



N° d'Ordre : 50 /2020

Formation Doctorale : RNE2D

Discipline : Biologie

Spécialité : Gestion et Valorisation des Bioressources

Laboratoire : laboratoire d'ingénierie, d'électrochimie, de modélisation et d'environnement

THESE DE DOCTORAT

Présentée par
EL HANAFI Laila

Valorisation agroalimentaire et phytothérapeutique de la variété *Sesamum indicum* issue de la région de Beni Mellal -Khenifra (Maroc)

Soutenue le 02 / 11 / 2020 devant le jury composé de :

Pr TALEB Mustapha	FSDM - Fes	Président
Pr. ABDELLAOUI Abdelfattah	FSDM-Fes	Rapporteur
Pr. ECHCHGADDA Ghizlane	ENA-Meknes	Rapporteur
Pr. EL BACHIRI Ali	FS- Oujda	Rapporteur
Pr. ELGHADRAOUI Lahsen	FST-Fes	Examineur
Pr. BENCHEIKH Rachid	FST - Fes	Examineur
Pr. GRECHE Hassane	FST - Fes	Directeur de thèse

Année universitaire : 2019-2020

Dédicace

Je dédie ce travail à mon cher mari Omar

Aucun mot ne pourrait exprimer ma reconnaissance...

Merci d'avoir partagé la vie difficile d'une femme doctorante. L'énergie complaisante que tu m'as régulièrement procurée était le baume au cœur le long de ce chemin dense et intense.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma reconnaissance la plus profonde à mon directeur de thèse, Professeur Hassan GRECHE, pour l'orientation et l'accompagnement qu'il m'a prodigué, tout au long de ce projet de thèse. Je témoigne ma profonde gratitude pour les discussions constructives et l'intérêt manifesté à l'égard de ce travail, sans oublier la confiance accordée à ma personne et qui m'a amplement servi, à la lumière de vos conseils, pour réussir ce projet. Je vous saurai gré de m'avoir donné la chance de vivre cette expérience unique dans le domaine de la recherche scientifique.

Je ne peux trouver les mots qui remercieront assez Professeur Lahsen ELGHADRAOUI de m'avoir accueilli au sein de son laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Environnement, pour achever ce projet qui a été amorcé à l'Institut National des Plantes Médicinales et Aromatiques. Je vous remercie pour votre aide précieuse. J'étais particulièrement impressionnée par vos qualités humaines et vos remarques méthodologiques qui m'ont permis d'aiguiser ainsi ma réflexion sur le sujet de thèse.

J'aimerais adresser également mes remerciements les plus respectueux au Doyen de la Faculté des Sciences Dhar El Mehraz, Professeur Mohammed BENLEMLIH et au Directeur du Centre d'Etudes Doctorales (CED), Professeur El HASSOUNI Mohammed. Je vous remercie pour l'accueil et les facilités que vous m'avez accordées.

J'adresse toute ma reconnaissance au Pr TALEB Mustapha , de la Faculté des sciences Dhar El Mahraz d'avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Que madame ECHCHGADDA Ghizlane et messieurs EL BACHIRI Ali, ABDELLAOUI Abdelfattah, BENCHIKH Rachid, ELGHADRAOUI Lahsen, membres de jury, trouvent ici l'expression de ma reconnaissance d'avoir accepté de juger mon travail.

Un grand merci à tous mes amis et collègues, docteurs et futurs docteurs avec lesquelles j'ai tissé des relations de collaboration, d'apprentissage, de fructification et de respect mutuel. Je vous souhaite une vie pleine de succès et de réussite.

Chaimae, Mariame, Fatimazohra, Zineb, Houria, Kenza, Smahane, Siham, Adil..... Merci de votre noble amitié

Au terme de ce prélude, je voudrais associer à ces remerciements ma famille proche ; mes parents et mes frères et sœurs, qui m'ont soutenu et cru en moi au long de ce parcours. Spécialement la noble femme qui m'a extrêmement soutenu aux moments les plus difficiles de ma vie, MAMAN, que Dieu te donne longue vie pour que je puisse combler tes attentes.

Publications et communications

Ce mémoire a été mené sous la direction de Monsieur GRECHE Hassane, Professeur habilité à la faculté des sciences et techniques de Fès. Les travaux de recherche dans le cadre de cette thèse ont été réalisés à l'Institut National des Plantes Médicinales et Aromatiques de Taounat (actuellement Agence Nationale des Plantes Médicinales et Aromatiques) et au laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle et Environnement à la FST –Fès

Les publications et communications suivantes sont le fruit de ces travaux :

Publications internationales

- **Laila Elhanafi**, Mariame Houhou, Chaimae Rais, Ismail Mansouri, Lahsen Elghadraoui, Hassane Greche. 2019. "Impact of Excessive Nitrogen Fertilization on the Biochemical Quality, Phenolic Compounds and Antioxidant Power of *Sesamum indicum* L Seeds". Journal of food quality. 2019, 6
- **Laila Elhanafi**, Zineb Benkhadda, Chaimae Rais, Mariame Houhou, Siham Lebtar, Adil Channo, Hassane Greche. 2020."Biochemical composition, antioxidant power and anti-inflammatory of dehulled sesame seeds and its coat fraction". Jordan Journal of biological sciences. 13: 3
- **Laila Elhanafi**, Kenza Bouayad, Chaimae Rais, Mariame Houhou, Ismail Mansouri, Lahsen Elghadraoui, Hassane Greche. 2019. "Evaluation de la tolérance de *Sesamum indicum* L. au stress hydrique aux stades germinatif et végétatif". Bulletin de l'Institut Scientifique. 41 : 43 - 49
- Chaimae Rais, Abderrahim Lazraq, Mariame Houhou, **Laila Elhanafi**, Amal Fennane, Lahsen ElGhadraoui, Ismail Mansouri, Said Louahlia. 2017 "Morphometrics and morphological comparative study of three natural populations of *Zizyphus Lotus*". Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 8(1), 1558-1564
- Chaimae Rais, Chaimae Slimani, Mariame Houhou, **Laila Elhanafi**, Faouzi Errachidi, Lahsen El Ghadraoui, Abderrahim Lazraq, Said Louahlia. 2019 "Morphological and Physiological Responses of Three Populations of *Zizyphus lotus* L. on Seedling Stage Under Saline stress". Asian Journal of Biological Sciences.
- Rais Chaimae, Benidir Meryem, Slimani Chaimae, EL-Ouazna Bouchamma, Ettadili Hamza, **ElHanafi Laila**, EL Ghadraoui Lahsen, Benjelloun Meryem. 2019 "Antimicrobial and radical

scavenging activities of Moroccan *Ziziphus lotus* L. seeds". The Journal of Phytopharmacology. 8(4): 155-160

- Bouayad Kenza, Derraz Khalid, El Allaoui Nouha, Idrissi Zineb, **El Hanafi Laila**, Mansouri Ismail & Rachiq Saad. 2019. Level of the lacustre "dayet aoua" middle Atlas Morocco. GSJ, 7(3).

