellulose	38-55	13-22	1,4-2,5	3-5	41,8-53,3	50-60	60-76,5
Polysaccharides non cellulosique	/	/	3,9-5,1	/	28,4-36,4	/	13-20
Références	Anonyme (1987)	Briffaud (1986)	Canibe <i>et al.</i> (1999)	Anonyme (1987)	Canibe <i>et al.</i> (1999)	Anonyme (1987)	Bazus (1991)

% MS : Valeurs rapportées à la teneur en matière sèche de la graine.

* Valeur rapportée à l'amande déshuilée partiellement.

II.2.1.2. Composition et intérêt des huiles de tournesol

L'huile extraite du tournesol classique est majoritairement constituée de triglycérides ou triacylglycérols (95 à 99% d'huile). Le reste de la fraction lipidique (1 à 5%) renferme des

composés dits « mineurs » en raison de leur faible teneur, tels que des phospholipides, des alcools aliphatiques et triterpéniques, des cires, des pigments, des tocophérols et des stérols. Les triglycérols d'acides gras (TAG) sont constitués d'un glycérol estérifié par trois acides gras.

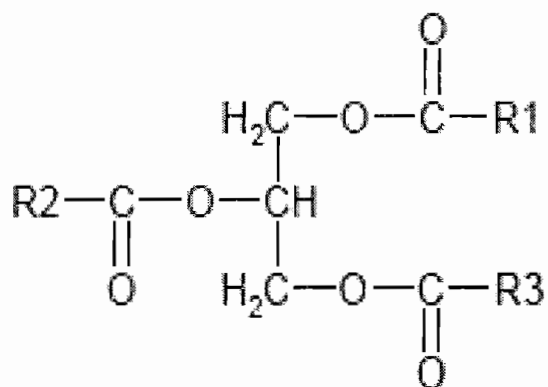


Figure 6 : Structure d'un triglycéride d'acides gras (R1, R2, R3 désignent les chaînes carbonées d'acides gras)

Les TAG sont présents généralement dans tous les tissus en tant que constituants des membranes et s'accumulent dans les tissus de stockage des graines oléagineuses. Ils sont considérés comme chimiquement inertes et non toxiques (Ayerdi Gotor, 2008). Ce sont des composés à fort potentiel énergétique pour la cellule et à ce titre, ils contribuent fortement aux réserves germinatives de la plantule. Globalement, en terme d'acides gras, l'huile de tournesol se compose d'environ 90% d'acides gras insaturés (acide oléique (C18 :1) et acide linoléique (C18 :2)) et 10 % d'acides gras saturés (acide palmitique (C16 :0) et acide stéarique (C18 :0)). Cette composition en acides gras des triglycérides de l'huile de tournesol varie d'un cultivar à l'autre. Avec le développement de nouvelles espèces, sont décrites dans la littérature, trois types de cultivars en fonction de leur teneur en acide oléique : 20 à 50% les cultivars standard (classiques), de 50 à 70% les cultivars mi- oléiques et plus de 70%, les cultivars oléiques (Sadras et Villalobos, 1996 ; Roche, 2005). Le tableau 2 présente la composition moyenne en acides gras d'huiles de tournesol standard, mi- oléique et oléique.

Tableau 2 : Composition en acides gras de tournesol classique, oléique et mi-oléique (Morin, 2003).

Acides gras (%)	Tournesol classique ou standard	Tournesol mi-oléique	Tournesol oléique
Acide palmitique C16 :0	5-8	4-5	3-5
Acide stéarique C18 :0	3-7	3-4	3-5
Acide oléique C18 :1	14-49	50-75	75-85
Acide linoléique C18 :2	48-74	20-30	7-17

II.2.2. Marché et utilisation des graines de tournesol

Environ 21% des graines oléagineuses produites font l'objet d'échanges commerciaux dans le monde, dont 78% de soja et seulement 4% de tournesol. L'Europe et la Chine sont les principaux importateurs des graines oléagineuses, fournis principalement par les USA, le Brésil et l'Argentine (Kartika, 2005).

Tableau 3 : Bilans 1995-2000 de la production, du marché et de l'utilisation des graines de tournesol (en millions de tonne) (Gunstone, 2002b ; Kartika, 2005)

Année	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01
Production	24,41	23,46	27,38	26,91	23,34
Exportation	3,27	3,02	3,93	2,92	2,80
Importation	3,30	3,03	3,89	2,99	2,79
Trituration	22,50	21,10	23,04	23,42	21,69
Autres	0,45	0,46	0,42	0,29	0,31

Tableau 4 : Production mondiale (en millions de tonne) par pays des graines de tournesol pour la période de 2002/03 à 2011/12

Année	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12
Russie	3 685	4 850	4 800	6 450	6 750	5 650	7 350	6 425	5 350	9 627
Ukraine	3 270	4 252	3 050	4 900	5 700	4 200	7 000	7 600	8 400	9 500
UE	5 183	6 155	6 463	5 958	6 502	4 799	7 125	6 912	6 919	8 215
Argentine	3 700	3 240	3 600	3 800	3 500	4 650	2 440	2 300	3 670	3 340
Chine	1 946	1 743	1 552	1 927	1 500	1 250	1 790	1 956	2 300	2 150
Turquie	820	600	650	750	850	700	830	800	1 000	925
USA	1 112	1 209	930	1 822	972	1 301	1 553	1 377	1 241	925
Autres	4205	4 781	4 204	4 666	4 574	4 893	5 399	4 820	4 405	4 403
Monde	23 921	26 830	25 249	30 273	30 348	27 443	33 487	32 190	33 285	39 085

(Source : FranceAgriMer, 2012).

II.2.3. Marché et utilisation des huiles de tournesol

Tableau 5: Production des huiles de tournesol (en million de tonne) dans le monde pour la période 1996/97 à 2000/01 (Gunstone, 2002b; Kartika, 2005)

Année	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01
UE-15	2,48	2,15	2,21	2,12	2,04
Ex-URSS	1,23	1,26	1,46	2,22	2,40
Europe Centrale	1,01	0,79	0,89	0,80	0,70
Argentine	2,16	2,16	2,35	2,14	1,60
USA	0,36	0,41	0,50	0,45	0,37
Turquie	0,50	0,54	0,63	0,52	0,47
Afrique du Sud	0,31	0,27	0,26	0,31	0,29
Autres	1,06	0,86	0,98	1,01	1,00

Tableau 6 : Production mondiale des huiles végétales pour la période de 2002/03 à 2011/12

Année	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	2006/07	2007/08	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12
Soja	30 524	30 260	32 564	34 910	36 473	37 729	35 903	38 878	41 237	41 854
Colza	12 267	14 119	15 756	17 430	17 189	18 487	20 561	22 435	23 582	23 761
Tournesol	8 115	9 197	9 141	10 666	10 710	10 138	11 948	12 114	12 212	14 137
Palmiste (2)	3 320	3 631	4 104	4 358	4 435	4 938	5 173	5 501	5 563	5 841
Coton	3 878	4 115	5 107	4 902	5 134	5 203	4 781	4 623	4 988	5 324
Arachide	4 662	5 093	5 085	4 932	4 487	4 899	5 078	4 735	5 102	5 238
Coprah	3 142	3 294	3 455	3 457	3 217	3 539	3 535	3 628	3 828	3 559
Total hors palme	65 908	69 749	75 212	80 655	81 645	84 933	86 979	91 914	96 512	99 714
Palme*	27 683	30 049	33 498	35 744	37 341	41 028	44 018	45 873	47 948	50 667
Total y compris palme	93 591	99 798	108 710	116 399	118 986	125 961	130 997	137 787	144 460	150 381

(Source : FranceAgriMer, 2012).

* Alors que l'huile de palmiste est extraite de l'amande du fruit du palmier, l'huile de palme est extraite de la pulpe de ce fruit. (2) Amande du fruit du palmier à huile.

Le tournesol est, avant tout destiné à l'alimentation humaine (huile), mais il a aussi des débouchés en alimentation animale (tourteau) et en industrie agro-carburant (biocarburant).

Alimentation humaine

Les huiles de tournesol sont extraites à partir des graines de tournesol. Elles sont excellentes pour l'alimentation humaine. Leurs profils en acides gras, oléiques et polyinsaturés essentiels, sont le garant d'un bon équilibre nutritionnel de l'alimentation humaine. Les huiles de tournesol sont conditionnées seules ou en mélange avec d'autres types d'huiles. De nombreux travaux de recherche en nutrition ont montré l'intérêt de combiner l'huile de tournesol classique et l'huile de tournesol oléique en y intégrant également l'huile de colza pour optimiser le ratio oméga 6 / oméga 3. En effet, ces huiles apportent des acides gras essentiels. Ainsi, l'huile de tournesol classique constitue une source d'acide linoléique, précurseur des acides gras oméga 6 tandis que le colza apporte l'acide alpha-linolénique, précurseur des acides gras oméga 3. La richesse en acide oléique confère des effets positifs sur la santé (prévention de l'athérosclérose) (Zock et Katan, 1998; Brouwer *et al.*, 2004 ; Ayerdi gotor, 2008) et une bonne stabilité à la cuisson et de bonnes aptitudes technologiques à la friture. Aussi, la diversité des acides gras dans l'alimentation humaine et leurs apports en quantités appropriées sont nécessaires pour la prévention des maladies cardiovasculaires (Delplanque, 2000 ; Ayerdi gotor, 2008). Dans l'industrie alimentaire l'huile de tournesol est également utilisée pour la

fabrication d'assaisonnements, de sauces, de margarines et d'autres produits alimentaires plus élaborés. L'acide oléique a des qualités nutritionnelles qui intéressent aujourd'hui quelques grands fabricants d'huile alimentaire. Ainsi, des sélectionneurs ont mis au point des variétés de tournesol dont l'huile pourrait contenir plus de 60% d'acide oléique (Dore et Varoquaux, 2006 ; Temagault, 2009).