Communications orales

- **Elhanafi Laila**, Elyousfi Kamal, Rais Chaimae, Houhou Mariame, Bouayad Kenza, Hinchhi Imane, Elghadraoui Lahsen, Greche Hassane. Nitrogen fertilization effect on biochemical yield of *Sesamum indicum*. 2ème Edition du Congrès International Substances Naturelles et Développement Durable, du 19 au 21 Mai 2016 à Faculté des Sciences, Rabat
- **Elhanafi Laila**, Benkhadda Zineb, Bouayad Kenza, Nekhla Houria, Elghadraoui Lahsen, Greche Hassane. Biochemical composition and antioxidant power of dehulled sesame seeds and its coat. 2ème Forum International sur les Plantes Aromatiques et Médicinales : Savoir ancestral et Innovation. 28-30 Novembre 2019, FST-Fès. .
- **Elhanafi Laila**, Greche Hassane. Effet de la densité de plantation sur le rendement quantitatif Et qualitatif du *Sesamum indicum*. Forum International sur les Plantes Aromatiques et Médicinales : Valorisation et Innovation, 26-28 Novembre 2015, FST- Fès
- **Elhanafi Laila**, Houhou Mariame , Fnnane Amal, Najjari Ilhame, Mansouri Ismail, Elghadraoui Lahsen, Greche Hassane. Evaluation de la tolérance de *Sesamum indicum* au stress hydrique au stade végétatif. Journée nationale : Impact des Changements Climatiques Sur le Fonctionnement des Ecosystèmes, 23Novembre 2015 à la FST-Fès.
- **Elhanafi Laila**, Houhou Mariame, Rais Chaimae, Bouayad Kenza, Elghadraoui Lahsen, Greche Hassane. Effect of water limitation on biomass production and biochemical parameters of sesame. Premier Forum National de Biotechnologie Environnementale, Une voie vers le développement durable. 22 Décembre 2016, Faculté poly-disciplinaire, Taza.

Communications affichées

- **Elhanafi Laila** & Greche Hassane. Effet de la fertilisation sur le rendement du *Sesamum indicum* affichée. Congrès international Biotechnologie au Service de la Société BioSeS. 22-24 Octobre 2015, FST-Fès.
- **Elhanafi Laila**, Bouayad Kenza, Houria Nekhla, Hiba Bouzaid, Elghadraoui Lahsen, Greche Hassane. Evaluation de la tolérance de *Sesamum indicum*. Au stress hydrique au stade germinatif. 2ème Forum International sur les Plantes Aromatiques et Médicinales : Savoir ancestral et Innovation. 28-30 Novembre 2019, FST-Fès.

- **Elhanafi Laila**, Elyousfi Kamal, Rais Chaimae, Houhou Mariame, Bouayad Kenza, Hinch Imane, Elghadraoui Lahsen, Greche Hassane. Growth and reproductive response of *Sesamum indicum* in Morocco to different levels of nitrogen. 2^{ème} Edition du Congrès International. 2^{ème} Edition du Congrès International Substances Naturelles et Développement Durable. 19-21 Mai 2016 à Faculté des Sciences, Rabat
- **Elhanafi Laila**, Rais Chaimae, Houhou Mariame, Bouayad Kenza, Elghadraoui Lahsen, Greche Hassane. Effect of water limitation on morphologic parameters of sesame. Premier Forum National de Biotechnologie Environnementale, Une voie vers le développement durable. 22 Décembre 2016, Faculté poly-disciplinaire, Taza.
- **Elhanafi Laila**, Najjari Ilhame, Houhou Mariame, Bouayad Kenza, Salma Mekkaoui, Mouad Rochdi, Elghadraoui Lahsen, Greche Hassane. Effet de la contrainte saline sur la germination et la croissance de quelques provenances marocaines de sésame. Journée Nationale : Impact des Changements Climatiques Sur le Fonctionnement des Ecosystèmes. 23Novembre 2015 à la FST-Fès.
- **Laila Elhanafi**, Hassan Greche. Rendement biologique du sésame suite à différents niveaux de fertilisation (NPK). 2^{ème} journée de l'environnement : Impact de la pollution sur la population. 23 Mai 2015. Faculté des sciences, Kenitra.
- **Laila Elhanafi**, Smahane Boukhira, Reda Lagziz, Sihame Labter, Ilhame Najjari, Zineb Benkhadda, Elghadraoui Lahsen, Greche Hassane . Phytochemical screening and anti-inflammatory activity of extract of *Sesamum indicum*. Deuxième journée du doctorant en biologie de l'USMBA. 10 Mai 2015, FST-Fès

Prix

- **2^{ème} Prix** de la meilleure communication affichée. Journée nationale : Impact des Changements Climatiques Sur le Fonctionnement des Ecosystèmes, le 23Novembre 2015 à la FST-Fès.

Résumé

Le but de notre travail est de contribuer à une étude de cette espèce ; la démarche développée consiste à faire appel à des analyses morphométriques, quantitatives et qualitatives, ainsi qu'un screening des activités biologiques des échantillons issus de chaque traitement utilisé. Pratiquement, une expérience a été menée dans deux conditions expérimentales différentes (en serre et au champ), en utilisant un taux croissant d'azote. Les paramètres de croissance, la composition biochimique et l'activité antioxydante ont été évalués. Ainsi, la fertilisation a permis d'augmenter tous les paramètres agronomiques. De plus, en termes de qualité biochimique, les taux d'azote élevés ont favorisé l'accumulation des protéines au détriment de la teneur en huile et en sucres. De même, la fertilisation azotée a perturbé l'absorption de tous les éléments minéraux étudiés, la production des polyphénols totaux et des flavonoïdes ainsi que le pouvoir antioxydant. La dernière partie de ce travail consiste à suivre la composition biochimique et phytochimique des graines de sésame au cours d'un procédé de décortilage. Ainsi, le profil biochimique des graines décortiquées s'est montré majoritairement concentré en sucres solubles totaux, en protéines et en huile. Contrairement aux minéraux qui ont été retrouvés répartis entre la fraction interne (cotylédone) et externe (tégument). De plus, l'extrait hydro-méthanolique du tégument s'est montré riche en polyphénols totaux et flavonoïdes et a enregistré des capacités biologiques intéressantes. En effet, des résultats significatifs ont été obtenus pour le piégeage du radical libre DPPH, l'activité antioxydante totale, l'activité anti-inflammatoire et l'activité cicatrisante. En outre, pour évaluer l'effet de la torréfaction sur les graines de sésame, un ordre température/temps croissant a été utilisé. D'après les données obtenues, il semble se dégager d'importants résultats. En effet, parmi toutes les combinaisons utilisées, le couple (140°C/40min) semble présenter le meilleur choix pour augmenter la qualité nutritive des graines de sésame, en effet la teneur en protéines, en huile, en sucres, en polyphénols et en flavonoïdes a été augmentée avec 27,95% , 10,3% , 29,62% , 7,89% et 13,56% respectivement. Ce choix a été validé également par le test de dégustation ; d'ailleurs tous les enquêtés ont opté pour le même couple. Finalement, la dernière partie a permis d'étudier les voies de valorisation des graines de sésame transformées. Par ailleurs, l'évaluation sensorielle nous a permis de caractériser différents produits formulés à base de sésame. Ainsi, une purée de sésame ajustée avec du miel à 10% a enregistré les notes des descripteurs les plus élevées.

Mot clés : *Sesamum indicum*, fertilisation azotée, décortilage, torréfaction, composition biochimique, activités biologiques

Abstract

Sesamum indicum is one of the most important ancient oil crops in the world. In fact, this plant, in particular its seeds, is used for food, medicinal and industrial purposes.

On the other hand, nitrogen is an essential nutrient for plants life cycle. However, the excessive use of this element causes serious problems in agriculture. This can disrupt the development of many important plants. Initially, in this work we aim to evaluate the effect of high levels of nitrogen on growth parameters, primary and secondary metabolites and the antioxidant activity under different levels of N supply.

Results showed that all doses of treatment had caused a marked increase in growth parameters. However, the excessive nitrogen supply had a serious effect on the quality of sesame seeds. In fact, N fertilizer promoted the accumulation of proteins in detriment of oil and sugars. Also, total phenolic, flavonoids content and antioxidant activity showed a significant decrease.

The second axis provides an evaluation of the biochemical composition, antioxidant, anti-inflammatory and cicatrising activities of dehulled sesame seeds *Sesamum indicum* and its coat fraction. Results analysis of our investigation showed that the level of total fatty oil, total proteins and total sugars were largely present in dehulled sesame seeds. However; these compounds were significantly decreased in the coat fraction. On the contrary, the mineral content can be five times higher in the coat fraction, especially for calcium, compared to dehulled seeds. Also, quantity of total phenolic and flavonoids was highest in the hydro-methanolic extract of seeds coat. The same extract exhibited anti-inflammatory activity and antioxidant power, demonstrated by significantly decreasing in inflammation induced by carrageen in rats, significant antioxidant activity (DPPH) and highest cicatrising activities.

Furthermore, our investigations are focused also on the study of the effect of roasting on the quality of sesame seeds. Significant results, in terms of total fatty oil, total proteins, total sugars, nutriments, total phenolic and flavonoids content and antioxidant activity, were showed in the case of use of the combination (140°C/40min).

Finally, the sensory properties of six formulations based on sesame seeds were studied. Supplementation of sesame paste with honey (10%) was showed the best sensory profiling of different products.

Key Words: *Sesamum indicum*, fertilization, dehulling, roasting, biochemical composition, biological activities

Liste des figures

Figure 1: Tige de <i>Sesamum indicum</i>	7
Figure 2 : Fleur de <i>Sesamum indicum</i>	7
Figure 3: Fruits de <i>Sesamum indicum</i>	8
Figure 4: Graines de <i>Sesamum indicum</i>	8
Figure 5 : Coupe longitudinale d'une graine de sésame	8
Figure 6 : Structure de base des flavonoïdes	12
Figure 7: Structure de différents flavonoïdes	13
Figure 8 : Structure de la sésamine	14
Figure 9: Exemple de lignanes glycosidiques	15
Figure 10: Voie d'assimilation de l'azote nitrique par la plante	18
Figure 11: Processus de nitrification (1) et dénitrification (2)	19
Figure 12: Courbe de réponse des plantes envers l'azote	21
Figure 13: Evolution de l'utilisation des engrais (tonne) au Maroc entre 2009 et 2020	22
Figure 14: Evolution de la consommation des engrais au Maroc (ONU, 2006)	23
Figure 15: Différentes étapes de la réaction de Maillard (Hodge, 1953)	27
Figure 16: Réponses de la cellule au stress oxydatif (Halliwell, 1984)	30
Figure 17 : Schématisation de la réaction inflammatoire (Bessout, 2012)	34
Figure 18: Contribution de l'inflammation dans trois types de pathologies inflammatoires ..	36
Figure 19: Molécule de l'aspirine	37
Figure 20: Exemples de molécules anti-inflammatoires stéroïdiens (Henzen, 2003)	37
Figure 21: Schématisation d'une peau brûlée superficiellement et profondément au 2ème degré en comparaison à une peau normale	40
Figure 22: Situation géographique des deux sites couverts par l'enquête	43
Figure 23: Parcelles cultivées à l'INPMA	46
Figure 24: Culture de sésame, stade plantule	46
Figure 25: Capsules de sésame, stade maturité	46
Figure 26: Fleur de sésame, stade floraison	46
Figure 27: Cycle de développement de <i>Sesamum indicum</i> dans des conditions contrôlées ...	50
Figure 28 : Réaction entre le DPPH et l'antioxydant (AH)	53
Figure 29: Etapes de décortiquage des graines de <i>Sesamum indicum</i>	56
Figure 30 : Préparation des rats pour la réalisation des brûlures	62
Figure 31: Brûlure réalisée sur la partie dorsale d'un rat	62
Figure 32: Période de semis de sésame selon les agriculteurs enquêtés	72
Figure 33: Niveaux de fertilisation utilisée par les agriculteurs (kg/ha)	73
Figure 34: Produits phytosanitaires utilisés par les agriculteurs	73
Figure 35: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur la longueur des capsules ; N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)	78
Figure 36: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur le nombre de capsules par plante ; N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)	78
Figure 37: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur le nombre des graines par capsules ; N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)	79