Biocarburant

Les huiles de tournesol peuvent être utilisées comme agro-carburants pour les moteurs diésels, soit directement en tant qu'Huile Végétale Pure (HVP), ou après estérification en ester méthylique (diester). Les expérimentations à 100% d'HVP sur les poids lourds fonctionnent généralement avec un système de démarrage au gasoil. L'huile pure, contrairement au diester, ne nécessite aucun procédé industriel de fabrication. Une presse suffit, suivie d'un filtre performant (Nana, 2012).

Alimentation animale

Le tourteau de tournesol, c'est-à-dire le produit obtenu après extraction de l'huile et utilisé en alimentation animale (ruminants, porcs et volailles), se situe parmi les meilleurs en raison de sa forte teneur en matières azotées totales (45-55%) et en méthionine, sa teneur en vitamines du groupe B est également élevée (le tournesol contient plus de riboflavine que l'arachide ou le soja). Les quantités à apporter dans les aliments pour animaux sont adaptées à chaque conduite d'élevage. Ils peuvent se substituer en partie ou en totalité au tourteau de soja. Comparé aux autres tourteaux, du point de vue minéral, celui du tournesol présente un meilleur équilibre phosphocalcique. Toutefois son taux élevé en cellulose en limite l'emploi chez les monogastriques. Il est néanmoins possible de décortiquer mécaniquement la graine pour obtenir un tourteau d'amande.

II.3. Mise en œuvre et valorisation de la culture du tournesol au Burkina Faso

La recherche sur le tournesol a débuté en 1951 à la station de recherches de Niangologo par l'IRHO et s'est poursuivie à partir de 1975 par le CERCI, 1982 par l'IRHO et l'IVRAZ, puis en 2007 par l'INERA. Initialement introduit au Burkina Faso avant les années 1950 par des missionnaires blancs à des fins ornementales, cette espèce a vite montré son intérêt en raison de son adaptation sous les tropiques. En effet, le tournesol affectionne les climats chauds et secs. Peu gourmand en eau, sa racine pivot lui permet de capter l'eau en profondeur. C'est une plante plus sensible à la qualité du sol (profondeur, structure) qu'à l'ajout d'engrais. Ses besoins

en azote sont faibles (80 unités/ha contre 180 pour du maïs), mais il faut prévoir une bonne fumure de fond (80 unités de phosphore et de potassium) et du bore. Le tournesol est peu sensible aux insectes (sauf les jeunes pousses en début de cycle) et la plupart des variétés vulgarisées résistent bien aux attaques fongiques ; de ce fait la plante n'a quasiment pas besoin d'être traitée.

Les recherches ont montré l'adaptation de l'espèce à la grande culture au Burkina Faso et déterminé les dates optimales de productions, les itinéraires de production (IRHO, 1951 ; CERCI, 1975 ; IRHO, 1982 ; INERA, 2007). Les expérimentations ont également démontré l'intérêt de plusieurs variétés de l'Allemagne, de France, de Grande Bretagne, de Roumanie, de l'URSS et des USA. Les rendements observés variant de 1500kg/ha à plus de 2500kg/ha. Des études de l'INERA, ayant montré une large adaptation en culture pluviale mais également irriguée du tournesol, ont permis d'introduire en zone cotonnière le tournesol comme une plante refuge de *Helicoverpa armigera* (noctuelle de la tomate) dans les zones à forte utilisation de Coton Bt. Cela montre que l'espèce est déjà intégrée dans le système de culture du coton au Burkina Faso.

Le tournesol présente beaucoup d'atouts et sa production peut être augmentée et intensifiée. Des promoteurs privés (Agropol par exemple) produisent avec succès le tournesol à l'Ouest et au Sud-Ouest du Burkina Faso. Cette plante peut à la fois, répondre à la forte demande d'huile et de tourteaux dans le pays (y compris les pays limitrophes) et améliorer le taux d'utilisation des unités agro-industrielles présentes sur place. En raison de sa teneur élevée en huile (45-50%), de la valeur alimentaire de ses tourteaux (richesse en protéine) ainsi que de la facilité de recyclage de ses résidus en agriculture (enrichissement du sol, énergie...), le tournesol constitue une voie de diversification idoine de graines oléagineuses pour les agro-industries. En plus, il a l'avantage de contourner les problèmes d'aflatoxine connus sur l'arachide par exemple. Enfin, la culture du tournesol comporte beaucoup d'avantages pour le Burkina Faso. Elle va contribuer à développer l'agrobusiness incluant la création de richesses et d'emplois pour les jeunes, tout en diversifiant les sources de graines oléagineuses.

Cependant, bien que des informations initiales soient disponibles concernant la culture du tournesol, elles sont quasi inexistantes ou non actualisées en ce qui concerne les variétés. Un effort de recherche variétale pour la fourniture de semences de qualité aux producteurs est indispensable pour le montage d'une filière de tournesol rentable (INERA, 2013).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1. Matériel végétal

Le matériel végétal que nous avons utilisé pour notre étude est constitué uniquement de graines de tournesol en provenance de l'INERA. Ces graines sont des semences obtenues suite à des expérimentations dudit Institut. Nous avons utilisé au total 28 échantillons, dont 16 cultivars et 12 variétés.

Un **cultivar** est une variété de plante cultivée produite par des méthodes d'amélioration scientifique ou de sélection par les agriculteurs.

Une **variété** est une division reconnue d'une espèce, en dessous de la sous-espèce ; elle est différenciable par des caractéristiques telles que la couleur des fleurs, la couleur des feuilles et la taille de la plante (Rao et *al.*, 2006).

Il y a parfois confusion entre cultivars et variétés dans la littérature horticole, qui utilise ces deux termes comme synonymes. Cultivars et variétés font partie intégrante de l'espèce, et peuvent en général continuer à se reproduire, voire même parfois avec d'autres espèces du même genre pour former des hybrides.

II.2. Matériel d'analyse

➤ Appareillages

Les appareils que nous avons utilisé au DTA sont entre autres un pied à coulisse, un broyeur, une balance analytique OHAUS de précision $\pm 0,0001$ g, un dessiccateur, une étuve (Memmert), des nacelles, des creusets en porcelaine, un four (Nabertherm), un agitateur magnétique, une plaque chauffante, la verrerie (erlenmeyer, fiole, bécher, pipette etc.).

➤ Réactifs chimiques

Comme réactifs chimiques nous avons utilisé du NaOH, KOH, KI, HCl, hexane, réactif de Wijs, chloroforme etc.).

II.3. Méthodes d'analyses

II.3.1. Analyses physiques des graines

II.3.1.1. Détermination du poids de mille (1000) graines

La détermination du poids spécifique des graines de tournesol a été réalisée par pesée d'une prise d'essai de 20 graines à l'aide d'une balance analytique de précision. Nous avons ensuite effectué un rapport pour obtenir une valeur approximative de la masse de mille graines.

Le Poids de mille graines a été exprimé selon la formule suivante :

$$\text{PMG} = (1000 \text{ xm})/20 \quad \text{Avec : } \mathbf{m} \text{ la masse de 20 graines}$$

II.3.1.2. Dimensionnement des graines

La mensuration des graines (longueur, largeur et épaisseur) a été déterminée selon la méthode décrite par Aydin (2007) reprise par Somé (2014). Une prise d'essai aléatoire de vingt (20) graines de chaque échantillon a été mesurée avec un pied à coulisse numérique électronique *Castorama* (fig. 8). La longueur a été évaluée à partir des deux extrémités et le diamètre à la partie médiane de chaque graine. Les différentes mesures (longueur, largeur et épaisseur) ont été réalisées suivant les descriptions schématisées par les figures 7 et 8.

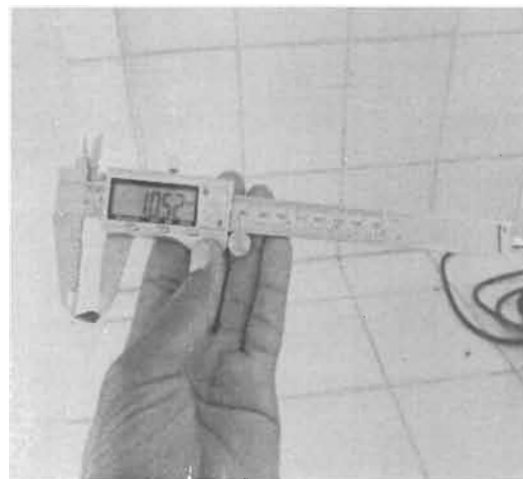
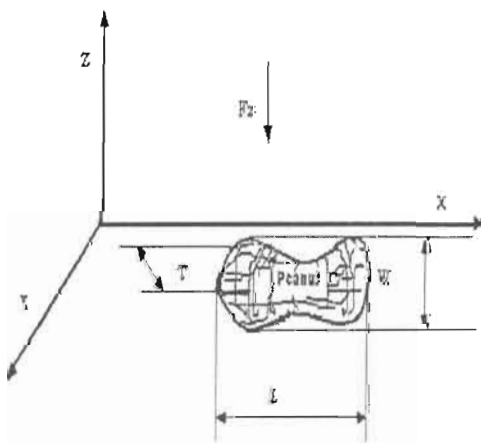


Figure 7 : Schéma de mesure des rhizomes tubérisés (Aydin, 2007 ; Somé, 2014) **Figure 8 :** Photos d'une prise de mesure avec un pied à coulisse *Castorama* (Ramdé, 2014)

L: length (longueur), **W:** width (largeur)
et **T :** thickness (épaisseur/diamètre)

La longueur, la largeur et l'épaisseur moyennes sont données par les formules suivantes :

$$\text{Longueur moyenne} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} Li \quad ; \quad \text{Largeur moyenne} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} li$$

$$\text{Epaisseur moyenne} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} Ei \quad ;$$

Li ; li et Ei sont respectivement la longueur, la largeur et l'épaisseur de la graine i .