Figure 38: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur le poids de 1000 graines ; N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha).....	79
Figure 39: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur la longueur des plantes ; N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha).....	79
Figure 40: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur la biomasse racinaire ; N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha).....	79
Figure 41: Effet de différents niveaux de fertilisation sur le rendement en graines ; N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha).....	80
Figure 42 : Aspect du système racinaire de la plante <i>Sesamum indicum</i> sans fertilisation.....	80
Figure 43 Aspect du système racinaire de la plante <i>Sesamum indicum</i> fertilisée avec le niveau N4	80
Figure 44: Taux de germination des semences de <i>Sesamum indicum</i> soumises à différents potentiels hydriques.....	81
Figure 45: Moyenne journalière de germination des semences de <i>Sesamum indicum</i> soumises à différents potentiels hydriques.....	82
Figure 46: Temps de 50% de germination des graines de <i>sesamum indicum</i> soumises à différents potentiels hydriques	82
Figure 47: Poids sec des semences de <i>sesamum indicum</i> soumises à différents potentiels hydriques	83
Figure 48: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur la capacité de piégeage du radicale libre DPPH. N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha).....	87
Figure 49: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur l'activité antioxydante totale de l'extrait hydro-méthanolique. N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha).....	87
Figure 50: Graines entières de sésame	93
Figure 51: observation microscopique des graines de sésame (Gx80)	93
Figure 52: Observation microscopique des graines de sésame ; A : (Gx2000), B : (Gx4000), Ox : Cristaux d'oxalates.....	93
Figure 53 : Microscopie électronique à balayage des graines de sésame trempées dans une solution de NaHCO ₃ à 5% (A : (Gx2000), B : (Gx4000)) et dans l'eau (C : (Gx2000), D : (Gx4000)).....	94
Figure 54: Piégeage du radical DPPH de l'extrait hydro-méthanolique des graines décortiquées et leurs enveloppes. AA: acide ascorbique, DS: graines décortiquées, SC: teguments	97
Figure 55: Capacité antioxydante totale des extraits hydro-methanoliques de DS (graines décortiquées) et SC (teguments)	98
Figure 56: Activité anti-inflammatoire des extraits hydro-methanoliques de DS et SC. Dic: Diclofénac 1% , T- : témoin négatif.....	99
Figure 57: Variation de la surface moyenne des brûlures provoquées chez les rats	100
Figure 58: Evolution du pourcentage de contraction des brûlures des rats.....	100
Figure 59: Aspects des brûlures chez les différents rats traités du 1er au 24 ème jour	101
Figure 60: Evolution du poids corporel des rats traités.....	102
Figure 61: Effet de la température et la durée de torréfaction sur la teneur en huile	107
Figure 62: Effet de la température et la durée de torréfaction sur la couleur de l'huile	108
Figure 63: Effet de la température et la durée de torréfaction sur l'indice de peroxyde.....	109

Figure 64: Effet de la température et la durée de torréfaction sur l'indice d'iode	110
Figure 65: Effet de la température et la durée de torréfaction sur la teneur en protéines	110
Figure 66: Effet de la température et la durée de torréfaction sur la teneur en sucres totaux.....	111
Figure 67: Effet de la température et la durée de torréfaction sur les polyphénols totaux....	111
Figure 68: Effet de la température et la durée de torréfaction sur les flavonoïdes totaux.....	112
Figure 69: Effet de la température et la durée de torréfaction sur l'activité antioxydante....	112
Figure 70: Représentation des notes données par le jury pour chaque échantillon.....	113
Figure 71: Représentation en radar de l'intensité moyenne pour chaque descripteur	117
Figure 72: Profil sensoriel pour chaque produit testé.....	119

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification du genre <i>Sesamum</i> selon le nombre des chromosomes.....	6
Tableau 2 : Teneur en tocophérols de l'huile d'olive, de sésame et de soja	9
Tableau 3: Composition minérale de la graine de sésame	10
Tableau 4: Classification des familles bioactives présentes dans la graine de sésame.....	11
Tableau 5: Composition en métabolites secondaires de la graine de sésame	11
Tableau 6: Différents fertilisants et leurs niveaux de perte en gaz	21
Tableau 7: Principaux composés obtenus après la réaction de Maillard	28
Tableau 8: Différentes cellules de la peau et leurs fonctions.....	39
Tableau 9: Pansements et leurs caractéristiques	41
Tableau 10: Répartition des agriculteurs selon les deux provinces étudiées	44
Tableau 11: Données climatiques du site expérimental de l'année 2014	45
Tableau 12: Différents potentiels hydriques en fonction de la concentration en PEG 6000 ..	47
Tableau 13: Aspect granulométrique du sol utilisé.....	49
Tableau 14: Barèmes temps /température pour la torréfaction des graines de sésame.....	64
Tableau 15: Différents codes des échantillons des graines de sésame	66
Tableau 16: composition des produits formulés à base de la purée de sésame.....	67
Tableau 17: Solutions utilisées dans le test de reconnaissance des goûts.....	67
Tableau 18: Différentes concentrations des solutions testées (AFNOR, 1993).....	68
Tableau 19: Liste des descripteurs générés utilisés.....	68
Tableau 20: Composition minérale du sol de la station d'étude	77
Tableau 21: Paramètres de germination des graines de sésame soumises à la lumière ou à l'obscurité.....	83
Tableau 22: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur les paramètres morphométriques de <i>Sesamum indicum</i> . N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)	84
Tableau 23: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur la composition biochimique des graines de <i>Sesamum indicum</i> . N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)	85
Tableau 24: Effet de différents niveaux de fertilisation sur la teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux. N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)	86
Tableau 25 : IC50 des extraits issus de différents niveaux de fertilisation azotée.....	87
Tableau 26: Composition biochimique des graines de sésame utilisées.....	92
Tableau 27: Composition biochimique des graines décortiquées (DS) et leurs enveloppes (SC)	95

Tableau 28: Résultats des tests phytochimiques de l'extrait hydro-methanolique	96
Tableau 29: Taux des flavonoïdes par rapport aux polyphénols totaux.....	96
Tableau 30: Effet de la crème à 10% sur le poids relatif des organes	102
Tableau 31: Résultats des corrélations de Pearson entre les descripteurs étudiés	118

Liste des abréviations

BHT : Butylhydroxyanisol hydroxytoluène butylé
Dpph : 2,2- diphényl -1-picrylhydrazyle
EAA : Equivalent d'Acide Ascorbique
EDTA : Ethylène Diamine Tétra Acétique
FeCl₃: Chlorure Ferrique
GOGAT : Glutamate synthase
GS : Glutamine synthétase
HATS : High Affinity Transport System
INPMA : Institut Nationale des Plantes Médicinales et Aromatiques
LATS : LowAffinity Transport System
MCV : maladies cardiovasculaires
MIPs : protéines intrinsèques majeures
NADPH : Nicotinamide Adénine Dinucléotide Phosphate
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
PAM : Plantes Aromatiques et Médicinales
ROS : Reactive Oxygen Species
ROW : Relative Organ Weight
TC : Tanins Condensés
TH : Tanins Hydrolysables
DS: Dehulled seeds
SC: seeds coat

Sommaire

<i>Dédicace</i>	I
<i>Remerciements</i>	II
<i>Publications et communications</i>	III
Résumé	VI
Liste des figures	VIII
Liste des abréviations	XI
INTRODUCTION GENERALE	1
Partie I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	4
A. RAPPEL SUR SESAMUM.....	5
1 Origine et répartition géographique	5
2 Taxonomie	6
3 Biologie de l'espèce	6
4 Composition biochimique de la graine	9
4.1 Huile végétale	9
4.2 Protéines	9
4.3 Carbohydrates	10
4.4 Minéraux	10
4.5 Composés phénoliques	11
4.5.1 Flavonoïdes	12
4.5.2 Tanins.....	13
4.5.3 Lignanes	14
5 Intérêts et activités biologiques des graines de sésame	15
5.1 Activité hypocholestérolémiant e	15
5.2 Activité anti-hypertensive	16
5.3 Activité antioxydante	16
5.4 Activité anti-inflammatoire	16
B. IMPORTANCE DE LA NUTRITION AZOTEE POUR LA CROISSANCE DES PLANTES	16
1 Azote dans la plante	17
2 Fertilisation minérale	18
2.1 Engrais minéraux nitriques et ammoniacaux	19
2.2 Engrais minéral uréique	19
3 Fertilisation azotée: un contexte environnemental et juridique spécial	20
3.1 Fertilisation azotée minérale et risques environnementaux associés	20
3.2 Utilisation des engrais : Données économiques et juridiques	21

C.	TRANSFORMATION AGROALIMENTAIRE DES GRAINES DE SESAME	23
1	Décortilage	24
2	Torréfaction.....	25
D.	ACTIVITES BIOLOGIQUES ETUDIEES	29
1	Activité antioxydante	29
1.1	Stress oxydant	29
1.2	Mécanisme d'action des radicaux libres	30
1.3	Espèces réactives de l'oxygène	31
1.4	Antioxydants	32
1.4.1	Sources enzymatiques des antioxydants	32
1.4.2	Sources non enzymatiques des antioxydants	33
2	Activité anti-inflammatoire.....	34
2.1	Inflammation	34
2.1.1	Inflammation aigue	34
2.1.2	Maladies inflammatoires.....	35
2.2	Anti-inflammatoires	36
2.2.1	Anti-inflammatoires non stéroïdiens.....	36
2.2.2	Anti-inflammatoires stéroïdiens.....	37
3	Activité cicatrisante.....	38
3.1	Peau	38
3.2	Brûlures	39
3.3	Cicatrisation	40
3.4	Traitement des brûlures	41
	Partie II : MATERIEL ET METHODES	42
A.	ENQUETE SUR LES PRATIQUES AGRICOLES RELATIVES A LA CULTURE DE SESAME A LA REGION BENI MELLAL KHENIFRA.....	43
1	Présentation de la zone d'étude.....	43
2	Caractéristiques des deux sites choisis	43
3	Questionnaire de l'enquête.....	44
4	Echantillonnage.....	44
B.	EFFET DE LA FERTILISATION AZOTEE SUR LA MORPHOMETRIE, LA PHYSIOLOGIE ET LA QUALITE PHYTOCHIMIQUE DE <i>SESAMUM INDICUM</i>	44
1	Expérimentation au champ	44
1.1	Conditions de culture	44
1.2	Paramètres mesurés	46
2	Expérimentation en milieu contrôlé	47
2.1	Essai de germination	47

2.1.1	Effet de différents potentiels hydriques sur la germination de <i>Sesamum indicum</i>	47
2.1.2	Effet de la lumière sur la germination des graines de <i>Sesamum indicum</i>	48
2.2	Conduite culturale en milieu contrôlé.....	49
2.2.1	Conditions de culture	49
2.2.2	Paramètres mesurés.....	50
2.2.2.1	Paramètres morpho-métriques	51
2.2.2.2	Paramètres biochimiques	51
2.2.2.2.1	Teneur en huile	51
2.2.2.2.2	Teneur en sucres solubles totaux	51
2.2.2.2.3	Teneur en protéines totales	51
2.2.2.2.4	Teneur en éléments minéraux.....	52
2.2.2.2.5	Dosage des composés phénoliques.....	52
2.2.2.2.5.1	Préparation des extraits hydro-méthanoliques.....	52
2.2.2.2.5.2	Dosage des polyphenols totaux	52
2.2.2.2.5.3	Dosage des flavonoïdes	53
2.2.2.3	Etude de l'activité antioxydante	53
2.2.2.3.1	Test de piégeage de DPPH	53
2.2.2.3.2	Activité Antioxydante Totale	54
C.	ETUDE DE L'EFFET DU DECORTICAGE DES GRAINES DE SESAME SUR LEUR QUALITE BIOCHIMIQUE ET PHYTOCHIMIQUE	54
1	Matériel végétal.....	54
1.1	Caractérisation du matériel végétal	54
1.1.1	Caractérisation biochimique	54
1.1.2	Caractérisation microscopique.....	55
2	Décortilage	55
2.1	Trempage	55
2.2	Frottement mécanique	55
2.3	Séparation des graines décortiquées et leurs enveloppes.....	55
3	Composition biochimique des graines décortiquées et leurs enveloppes	57
3.1	Teneur en huile	57
3.2	Teneur en protéines.....	57
3.3	Teneur en oxalates	57
3.4	Caractérisation des molécules bioactives	58
3.4.1	Criblage phytochimique.....	58
3.4.1.1	Flavonoïdes	58
3.4.1.2	Tanins.....	59
3.4.1.3	Coumarines	59