II.3.2. Analyses biochimiques des graines et de l'huile extraite

II.3.2.1. Détermination du taux d'humidité (teneur en eau)

- *Principe*

La teneur en eau a été déterminée par différence de pesée d'un échantillon avant et après passage à l'étuve selon la norme (NF V03- 707 Jul. 2000).

- *Mode opératoire*

Environ 5 grammes (g) d'échantillon broyé (P_e) sont pesés dans une nacelle vide (P_0) puis placés à l'étuve pendant une nuit. Les nacelles contenant l'échantillon sont ensuite refroidies au dessiccateur puis pesées (P_f). La teneur en eau exprimée en pourcentage pondéral est donnée par la formule suivante :

$$\%H = \frac{[P_e - (P_f - P_v)]}{P_e} \times 100$$

P_e = prise d'essai

P_v = poids à vide des nacelles

P_f = poids final (nacelles + prise d'essai)

II.3.2.2. Détermination de la teneur en cendres

- *Principe*

La teneur en cendres est obtenue selon la **Norme Internationale ISO 2171 (2007)**. Cette méthode consiste à faire une pesée différentielle d'un échantillon avant et après incinération.

- *Mode opératoire*

Environ 5 g d'échantillon (graines de tournesol) broyé (P_e) sont pesés dans un creuset en porcelaine préalablement lavé, séché et pesé (P_0). Le creuset contenant l'échantillon est placé

au four à 550°C pendant une nuit. Il est ensuite retiré et refroidi au dessiccateur pendant 1 h avant d'être pesé de nouveau (P_f). Le taux de cendres est évalué selon la formule suivante:

$$\text{Cendres (\%)} = \left[\frac{P_f - P_0}{P_e} \times 100 \right]$$

P_e = prise d'essai

P_v = poids à vide du creuset

P_f = poids final

II.3.2.3. Détermination de la teneur en matières grasses des graines entières et des amandes

- **Principe**

Les matières grasses totales ou lipides sont des macromolécules pratiquement insolubles dans l'eau et solubles dans les solvants organiques. La détermination des matières grasses totales des échantillons de graines a été réalisée par la méthode d'extraction de type Soxhlet selon la norme **ISO 659 JUIN 1998**. La méthode Soxhlet est une méthode gravimétrique d'extraction semi-continue des matières grasses par un solvant organique jusqu'à épuisement. L'extraction se fait à chaud (60-70°C) par trempage suivi de rinçage de l'échantillon à l'hexane. La teneur en lipides est déterminée par pesée après évaporation.

- **Mode opératoire**

Une prise d'essai de 5 grammes (P_e) des graines broyées de chaque échantillon a été mise dans une cartouche d'extraction de Soxhlet. La cartouche a été bouchée avec du coton hydrophile, puis placée dans l'appareil de Soxhlet. L'ensemble du système d'extraction a été monté sur un ballon à col rodé taré et pesé (P_0), contenant environ 250 ml d'hexane. Il a ensuite été surmonté d'un réfrigérant, puis connecté à un cryostat permettant de condenser les vapeurs du solvant d'extraction. L'extraction a été effectuée pendant quatre (04) heures. Le solvant d'extraction a été séparé des matières grasses par évaporation sous pression réduite au rotavapor. Le ballon contenant les lipides est placé à l'étuve pendant une heure à 105 °C afin d'éliminer les traces de solvant, puis placé dans un dessiccateur pendant 30 minutes environ

pour refroidissement. Une série de pesées, d'étuvages du ballon est réalisée alternativement jusqu'à l'obtention d'un poids constant (P_f).

Nous avons également déterminé dans les mêmes conditions la matière grasse des amandes après décorticage des graines.

NB : Les essais ont été réalisés en triple.

La teneur en matières grasses totales est exprimée en pourcentage pondéral selon la formule suivante :

$$\text{Teneur en lipides (\%)} = \left[\frac{P_f - P_0}{P_e} \times 100 \right]$$

P_f = Poids final (ballon + matière grasse)

P_v = Poids vide de ballon

P_e = Prise d'essai

II.3.2.4. Détermination de l'indice d'acide des graines entières et des amandes

- *Principe*

L'indice d'acide des graines a été déterminé par titration suivant la méthode de l'acidité des corps gras de la norme française **NF EN ISO 660 JUILLET 1999**). Le principe de la méthode est basé sur un titrage acido-basique. Les acides gras libres présents dans la solution sont dosés en titrant avec une solution d'hydroxyde de potassium (KOH) à 0,1 N.

- *Mode opératoire*

La détermination de l'acidité des graines de tournesol consiste à peser environ 5 g d'échantillon broyé dans un erlenmeyer auxquels on ajoute 30 ml d'alcool bouillant à 95°C (éthanol). Le mélange est porté à ébullition. On ajoute ensuite 3 à 6 gouttes de thymolphtaléine et le mélange est titré par une solution d'hydroxyde de potassium (KOH) à 0,1 N jusqu'à obtention d'une coloration bleue persistante pendant quelques secondes.

Un blanc est préparé avec 30 ml d'alcool auxquels on ajoute 3 à 6 gouttes de phénolphtaléine.

L'indice d'acide des amandes a été déterminé parallèlement dans les mêmes conditions après décorticage des graines.

L'indice d'acide (I_a) est exprimé en mg de KOH par g de produit selon la formule ci-dessous :

$$I_a = \frac{[(V_e - V_0)N \times PM]}{M_e}$$

V_e : Chute de la burette pour l'échantillon

V_0 : Chute de la burette pour le blanc

PM : Poids molaire de KOH =56,102

N : Titre de KOH = 0,1 N

P_e : Prise d'essai de l'échantillon

II.3.2.5. Détermination de l'indice d'iode

L'indice d'iode (Ii) d'un lipide représente la quantité d'iode en gramme (g) susceptible de se fixer par addition sur les insaturations (doubles liaisons) des acides gras de 100 g de matières grasses (lipides). L'indice d'iode permet de déterminer le degré d'insaturation d'un corps gras.

- *Principe*

L'indice d'iode a été déterminé selon la norme **ISO 3961 : 2013**. L'échantillon à examiner est solubilisé dans un solvant et soumis à l'action d'un réactif halogénant (réactif de Wijs) en excès. Après un temps d'action déterminé, de l'iodure de potassium (KI) et de l'eau sont ajoutés et l'iode libéré est titré avec une solution de thiosulfate de sodium.

- *Mode opératoire*

Environ $0,2 \pm 0,0001$ g d'huile est pesée dans un erlenmeyer auxquels on ajoute 20 ml de chloroforme ($CHCl_3$) et 25 ml de réactif de Wijs. Agiter le mélange et boucher les erlenmeyer avec du papier aluminium, puis les placer à l'obscurité pendant 1h tout en agitant de temps en temps. Après le temps de réaction, ajouter ensuite 20 ml d'iodure de potassium à 10% et agiter. Titrer avec la solution étalon de thiosulfate de sodium (0,1N) jusqu'à ce que la couleur jaune due à l'iode ait presque disparu. Ajouter quelques gouttes de la solution d'empois d'amidon à 1% et poursuivre le titrage jusqu'au moment où la couleur bleue disparaît après avoir agité vigoureusement. Titrer de la même manière le témoin (V_0). L'indice d'iode est calculé suivant la formule ci-dessous :

$$I_i = \frac{[(V_0 - V_e) N \times 12.69]}{P_e}$$

V_0 : volume de thiosulfate versé pour le blanc (ml)

V_e : volume de thiosulfate versé pour l'échantillon (ml)

N : Normalité de thiosulfate de sodium (0,1 N)

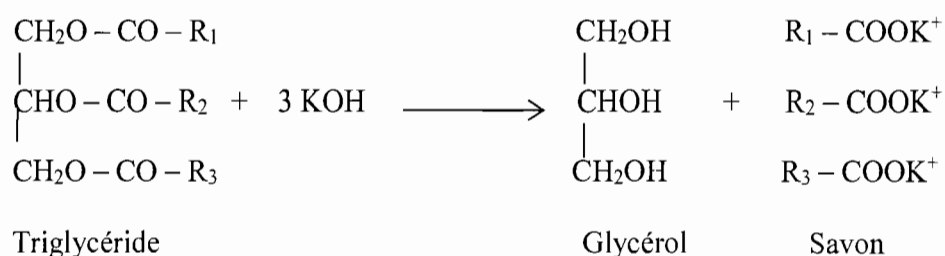
P_e : Prise d'essai de l'échantillon

II.3.2.6. Détermination de l'indice de saponification

L'indice de saponification d'un corps gras est la quantité de potasse exprimée en milligrammes (mg), nécessaire pour neutraliser les acides gras libres et saponifier les acides gras combinés présents dans 1 gramme de ce corps gras.

- *Principe*

L'indice de saponification a été déterminé selon la norme AOAC. Le principe est basé sur un dosage en retour. On fait réagir à chaud une solution d'acide gras avec un excès d'hydroxyde de potassium (KOH) alcoolique. Cet excès est ensuite dosé par une solution d'acide chlorhydrique (HCl). Si l'on porte à ébullition un corps gras en présence de KOH, les acides gras se saponifient, c'est une réaction totale lente à température ambiante mais qui prend entre 30 à 60 minutes par chauffage à ébullition douce. La potasse réagit avec les acides gras libérés pour former du savon. La réaction est la suivante :



- *Mode opératoire*

La méthode consiste à peser 1,5 g d'huile dans un erlenmeyer. Puis 10 ml d'hydroxyde de potassium (KOH) alcoolique 1N y sont ajoutés. L'ensemble est ensuite chauffé pendant environ 30 mn sous agitation magnétique. Le mélange ainsi constitué est refroidi et 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine sont ajoutées. L'excès de potasse après saponification est titré avec du HCl 1N jusqu'à l'obtention d'une décoloration persistante pendant quelques secondes.

Un témoin (sans la matière grasse) est réalisé dans les mêmes conditions.

L'indice de saponification (Is) est donné par la relation :

$$Is = \frac{[(V_o - V_e) \times N \times 56.102]}{P_e}$$

V₀ : volume versé pour le témoin,

V_e : volume versé pour l'échantillon

Pe : masse de l'échantillon

N : Normalité de l'acide chlorhydrique

II.4. L'analyse statistique

Les analyses statistiques ont porté sur l'analyse des variances (ANOVA) et ont été réalisées par les logiciels "XLSTAT-2015, version 3.01.19040" et Graph pad Prism 6 version 6.0.5.381. Le test de comparaison de Fisher a permis de comparer les échantillons au seuil de probabilité de 5%, avec un intervalle de confiance de 95%.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Analyses physiques des graines entières

Les paramètres physiques des graines de tournesol étudiées sont reportés au niveau du tableau 7.

Tableau 7: Paramètres physiques des graines de tournesol étudiées (moyenne \pm écart type)

	PMG (g)	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Epaisseur (mm)
Cultivars	57,93 \pm 0,08 - 79,98 \pm 0,07	10,30 \pm 0,87 - 12,00 \pm 0,00	6,07 \pm 0,34 - 7,83 \pm 0,00	4,06 \pm 0,00 - 5,10 \pm 0,00
Variétés	39,39 \pm 0,00 - 72,69 \pm 0,06	9,27 \pm 0,93 - 11,21 \pm 0,87	5,04 \pm 0,00 - 6,49 \pm 0,00	3,04 \pm 0,00 - 4,38 \pm 0,00

➤ Poids de mille graines (PMG)

Le poids de mille graines (PMG) est un indicateur du rendement technologique dans les industries de première transformation (Scotti, 1984). Le poids de mille graines des cultivars de tournesol déterminé dans la présente étude est reporté dans le tableau 7. Il varie entre 57,93 \pm 0,08 g et 79,98 \pm 0,07 g. Quant aux variétés, il varie entre 39,39 \pm 0,00 g et 72,69 \pm 0,06 g. Kartika (2005) a rapporté que le PMG de tournesol est compris entre 30 et 80 g, valeurs similaires à celles de notre étude. Ces résultats sont également comparables à ceux trouvés par Evon (2008) et Roche (2005) respectivement 52,1 g et 59,4 g en moyenne.

➤ Dimensions : longueur, largeur et épaisseur

La distribution de la taille des graines révèle des longueurs qui varient entre 10,30 \pm 0,87 et 12,00 \pm 0,00 mm pour les cultivars. En ce qui concerne les variétés, elles varient entre 9,27 \pm 0,93 et 11,21 \pm 0,87 mm (Figure 8). Ces valeurs sont analogues à celles indiquées par Evon (2008) et Smassel (2013) respectivement 10 mm et 11,43 mm en moyenne.

Les largeurs varient de 6,07 \pm 0,34 à 7,83 \pm 0,00 mm pour les cultivars et de 5,04 \pm 0,00 à 6,49 \pm 0,00 mm (Figure 8). Ces valeurs sont supérieures à celles de Evon (2008) (3 mm) mais similaires à celles rapportées par Smassel (2013) (6,09 mm).

Les épaisseurs, quant à elles, varient de 4,06 \pm 0,00 à 5,10 \pm 0,00 mm pour les cultivars et de 3,04 \pm 0,00 à 4,38 \pm 0,00 mm pour les variétés. Ces valeurs sont proches de celle rapportée par Smassel (2013) qui est de 3,94 mm.

III.2. Analyses biochimiques

III.2.1. Caractéristiques biochimiques des graines

Les paramètres biochimiques des graines entières déterminés sont la teneur en eau (humidité), les cendres, l'indice d'acide (Ia) et la matière grasse (MG). Les résultats sont présentés dans le Tableau 8.

Tableau 8: Caractéristiques biochimiques des graines entières de tournesol étudiées

Réf. Echantillon	Humidité (%)	Cendres (%)	Ia (mg KOH/g)	MG (%)
CULTIVARS				
C3AMMHT 07	4,94±0,02 ^{bc}	4,60±0,06^{ab}	4,48±0,03	37,41±0,69 ^{abc}
C15AMMHT 29	4,48±0,02 ^a	4,35±0,04 ^{ab}	5,64±0,04	37,31±0,42 ^a
C24 AMMHT 39	4,38±0,01 ^{abc}	4,13±0,02 ^{ab}	5,24±0,07	38,58±0,27 ^{abc}
C28 AMMHT 48	3,91±0,02 ^{abc}	4,19±0,03 ^{ab}	5,73±0,03	44,65±1,92 ^{abc}
C34 AMMHT 63	4,47±0,01 ^{bc}	3,94±0,01 ^{ab}	6,27±0,09	44,98±1,50 ^{bc}
C39 AMMHT 76	4,36±0,04 ^{abc}	4,22±0,02 ^{ab}	5,44±0,17	45,15±1,57 ^c
C41 AMMHT 81	4,25±0,05 ^{abc}	4,26±0,04 ^{ab}	5,85±0,18	41,63±0,25 ^{abc}
C56 AMMHT 121	4,03±0,03 ^{abc}	3,94±0,02 ^{ab}	6,17±0,15	40,09±1,59 ^{abc}
C59 AMMHT 126	4,35±0,06 ^{abc}	4,36±0,03 ^{ab}	6,65±0,15	41,77±1,17 ^{abc}
C62 AMMHT 130	4,74±0,04 ^{bc}	4,24±0,02 ^{ab}	5,35±0,03	43,46±2,60 ^{abc}
C81 AMMHT 176	4,65±0,06 ^{bc}	4,41±0,02 ^{ab}	8,59±0,09	42,19±1,64 ^{abc}
C87 AMMHT 201	4,96±0,31 ^{bc}	4,37±0,02 ^{ab}	8,72±0,11	40,65±1,44 ^{abc}
C88 AMMHT 204	5,04±0,03^c	4,36±0,03 ^{ab}	5,85±0,04	41,74±2,21 ^{abc}
C93 AMMHT 224	5,02±0,02 ^c	4,55±0,02 ^{ab}	7,61±0,11	42,15±1,23 ^{abc}
C98 AMMHT 232	4,55±0,02 ^{bc}	4,31±0,01 ^{ab}	3,20±0,04	45,66±1,16^c
C99 AMMHT 235	4,56±0,02 ^{bc}	4,02±0,02 ^{ab}	3,46±0,10	41,87±1,36 ^{abc}
VARIETES				
V1 CETIOM 265	4,17±0,02 ^{abc}	5,48±0,02 ^{bc}	4,12±0,10	40,99±1,29 ^{abc}
V3 AMSOL	4,30±0,02 ^{abc}	4,14±0,02 ^{ab}	3,67±0,10	41,12±1,55 ^{abc}
V4 PEREDOVICK SOUROU	4,68±0,02 ^{bc}	3,84±0,03 ^{ab}	4,58±0,09	38,41±0,53 ^{abc}
V5 MIRAMAR	4,81±0,02 ^{bc}	3,61±0,01 ^a	6,60±0,08	41,00±0,70 ^{abc}
V6 CABURE	4,48±0,02 ^{bc}	3,59±0,02 ^a	2,49±0,06	41,79±0,76 ^{bc}
V7 GUYACAN	4,68±0,02 ^{bc}	3,57±0,02 ^a	5,03±0,03	39,47±1,41 ^{abc}
V8 HAVANA F1	4,97±0,02^c	4,16±0,03 ^{ab}	3,29±0,18	37,84±0,51 ^{ab}
V13 BOSPHORA F	4,15±0,02 ^{abc}	5,56±0,03 ^{bc}	6,47±0,05	43,20±0,68 ^{abc}
V14 NEOMA F1	3,75±0,03 ^{ab}	3,90±0,02 ^{ab}	4,46±0,09	44,52±0,06^{abc}
V15 NEOMA F2	3,56±0,04 ^a	3,35±0,02 ^a	3,84±0,13	44,50±0,65 ^{abc}
V17 NK ADAGIO F2	4,03±0,01 ^{abc}	3,54±0,04 ^a	2,84±0,08	39,39±0,45 ^{abc}
V18 INAYA F1	4,04±0,03 ^{abc}	6,56±0,03^c	2,80±0,06	37,10±0,09 ^a

- Les chiffres ayant les mêmes lettres (a. b. c) en exposant sur la même colonne ne sont pas significativement différents au seuil de probabilité $p \leq 0.05$.
- Le chiffre ayant en exposant abc. peut être regroupé avec a. b ou c.
- Les chiffres en **gras** désignent les maximales de chaque paramètre pour les cultivars et pour les variétés.