3.4.1.4	Quinones libres	59
3.4.1.5	Glycosides cardiaques.....	59
3.4.1.6	Oses et holosides.....	59
3.4.1.7	Mucilages.....	59
3.4.2	Dosage des flavonoïdes et polyphénols totaux	60
4	Evaluation des activités biologiques des graines décortiquées et leurs enveloppes	60
4.1	Activité antioxydante	60
4.2	Activité anti-inflammatoire	60
4.2.1	Animaux utilisés	60
4.2.2	Méthode de l'oedème induite par la carragénine	60
4.3	Activité cicatrisante	61
4.3.1	Réalisation des brûlures expérimentales	61
4.3.2	Application des traitements.....	62
4.3.3	Calcul du pourcentage de rétraction.....	63
4.3.4	Etude toxicologique : Toxicité aigüe	63
D.	ETUDE DE L'EFFET DE LA TORREFACTION DES GRAINES DE SESAME SUR LEUR QUALITE BIOCHIMIQUE ET PHYTOCHIMIQUE	63
1	Matériel végétal.....	63
2	Paramètres mesurés.....	64
2.1	Composition biochimique des graines torréfiées	64
2.2	Test de stabilité de l'huile.....	64
2.2.1	Couleur de l'huile	64
2.2.2	Indice de peroxyde	64
2.2.3	Indice d'iode	65
2.3	Activité antioxydante	65
2.4	Test hédonique.....	65
2.4.1	Préparation des échantillons	65
2.4.2	Déroulement du test	66
E.	CARACTERISATION SENSORIELLE D'UN PRODUIT ALIMENTAIRE A BASE DES GRAINES DE SESAME TRANSFORMEES	66
1	Matériel végétal.....	66
2	Formulation.....	66
3	Analyse sensorielle	67
3.1	Test de reconnaissance des saveurs.....	67
3.2	Entraînement des sujets sélectionnés	68
3.3	Déroulement du test.....	68
3.3.1	Test de description	68
3.3.2	Test d'acceptabilité	69

3.3.3	Tests de stabilité.....	69
3.3.3.1	Contrôle organoleptique	69
3.3.3.2	Contrôle microscopique.....	69
Partie III : RESULTATS ET DISCUSSION		70
A.	ENQUETE SUR LES PRATIQUES AGRICOLES RELATIVES A LA CULTURE DE <i>SESAMUM INDICUM</i> A LA REGION BENI MELLAL KHENIFRA	71
1	Caractéristiques sociodémographiques des individus questionnés.....	71
2	Caractéristiques de la conduite culturale	71
2.1	Préparation du sol.....	71
2.2	Date de semis	72
2.3	Méthode de semis.....	72
2.4	Fertilisation	72
2.5	Protection phytosanitaire	73
2.6	Irrigation.....	74
2.7	Récolte.....	74
2.8	Stockage.....	74
Discussion		74
B.	EFFET DE LA FERTILISATION AZOTEE SUR LA MORPHOMETRIE, LA PHYSIOLOGIE ET LA QUALITE PHYTOCHIMIQUE DE <i>SESAMUM INDICUM</i>	76
1	Conduite culturale en plein champ.....	77
2	Conduite culturale au milieu contrôlé.....	81
2.1	Essai de germination.....	81
2.1.1	Effet de différents potentiels hydriques sur la germination	81
2.1.1.1	Taux de germination	81
2.1.1.2	Moyenne journalière de germination.....	81
2.1.1.3	Temps de 50% de germination	82
2.1.1.4	Poids sec	83
2.1.2	Effet de la lumière sur la germination.....	83
2.2	Effet de la fertilisation azotée sur <i>Sesamum indicum</i>	84
2.2.1	Effet sur les paramètres de croissance morpho-métriques.....	84
2.2.2	Effet sur les paramètres biochimiques	84
2.2.2.1	Qualité nutritionnelle	84
2.2.2.2	Qualité phytochimique.....	85
2.2.2.2.1	Teneur en Polyphénols et flavonoïdes totaux.....	85
2.2.2.2.2	Activité antioxydante.....	86
2.2.2.2.2.1	Activité de piégeage du radical DPPH	86
2.2.2.2.2.2	Activité antioxydante totale.....	87
Discussion		88

C.	ETUDE DE L'EFFET DU DECORTICAGE DES GRAINES DE SESAME SUR LEUR QUALITE BIOCHIMIQUE ET PHYTOCHIMIQUE	91
1	Caractérisation du matériel végétal utilisé	92
1.1	Caractérisation biochimique	92
1.2	Caractérisation microscopique	92
2	Effet du trempage dans une solution NaHCO ₃ sur le tégument.....	93
3	Composition biochimique des graines décortiquées et leurs enveloppes	95
4	Caractérisation des molécules bioactives.....	95
4.1	Criblage phytochimique	95
4.2	Dosage des polyphénols et des flavonoïdes totaux	96
5	Evaluation des activités biologiques	97
5.1	Evaluation de l'activité antioxydante	97
5.1.1	Capacité de piégeage du DPPH	97
5.1.2	Capacité antioxydante totale	98
5.2	Evaluation de l'activité anti-inflammatoire	98
5.3	Evaluation de l'activité cicatrisante	99
5.4	Etude toxicologique	101
5.4.1	Effet sur la croissance normale des rats	101
5.4.2	Poids relatif des organes	102
	Discussion	102
D.	ETUDE DE L'EFFET DE LA TORREFACTION DES GRAINES DE SESAME SUR LEUR QUALITE BIOCHIMIQUE ET PHYTOCHIMIQUE	106
1	Composition biochimique	107
1.1	Teneur en huile	107
1.2	Test de stabilité de l'huile	108
1.2.1	Couleur de l'huile	108
1.2.2	Indice de peroxyde	108
1.2.3	Indice d'iode	109
1.3	Teneur en protéines	110
1.4	Teneur en sucres totaux	111
1.5	Teneur en polyphénols	111
1.6	Teneur en flavonoïdes	112
2	Activité antioxydante totale	112
3	Test hedonique	113
	Discussion	113
E.	CARACTERISATION SENSORIELLE D'UN PRODUIT ALIMENTAIRE A BASE DES GRAINES DE SESAME TRANSFORMEES	116
1	Test descriptif.....	117