❖ Teneur en eau (humidité)

La détermination de la teneur en eau est très important d'autant plus qu'elle est un facteur essentiel dans la conservation des graines. L'ensemble des échantillons analysés présente un taux d'humidité faible. Pour les cultivars la teneur en eau est comprise entre $3,91 \pm 0,02\%$ et $5,04 \pm 0,03\%$. Concernant les variétés elle varie entre $3,56 \pm 0,04\%$ et $4,97 \pm 0,02\%$. Cependant les échantillons sont significativement différents par rapport à l'analyse statistique. Ces résultats sont largement inférieurs à celui d'Evon (2008) qui est de $7,49 \pm 0,03\%$. Du point de vue conservation, les graines analysées au cours de cette étude présentent un taux d'humidité convenable pour être à l'abri de certains facteurs biologiques ou physicochimiques qui peuvent parfois nuire la qualité et la quantité d'huile extraite. De plus, cela permet de mieux séparer l'amande de son enveloppe lors du décorticage pour l'extraction de l'huile.

❖ La teneur en cendres

L'analyse des cendres ou matières minérales donne des teneurs variant de $3,94 \pm 0,01\%$ à $4,60 \pm 0,06\%$ pour les cultivars et de $3,35 \pm 0,02\%$ à $6,34 \pm 0,03\%$ pour les variétés. L'analyse statistique ANOVA indique pour ce paramètre qu'il n'y a pas de différence significative entre les échantillons de cultivars. L'étude menée par Evon (2008) donne une teneur moyenne en cendres de $3,11 \pm 0,01\%$, valeur légèrement inférieure à celles de notre étude. De cette même étude, Evon (2008) a trouvé des teneurs en cendres des amandes et des coques respectivement de $2,93 \pm 0,01\%$ et $2,87 \pm 0,01\%$. La différence de nos résultats avec ceux de Evon (2008) pourrait être liée au type de cultivar ou de la variété utilisé. Selon Ayerdi Gotor (2008) les teneurs et composés mineurs (tocophérols et en phytostérols) dans la graine varient selon les espèces végétales et au sein d'une même espèce selon le génotype. De plus, l'expression du potentiel génétique sera conditionnée par le contexte de la culture à savoir les conditions environnementales (sol, régime hydrique, séquence climatique), les conduites culturales (date de semis, irrigation,...).

❖ La matière grasse des graines (lipides)

La graine de tournesol accumule essentiellement deux types de substances de réserve, les protéines et les lipides, représentant respectivement environ 20 et 50% de matière sèche graine (Roche, 2005). L'analyse des graines de tournesol révèle que la fraction lipidique des cultivars varie de $37,31 \pm 0,42\%$ à $45,66 \pm 1,16\%$ et celle des variétés de $37,10 \pm 0,09\%$ à $44,52 \pm 0,06\%$. L'analyse statistique montre que les échantillons sont significativement différents. Roche (2005) et Evon (2008) ont trouvé respectivement dans les graines entières de tournesol des

teneurs moyennes en lipides de $49,70 \pm 0,18\%$ et 51% , valeurs supérieures à celles de notre étude. Des études menées par Ayerdi Gotor et *al.*, (2006) donnent également des teneurs en matières grasses variant entre 40-55%. Selon Roche (2005), les conduites culturales et les critères agronomiques (température, date de semis, disponibilité hydrique, génotype) peuvent avoir un impact sur la teneur en huile des graines de tournesol. Toutefois nos résultats restent supérieurs à ceux trouvés par Lambert (2005) dans le coton et le soja, respectivement 20% et 16-18%.

❖ L'indice d'acide des graines

L'analyse des graines entières de tournesol indique un indice d'acide variant de $3,2 \pm 0,04$ à $8,72 \pm 0,11$ mg KOH/g pour les cultivars et de $2,49 \pm 0,06$ à $6,60 \pm 0,08$ mg KOH/g pour les variétés. La plus forte valeur en indice d'acide des graines a été relevée au niveau des cultivars (C87AMMHT 201) et la plus faible au niveau des variétés (V6 CABURE). La forte variation de l'indice d'acide des graines pourrait être liée aux conditions de récolte ou de stockage. On estime cependant que cette acidité pourrait être ramenée à un niveau acceptable lors du processus de raffinage.

III.2.2. Caractéristiques biochimiques des amandes

Les paramètres biochimiques des amandes de tournesol étudiés sont l'acidité et la matière grasse. Les résultats sont présentés dans le Tableau 9.

Tableau 9 : Caractéristiques biochimiques des amandes de tournesol

Réf. Echantillon	Ia amandes (mg KOH/g)	MG amandes (%)
CULTIVARS		
C3AMMHT 07	2,55±0.04	48.59±0.24
C15AMMHT 29	2,27±0.02	47.64±0.11
C24 AMMHT 39	3,72±0.02	49.66±0.14
C28 AMMHT 48	1,76±0.02	50,59±0.07
C34 AMMHT 63	4,12±0.07	48.11±0.07
C39 AMMHT 76	2,30±0.02	48.43±0.013
C41 AMMHT 81	3,34±0.04	52.13±0.06
C56 AMMHT 121	3,10±0.03	50,56±0.05
C59 AMMHT 126	4,45±0.04	50,17±0.06
C62 AMMHT 130	2,55±0.07	49.22±0.08
C81 AMMHT 176	3,36±0.10	48.07±0.06
C87 AMMHT 201	4,79±0.14	49.21±0.06
C88 AMMHT 204	3,34±0.11	47.60±0.04
C93 AMMHT 224	3,84±0.05	48.14±0.07
C98 AMMHT 232	4,87±0.08	48.59±0.06
C99 AMMHT 235	4,12±0.04	49.72±0.04
VARIETES		
V1 CETIOM 265	1,79±0.05	45.80±0.04
V3 AMSOL	3,37±0.03	42.53±0.14
V4 PEREDOVICK SOUROU	3,33±0.03	43.62±0.04
V5 MIRAMAR	2,58±0.09	48.69±0.07
V6 CABURE	3,76±0.08	45.28±0.03
V7 GUYACAN	3,95±0.03	42.64±0.15
V8 HAVANA F1	3,56±0.02	39.80±0.07
V13 BOSPHORA F	2,33±0.13	50.41±0.06
V14 NEOMA F1	3,35±0.10	52.24±0.24
V15 NEOMA F2	2,37±0.08	50.49±0.51
V17 NK ADAGIO F2	1,65±0.03	50.65±0.07
V18 INAYA F1	1,93±0.07	49.26±0.16

L'analyse des amandes de tournesol montrent que les cultivars étudiés ont un indice d'acide compris entre $1,76 \pm 0,02$ et $4,87 \pm 0,08$ mg KOH/g. Pour les variétés, il varie entre $1,65 \pm 0,03$ et $3,95 \pm 0,03$ mg KOH/g. On remarque que ces résultats sont inférieurs par rapport à ceux des graines entières ; cela indiquerait que les coques des graines impactent fortement sur l'acidité de la graine entière de tournesol. Suivant l'analyse des variances on note une différence significative entre variétés et cultivars. De plus, contrairement aux autres, l'acidité des amandes

des échantillons C98 AMMHT232, C99 AMMHT235, V6 CABURE et V8 INAYA F1 a augmenté légèrement. Cela pourrait être lié à la durée de conservation des amandes après le décorticage. L'étude menée par Smassel (2013) sur la mise en valeur de l'huile de tournesol a donné un indice d'acide de l'huile allant jusqu'à 6,17 mg KOH/g. Cette valeur est largement supérieure à celles de notre étude sur l'amande.

La fraction lipidique provient à 90 % de l'amande (Evon, 2008) et constitue la partie la plus recherchée. Dans le cas de notre étude, la teneur en matière grasse des amandes est comprise entre $47,60 \pm 0,00$ % à $52,13 \pm 0,00$ % pour les cultivars et de $39,80 \pm 0,00$ % à $52,24 \pm 0,00$ % pour les variétés. On remarque que 85,7 % de ces échantillons étudiés contiennent au moins 45% de matières grasses. Ces résultats sont inférieurs à celui de Evon (2008) qui est de $66,60 \pm 0,15$ % en moyenne. On remarque également que les cultivars renferment plus de lipides que les variétés. Cela est donc raisonnable d'autant plus qu'ils sont des « variétés cultivées » ayant subi des méthodes d'amélioration ou de sélection.

III.2.3. Caractéristiques biochimiques des huiles extraites

Deux paramètres des huiles extraites ont été déterminés. Il s'agit de l'indice d'iode et de l'indice de saponification dont les figures 9 et 10 présentent les résultats obtenus.