2	Test d'acceptabilité	118
3	Test de stabilité	119
3.1	Contrôle organoleptique	119
3.2	Contrôle microbiologique	119
	Discussion	119
	CONCLUSION GENERALE ET PERCPECTIVES	121
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	124
	ANNEXES	150

INTRODUCTION GENERALE

Le sésame (*Sesamum indicum* L.), appartenant à la famille des Pédaliacées, est une plante cultivée pour ses graines comestibles. L'intérêt économique de ces graines est lié essentiellement à leur richesse en protéines (17 à 32%) (Kahyaoglu et Kaya 2006), en effet elles présentent un profil d'acides aminés essentiels très diversifié (Achouri *et al.*, 2012). Egalement, leur teneur en huile peut aller jusqu'à 60% (Alpaslan *et al.* 2001), avec une grande diversité des acides gras notamment l'acide oléique et l'acide linoléique (Nzikou *et al.*, 2010).

Une bibliographie abondante fait état des activités biologiques de ces graines. En effet, plusieurs études scientifiques ont permis de dévoiler leur Potentiel hypocholestérolémique (Hirata *et al.*, 1996), anti-inflammatoire (Saab *et al.* 2006), antioxydant (Hemalatha *et al.*, 2004) et anti-hypertensif (Noguchi *et al.*, 2004).

D'autre part, nul ne peut discuter les besoins naturels d'une plante à une alimentation minérale, encore moins la nécessité d'un sol qui peut assurer la croissance optimale dans tous les stades de son cycle de vie. La fertilisation azotée est l'une des pratiques agricoles qui s'est accentuée pour corriger le manque des sols en azote, ce dernier est d'ailleurs considéré comme un facteur limitant de la production végétale. L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) a rapporté récemment que la consommation mondiale des fertilisants est augmentée de 1,9% entre 2012 et 2016. Cette augmentation s'est accompagnée d'une hausse de productivité qui peut dépasser des fois les besoins alimentaires. Il convient en effet de constater malheureusement, qu'aux troubles de santé qui peuvent être liées à la consommation massive de ses substances, s'ajoutent des conséquences dramatiques sur le plan environnemental et écologique (pollution des nappes phréatiques et de l'air ...). Ces grandes problématiques dues à l'utilisation, non contrôlée, des fertilisants azotés attestent qu'une réflexion scientifique sérieuse doit être menée de la part des chercheurs, chacun dans son domaine de spécialité, pour dévoiler amplement les dégâts causés par la non rationalisation de l'utilisation de ces produits.

Par ailleurs, plusieurs chercheurs ont emboîté déjà le pas pour attirer une attention particulière sur l'importance de l'ajustement des apports azotés au strict besoin de la plante concernée, et ce afin de diminuer les pertes en azote (Justes *et al.*, 1994; Vouillot *et al.*, 1998). Dans ce contexte, le point de départ de cette thèse tient d'un modèle cultural proposé afin de minimiser les niveaux de cette substance chimique, largement utilisée par l'agriculteur marocain.

Au Maroc, le secteur agroalimentaire occupe la 2^{ème} place dans le PIB industriel, marquant ainsi des résultats évolutifs années après années. Néanmoins, la baisse de la production des graines oléagineuses a poussé le gouvernement à consacrer un programme (2013–2020) d'une valeur de 421 millions de dirhams destiné à la promotion de cette filière. Des entreprises et coopératives, utilisant des procédés sophistiqués ou encore traditionnels, ont été désormais créés et sont devenues spécialisées dans la production des produits dérivés des graines oléagineuses après un certain nombre d'étapes de transformation.

En considérant la bonne image liée à la consommation de ce type de produits, les scientifiques doivent faire revêtir aux graines de sésame les attributs biologiques valorisables en tenant compte des différentes étapes de leur transformation. Surtout que, vu sous l'angle qualitatif, la transformation des graines de sésame est sujette à plusieurs réactions complexes qui peuvent participer directement dans la construction du produit final. Par ailleurs, le décortilage et la torréfaction sont deux procédés qui semblent jouer un rôle critique dans la chaîne de transformation des graines oléagineuses comme le sésame. Il devient intéressant alors de pencher la réflexion sur une analyse biochimique pour mieux comprendre l'impact de la transformation sur la composition des graines. En d'autres termes, notre démarche ici consiste à faire appel à un modèle biochimique pour suivre la qualité nutritionnelle des graines de sésame au cours de ces deux étapes de transformation (le décortilage et la torréfaction), afin de comprendre le devenir des molécules à forte valeur nutritionnelle.

Ainsi, pour explorer davantage toutes ces questions, nous présentons cette analyse longitudinale dont l'objet est de retracer une trajectoire commençant tout d'abord, par l'encadrement des conditions liées à la fertilisation azotée de la plante étudiée et passant, ensuite, par l'étude de l'impact des procédés de transformation sur sa qualité nutritionnelle et biologique pour finir, enfin, avec une proposition de produit alimentaire formulé à base des graines de sésame.

Afin donc de développer au mieux notre question centrale qui vise la production durable et la valorisation alimentaire de la plante étudiée, nous avons opté pour des problématiques sous-jacentes qui peuvent être décomposées en cinq axes expérimentaux, précédés par un fondement théorique.

Ainsi, la première partie introductive s'attache à définir en premier lieu les concepts et à étaler l'état de connaissances. Pour cela, un cadre théorique multidimensionnel est mobilisé. Ainsi, sera-t-il procédé à la présentation d'un récapitulatif sur la plante de sésame, l'importance et

les limites de la fertilisation azotée, de même, seront décrits les procédés de transformation à savoir le décortilage et la torréfaction et aussi les différentes activités biologiques étudiées.