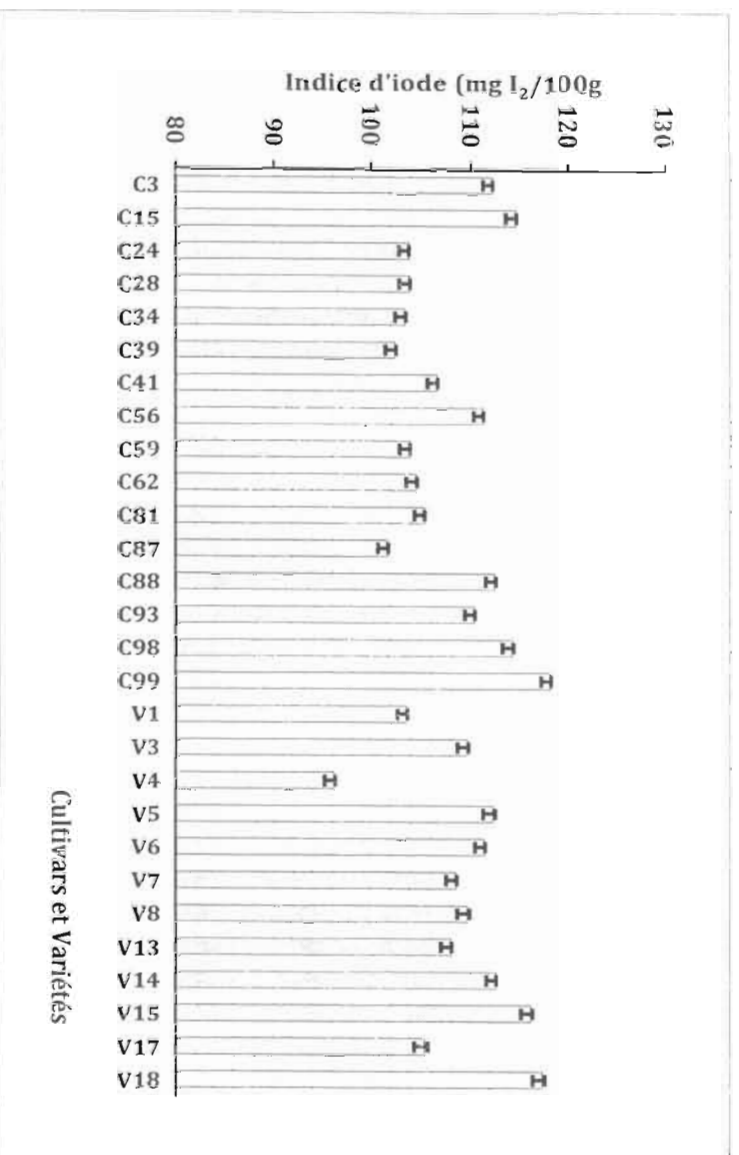


Figure 9 : Indice d'iode des huiles de tournesol

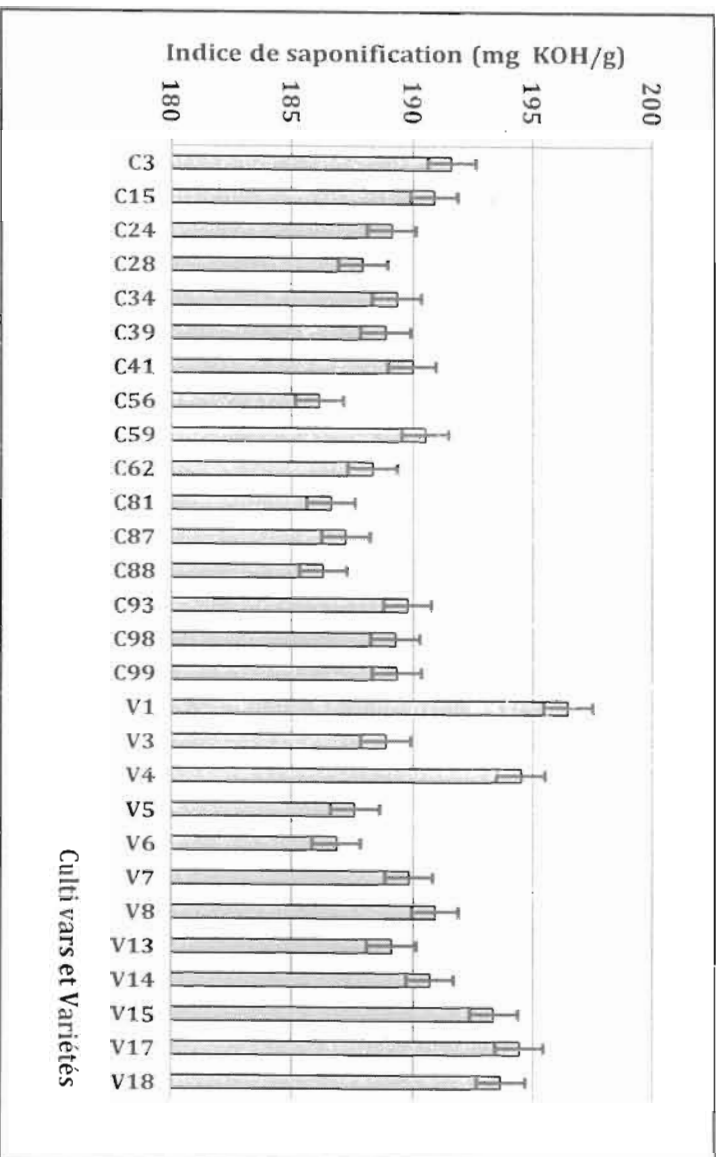


Figure 10 : Indice de saponification des huiles de tournesol

L'intérêt de l'indice d'iode est de pouvoir caractériser les différentes huiles de tournesol selon leur nature en acides gras. Ceci nous a également permis de déterminer quel type d'acide gras prédomine dans ces huiles. L'analyse des huiles révèle que les cultivars ont un indice d'iode compris entre $101,70 \pm 0,05$ et $118,31 \pm 0,02$ mg I₂ / 100 g. Concernant les variétés, il varie de $96,16 \pm 0,15$ à $117,43 \pm 0,26$ mg I₂ / 100 g. Selon la norme CODEX STAN 210-1999 relative aux huiles végétales brutes portant un nom spécifique, les huiles brutes de tournesol, tournesol à forte teneur en acide oléique, tournesol à teneur moyenne en acide oléique doivent avoir respectivement des valeurs comprises entre 118-141 ; 78-90 et 94-122 mg I₂/100 g comme indice d'iode. Cela nous permet de classer nos huiles dans la catégorie des huiles de tournesol à teneur moyenne en acide oléique car nos résultats sont en accord avec les spécifications de ladite catégorie. Dans cette catégorie, la teneur en acide oléique (C18 : 1) qui est un acide gras mono insaturé peut atteindre 43,1-71,8 % selon la norme CODEX STAN 210-1999.

L'analyse de l'indice de saponification montre que les huiles de cultivars ont un indice variant de $186,16 \pm 0,98$ à $191,65 \pm 0,86$ mg KOH/ g d'huile et les variétés de $186,88 \pm 1,30$ à $196,48 \pm 2,40$ mg KOH/ g d'huile. Selon les spécifications de la norme CODEX STAN 210-1999, les huiles brutes de tournesol à teneur moyenne en acide oléique doivent avoir un indice de saponification compris entre 190-191 mg KOH/g d'huile. L'analyse statistique montre que seulement environ 18% des huiles étudiées répondent aux prescriptions de la présente norme. Cependant des propositions de révision de ladite norme sont en cours afin de conserver une fourchette de 188-192 pour toutes les catégories d'huile de tournesol, compte tenu du fait que cet indice dépend en grande partie des acides gras C18 et que la variation dans la teneur de chacune d'elles n'implique pas un changement important dans l'indice (cette variation étant d'environ 0,014). En revanche, les indices trouvés sont similaires à celui de l'huile de sésame (186-195) et proche de ceux des huiles d'arachide (187-196) et de soja (189-195) (Codex, 1999). Ces huiles peuvent être utilisées en savonnerie.

Tableau 10 : Classification des variétés et cultivars en fonction de la norme CODEX STAN 210-1999 pour l'indice d'iode.

Référence échantillon	Indice d'iode		
	Huile de tournesol	Huile de tournesol à teneur moyenne en acide oléique	huile de tournesol à forte teneur en acide oléique
	118-141 mg I ₂ /100 g	94-122 mg I ₂ /100 g	78-90 mg I ₂ /100 g
CULTIVARS			
C3 AMMHT 07	-	+	-
C15 AMMHT 29	-	+	-
C24 AMMHT 39	-	+	-
C28 AMMHT 48	-	+	-
C34 AMMHT 63	-	+	-
C39 AMMHT 76	-	+	-
C41 AMMHT 81	-	+	-
C56 AMMHT 121	-	+	-
C59 AMMHT 126	-	+	-
C62 AMMHT 130	-	+	-
C81 AMMHT 176	-	+	-
C87 AMMHT 201	-	+	-
C88 AMMHT 204	-	+	-
C93 AMMHT 224	-	+	-
C98 AMMHT 232	-	+	-
C99 AMMHT 235	+	+	-
VARIETES			
V1 CETIOM 265	-	+	-
V3 AMSOL	-	+	-
C4 PEREDOVICK SOUROU	-	+	-
V5 MIRAMAR	-	+	-
V6 CABURE	-	+	-
V7 GUYACAN	-	+	-
V8 HAVANA	-	+	-
V13 BOSPHORA F	-	+	-
V14 NEOMA F1	-	+	-
V15 NEOMA F2	-	+	-
V17 NK ADAGIO F2	-	+	-
V18 INAYA F1	-	+	-

Le signe (+) désigne que l'indice d'iode de la variété ou du cultivar se trouve dans l'intervalle indiqué ;

Le signe (-) désigne que l'indice d'iode de la variété ou du cultivar n'est pas inclus dans l'intervalle indiqué.

Tableau 11 : Liste des variétés et cultivars ayant un indice de saponification en conformité avec la norme CODEX STAN 210-1999.

N°	Liste des variétés	Liste des cultivars
1	V8 HAVANA F1	C15 AMMHT29
2	V14 NEOMA F1	C41 AMMHT81
3	-	C59 AMMHT126

III.3. Identification de variétés performantes et adaptées pour le Burkina Faso.

III.3.1. Analyse en composantes principales (ACP)

La figure 11 montre la représentation de l'ACP des échantillons de tournesol étudiés. Suivant les deux axes, cette représentation permet de caractériser trois groupes d'échantillons :

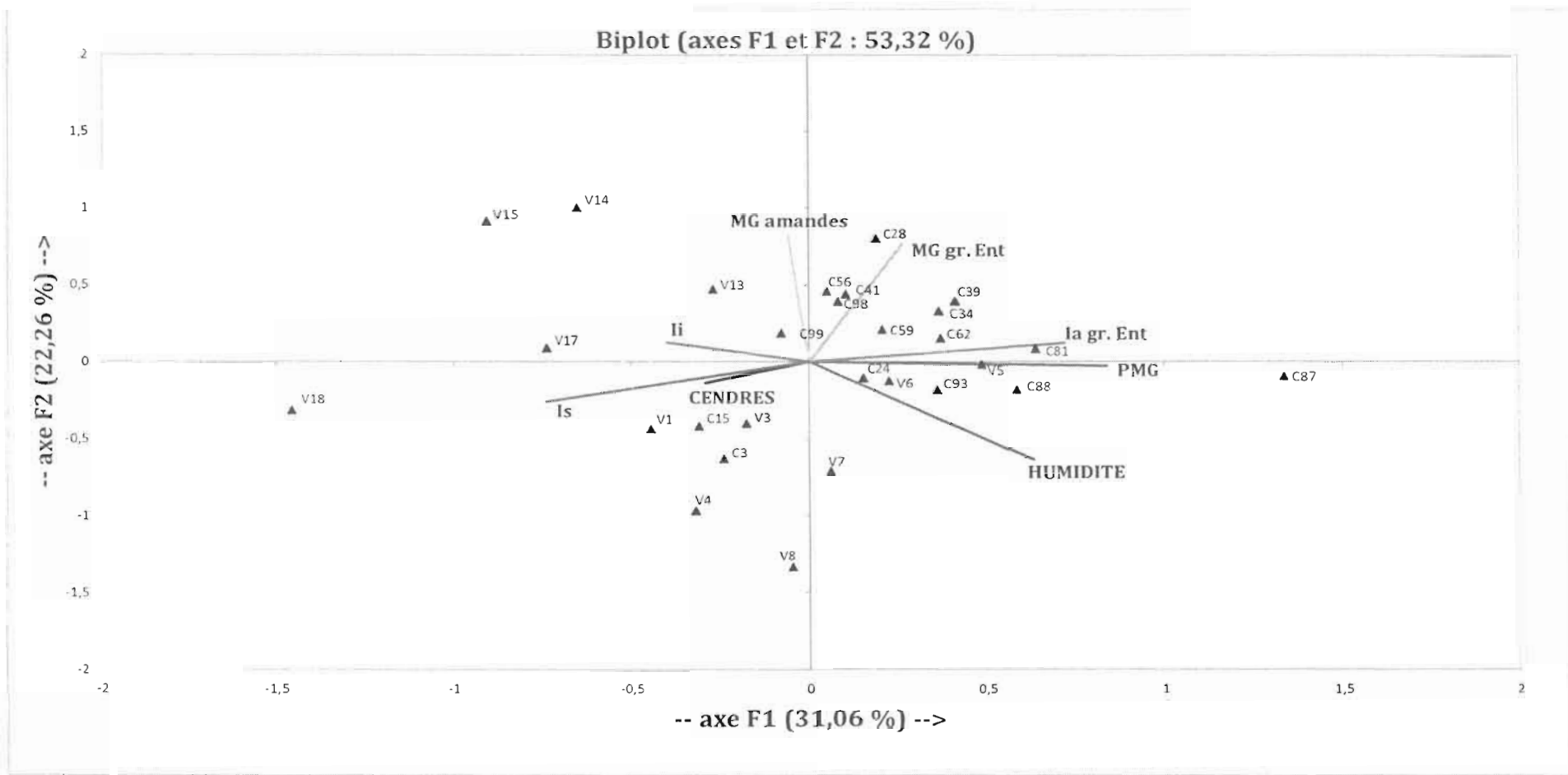


Figure 11 : Représentation graphique de l'ACP

- ✓ Les cultivars C28, C34, C39, C41, C56, C59, C62, C98, C99 et les variétés V13, V14, V15 sont marqués par leur rapprochement à l'axe des variables matières grasses graines entières (MG gr. Ent) et matières grasses amandes (MG amandes). Ce qui signifie que ces échantillons sont plus riches en lipides. La teneur en huile étant la caractéristique la plus visée dans cette étude, ces espèces seront les plus recommandées dans le projet du choix variétal.
- ✓ Les variétés V1, V3, V4, V7, V8, V17, V18 et les cultivars C3, C15 sont plus proches de l'axe des variables cendres, Ii et Is. Ce qui signifie que ces échantillons sont principalement riches en composés minéraux (en particulier C3, V1 et V18). De plus, l'analyse globale de l'indice d'iode des huiles extraites indique que l'ensemble des cultivars et des variétés (sauf V4) présente un indice compris entre 100-150. Ainsi, ces huiles peuvent être répertoriées dans la catégorie des huiles semi-siccatives selon la classification traditionnelle des huiles végétales suivant leur indice d'iode (classification donné par Baud (cité par Ndzouli, 2011)). Cela témoigne éventuellement de leur richesse en acides gras insaturés.
- ✓ Les cultivars C24, C81, C87, C88, C93 et les variétés V5, V6 sont surtout caractérisés par les variables PMG, humidité et Ia gr.Ent. Ce qui traduit fortement la grosseur et la densité de leurs akènes (graines). Par ailleurs, ces échantillons sont plus humides et présentent une acidité élevée (sauf V6) que les autres. Toutefois, nous estimons que la teneur en eau de l'ensemble des échantillons étudiés est moyennement acceptable.

III.3.2. Les cultivars et variétés identifiés

L'identification des variétés et cultivars a été faite sur la base de l'analyse des composantes principales avec une attention particulière sur certains paramètres de qualité (%MG, %Cendres, Ia, PMG). Il est impératif de souligner que l'ACP (Fig.11) a été réalisé et retenue suite à une analyse multivariée c'est-à-dire plusieurs combinaisons des différents paramètres étudiés. Ainsi, au terme de ces analyses nous proposons les cultivars **C28, C34, C39, C87, C98, C99** et les variétés **V1, V13, V14, V15** comme espèces présentant un potentiel nutritionnel satisfaisant. Par-dessus tout, nous pensons que des études plus approfondies sur ces variétés et cultivars permettront de mieux les caractériser. Le tableau 12 montre les cultivars et variétés retenus en fonction des paramètres de qualité cités ci-dessus.

Tableau 12: Cultivars et Variétés sélectionnés en fonction des caractères retenus.

Paramètres	PMG	%MG (graines)	%MG (amandes)	%Cendres	Indice d'acide (graines)	Indice d'acide (amandes)
CULTIVARS						
C28	66,95±0,03	44,65±1,92	50,59±0,07	4,19±0,03	5,73±0,03	1,76±0,02
C34	65,91±0,06	44,98±1,50	48,11±0,07	3,94±0,01	6,27±0,09	4,12±0,07
C39	72,41±0,09	45,15±1,57	48,43±0,013	4,22±0,02	5,44±0,17	2,30±0,02
C87	79,98±0,07	40,65±1,44	49,21±0,06	4,37±0,02	8,72±0,11	4,12±0,04
C98	71,35±0,07	45,66±1,16	48,59±0,06	4,31±0,01	3,20±0,04	4,87±0,08
C99	68,48±0,12	41,87±1,36	49,72±0,04	4,02±0,02	3,46±0,10	4,79±0,14
VARIETES						
V1	72,21±0,02	40,99±1,29	45,80±0,04	5,48±0,02	4,12±0,10	1,79±0,05
V13	51,36±0,14	43,20±0,68	50,41±0,06	5,56±0,03	6,47±0,05	2,33±0,13
V14	45,63±0,02	44,52±0,06	52,24±0,24	3,90±0,02	4,46±0,09	3,35±0,10
V15	47,00±0,05	44,50±0,65	50,49±0,51	3,35±0,02	3,84±0,13	2,37±0,08

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans le cadre de la recherche de nouvelles ressources en produits oléagineux au Burkina Faso, le tournesol (*Helianthus annuus L.*) représente l'une des plantes de choix du fait de la richesse de ses graines en corps gras. Ces graines peuvent également être sources de nutriments et d'énergie. Notre étude a porté sur l'analyse des caractéristiques physiques et biochimiques des graines (semences) de 16 cultivars et de 12 variétés de tournesol. En outre, les analyses biochimiques révèlent que les graines de tournesol ont un potentiel en huile et en matière minérale élevé. Ces analyses nous ont également permis de classer nos cultivars et variétés dans la catégorie des tournesols à teneur moyenne en acide oléique suivant la détermination de l'indice d'iode des huiles extraites.

En se basant sur l'ensemble de ces caractéristiques physiques et biochimiques, les cultivars C28, C34, C39, C87, C98, C99 et les variétés V1, V13, V14, V15 ont été retenus comme présentant de meilleures caractéristiques pour être vulgarisés au Burkina Faso.

Cependant, pour une meilleure valorisation du tournesol au Burkina Faso, nous souhaitons qu'un approfondissement de l'étude soit effectué, notamment sur :

- les facteurs agri-environnementaux et l'itinéraire agricole,
- la détermination du profil en acides gras des huiles,
- l'évaluation de la teneur en vitamines et des différents éléments minéraux des huiles,
- l'appréciation de la qualité organoleptique de ces huiles de tournesol.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ayerdi Gotor A. (2008).** Etude des variations des teneurs et de la variabilité des compositions en tocophérols et en phytostérols dans les akènes et l'huile de tournesol (*Helianthus annuus L.*) Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France. 196p.
- Ayerdi Gotor A., Berger M., Labalette F., Centis S., Daydé J. and Calmon A. (2006).** Variabilité des teneurs et compositions des composés mineurs dans l'huile de tournesol au cours du développement du capitule : Partie I – Tocophérols. *O.C.L : Oléagineux Corps gras Lipides* 13 (2) : 206-212.
- Ebrahimi A. (2008).** Contrôle génétique de la qualité des graines chez le tournesol (*Helianthus annuus L.*) soumis à la sécheresse. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France. 177p.
- Evon M. P. (2008).** Nouveau procédé de bioraffinage du tournesol plante entière par fractionnement thermo-mécano-chimique en extruder bi-vis : étude de l'extraction aqueuse des lipides et de la mise en forme du raffinat en agromatériaux par thermomoulage. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France. 388p.
- FAO/OMS. (2013).** Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires. Commission du Codex Alimentarius, 23ème session Langkawi, Malaisie, 21p.
- FranceAgriMer.** Bilan céréaliier /oléo-protéagineux. Campagne 2011/2012- Perspectives 2012/2013, 238p.
- INERA. (2013).** Projet de développement de la production commerciale du Tournesol au Burkina Faso.
- Kartika I. A. (2005).** Nouveau procédé de fractionnement des graines de tournesol : expression et extraction en extrudeur bi-vis, purification par ultrafiltration de l'huile de tournesol. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France. 339p.
- Lambert J. (2005).** Huiles végétales – IFHVP. *2000 plantes oléagineuses répertoriées*, 22-23.
- Mirleau-Thebaud V. (2012).** Effet des contraintes mécaniques du sol sur la limitation des rendements du tournesol. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France. 282p.
- Morin A. (2003).** Le tournesol oléique: une production innovante. *Oléoscope*, 70, 21-23.
- Nana A. B. I. (2012).** Culture du coton et diversification agricole vers le tournesol : cas de la zone cotonnière de la SOFITEX. Mémoire pour l'obtention du diplôme de licence en économie du développement ; option: macroéconomie et gestion du développement. Université Catholique de l'Afrique de l'Ouest/Unité Universitaire à Bobo-Dioulasso (UCAO/UUB). 25p.

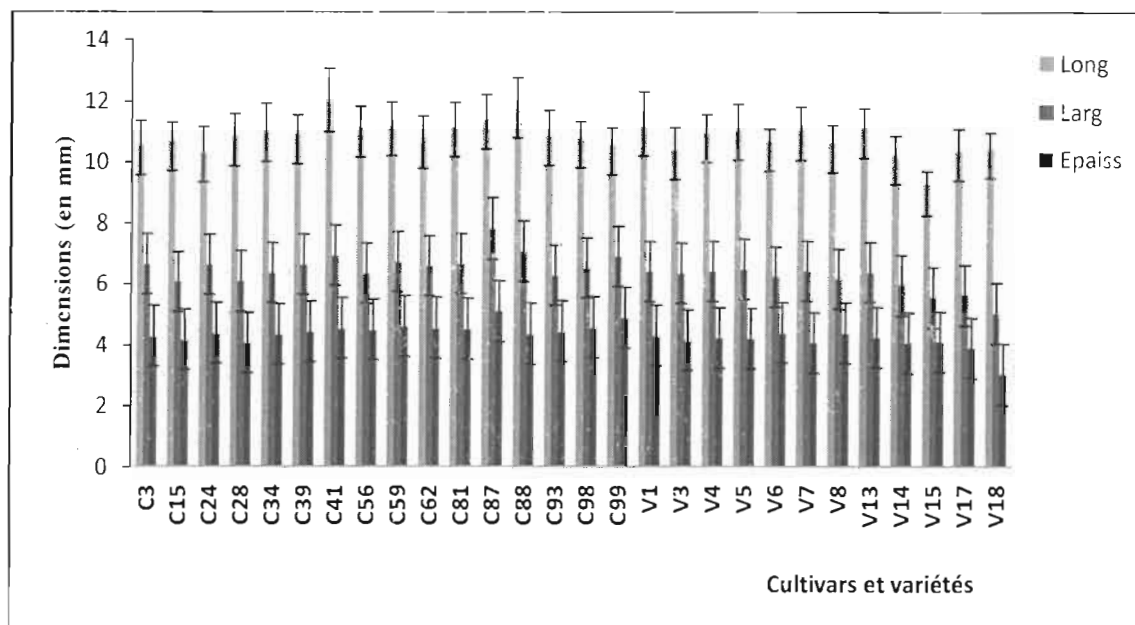
- Ndzouli N. P. (2011).** Sécurité alimentaire: Evaluation du taux de rancissement des huiles alimentaires (cas des huiles de friture). Yaoundé: Mémoire pour l'obtention du Diplôme de Professeur de l'Enseignement Secondaire Général deuxième grade, Université de Yaoundé I, 7-9.
- Nouri L. (2011).** Identification de marqueurs physiologiques de la tolérance à la sécheresse chez le tournesol (*Helianthus annuus* L.). Thèse de doctorat, Université des Frères Mentouri Constantine, Algérie.
- OCL. (2014).** BURKINA FASO : Une approche innovante partagée par Agropol et la FAO. *EDP Sciences*, 21(1), 101, 5 p, DOI : 10.1051/ocl/2013062. Disponible sur « www.ocl-journal.org/articles/ocl/pdf/2014/01/130043.pdf ». (Consulté le 29.07.2014).
- Rao N. K., Hanson J., Dulloo E. M., Ghosh K., Nowell D., and Larinde M. (2006).** Manuel de manipulation des semences dans les banques de gènes, 141-147.
- Roche J. (2005).** Composition de la graine de tournesol (*Helianthus annuus* L.) sous l'effet conjugué des contraintes agri-environnementales et des potentiels variétaux. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France. 305p.
- Schilling E. E. and Heiser, C.B. (1981).** Infrageneric classification of *Helianthus* (Compositae). *Taxon*, 30: 393-403.
- Scotti G. (1984).** Analyses physique des grains. In « guide pratique d'analyse dans les industries des céréales ». Ed Tec et doc Lavoisier Paris ISBN : 2-85206-081-7, pp : 107-131.
- Sérieys H. (1993).** Les voyages du tournesol. *La garance voyageuse*, 29, 13-17.
- Somé H. (2014).** Caractérisation physico-chimique et composition biochimique des graines et des huiles d'*afzelia africana* et d'*hannoa undulata* en provenance de *Banfara (Burkina Faso)*. Mémoire pour l'obtention du diplôme de maîtrise des Sciences et Techniques, Burkina Faso.
- Temagout M. (2009).** Analyse de la variabilité de la réponse au stress hydrique chez des lignées recombinantes de Tournesol (*Helianthus annuus* L.). Mémoire pour l'obtention du diplôme de magistère en Biotechnologies Végétales, Université de Mentouri, Constantine, Algérie. 106p.

ANNEXES

Annexe 2 : Résultats (moyennes + écart type) du poids de mille graines, de l'indice d'iode et de saponification des échantillons de tournesol analysés (cultivars et variétés).

Référence échantillon	PMG (g)	Indice d'iode (mg I ₂ /100 g)	Indice de saponification (mg KOH/g)
Cultivars			
C3 AMMHT 07	59.50±0,06	112,29±0,03	191.65±0,86
C15 AMMHT 29	57,93±0.08	114,69±0.03	190.91±1,25
C24 AMMHT39	68,86±0.08	103,85±0,03	189.14±0,68
C28 AMMHT48	66,95±0,03	103,91±0,07	187.96±0,29
C34 AMMHT 63	65,91±0,06	103,46±0,10	189.35±0,84
C39 AMMHT 76	72,41±0.09	102,47±0.08	188.89±0.06
C41 AMMHT 81	68,97±0,03	106,65±0,03	189.99±1,04
C56 AMMHT121	60,37±0,09	111,31±0,07	186.16±0,98
C59 AMMHT 126	68,76±0,19	103,94±0,05	190.52±0,25
C62 AMMHT 130	65,95±0,05	104,60±0,07	188.36±0,07
C81 AMMHT 176	66,49±0,03	105,40±0,00	186.66±0,03
C87 AMMHT 201	79,98±0,07	101,70±0,05	187.26±1,11
C88 AMMHT 204	72,17±0,09	112,59±0,11	186.32±0,06
C93 AMMHT 224	64,15±0,05	110,41±0,07	189.78±0,12
C98 AMMHT 232	71,35±0,07	114,36±0,08	189.29±0,72
C99 AMMHT 235	68,48±0,12	118,31±0,02	189.34±0,17
Variétés			
V1 CETIOM 265	72,21±0,02	103,68±0,02	196.48±2.40
V3 AMSOL	58,22±0,11	109,62±0,13	188.89±1,04
V4 PEREDOVICK SOUROU	48,75±0,03	96,16±0,15	194.53±0,75
V5 MIRAMAR	69,99±0,09	112,35±0,26	187.63±1,61
V6 CABURE	72,69±0,06	111,46±0,09	186.88±1,30
V7 GUYACAN	59,93±0,10	108,51±0,08	189.84±1,08
V8 HAVANA F1	64,21±0,07	109,62±0,30	190.94±1,02
V13 BOSPHORA F	51,36±0,14	108,02±0,06	189.13±0,70
V14 NEOMA F1	45,63±0,02	112,68±0,05	190.73±0,95
V15 NEOMA IF2	47,00±0,05	116,21±0,23	193.39±0,78
V17 NK ADAGIO F2	52,04±0,07	105,40±0,32	194.45±0,04
V18 INAYA F1	39,39±0,00	117,43±0,26	193.68±1,33

ANNEXES



Annexe 1 : Mensuration des graines de tournesol (cultivars et variétés)

Annexe 3 : Quelques représentations graphiques de l'analyse des composantes principales