La deuxième partie étalera les choix relatifs au matériel utilisé et méthodes choisies pour effectuer l'ensemble des analyses morphométriques, biochimiques et photochimiques en se basant sur une approche intégrant l'aspect statistique dans le traitement des résultats trouvés.

Sur le plan pratique (troisième partie), cinq axes vont constituer le socle de ce travail de doctorat :

Dans le premier axe et afin de comprendre le processus, nous nous sommes inscrits dans une démarche indissociable des conditions réelles de cette culture. Nous avons été donc immergés sur le terrain, aux côtés des agriculteurs, dans le but de réaliser des entretiens exploratoires qui permettent justement de s'approprier le contexte de la culture de sésame et de savoir les conditions et les techniques utilisées dans la conduite culturale.

A l'appui de cette enquête, un deuxième axe succèdera avec une étude qui permettra d'apporter des éléments de réponse en ce qui concerne les niveaux convenables de la fertilisation azotée qui permettent de garantir un rendement maximal sans nuire à la composition biochimique de cette plante.

Le troisième axe traitera du procédé de la décortication dans le but de mettre, d'une part, la lumière sur le potentiel nutritionnel des graines décortiquées, et d'autre part, d'étudier les pistes de valorisation phytochimique qui peuvent être attribuées au déchet agroalimentaire issu de ce procédé.

Le quatrième axe suggèrera une série de dosages biochimiques pour caractériser la qualité des graines de sésame suite à une torréfaction à différents niveaux (Temps/Température).

Pour finir avec le cinquième axe qui présentera une analyse sensorielle de quelques produits formulés à base des graines de sésame pour encourager leur consommation.

Partie I : *REVUE BIBLIOGRAPHIQUE*

A. RAPPEL SUR *SESAMUM*

Le Maroc est caractérisé par une grande richesse écologique et climatique, ce qui lui offre une opportunité de diversification de ses activités agricoles. En effet, le secteur agricole est le premier levier du développement social et économique à l'échelle nationale, spécialement en milieu rural où les activités génératrices de revenus restent en premier lieu d'ordre agricole.

D'autre part, malgré la demande croissante en graines oléagineuses dans le marché national, la filière du sésame reste parmi les cultures qui nécessitent un focus exceptionnel pour la développer. D'ailleurs, la région la plus concernée par cette culture au Maroc est celle de BENIMELLAL-KHENIFRA. En effet, selon les statistiques de l'office régional de mise en valeur agricole de TADLA, la superficie recouverte par cette culture a atteint 1110 Ha en 2013/2014, avec une production moyenne de 828 T au cours des 5 dernières années.

Les travaux de recherche sur les atouts des graines de sésame ne sont pas nouveaux ; Elles sont parmi les plantes traditionnellement utilisées non seulement dans la cuisine mais aussi pour des fins thérapeutiques.

Dans le présent chapitre, une attention particulière sera portée sur la biologie de cette plante ainsi que sa composition biochimique, pour tenter d'en repérer les familles de molécules bioactives responsables de ses potentiels thérapeutiques.

1 Origine et répartition géographique

Le sésame est l'une des plus anciennes cultures oléagineuses connues par l'humanité, des études archéologiques ont montré que la culture du sésame remontait au 5500 BC (Bedigian, 1986). Le nom de sésame tient son origine du mot arabe « Simsim » (Oplinger, 1990), alors que les grecs utilisent le mot « Beni » ou « Benne ». De sérieux débats ont été menés pour trancher au niveau des origines géographiques de cette plante ; en effet Zhang et ses collaborateurs (1990) estimaient qu'elle est originaire de l'Afrique, vu le nombre des espèces les plus primitives qui y existent, ensuite, le sésame s'est répandu en Inde, en Chine et au Japon. Par contre, des études cytologiques, génétiques et biochimiques réalisées par Prabakaran et Rangasamy (1995) montraient que le sésame a été domestiqué la première fois en Inde, pour être transporté ultérieurement en Afrique, en Asie et en sud du bassin méditerranéen.

Selon les études de Kobayashi et ses collaborateurs (1990), 22 espèces du genre *Sesamum* sont cultivées en Afrique, 5 en Asie, 7 en Australie et une seule espèce a été localisée en Amérique.

2 Taxonomie

La famille des *Pédaliacées* renferme des plantes dicotylédones , réparties en 13 genres, dont les principaux sont : *Dicerocaryum*, *Harpagophytum* et *Sesamum*. Le genre *Sesamum* regroupe plusieurs espèces classées en 3 groupes selon leur cytogénie (tableau 1).

Tableau 1 : Classification du genre *Sesamum* selon le nombre des chromosomes

Groupes	Nombres des chromosomes	Espèces
Grp1	2n=26	<i>Sesamum indicum</i> , <i>S. alatum</i> , <i>S. malabaricum</i> , <i>S. mulayanum</i> , <i>S. schenckii</i>
Grp2	2n=32	<i>S. prostratum</i> , <i>S. laciniatum</i> , <i>S. angolense</i> , <i>S. angustifolium</i>
Grp3	2n=64	<i>S. radiatum</i> , <i>S. occidentale</i>

La classification adoptée de l'espèce *Sesamum indicum*, qui fait l'objet de notre étude, est celle de Bernhardt JJ (1842).

- Embranchement : Spermaphytes
- Classe : Dicotyledonae
- sous-classe : Asteridae
- Ordre : Scrophulariales
- Famille : Pedaliaceae
- Genre : *Sesamum*
- Espèce : *Sesamum Indicum*

3 Biologie de l'espèce

- **Racine** : Le sésame est une plante annuelle de 0,5 à 2 m de hauteur avec un cycle qui varie de 80 à 180 jours. Il est considéré comme plante résistante au stress hydrique grâce à la capacité de ses racines à pénétrer en profondeur. En effet, le système racinaire est généralement caractérisé par un réseau dense de racines secondaires, chez les variétés à maturation tardive, contrairement aux variétés précoces dont la racine pivotante porte peu de racines secondaires et tertiaires.
- **Tige** : Légèrement poilue et avec une couleur verte claire ou encore violette, la tige est dressée et carrée, avec une hauteur qui peut aller parfois jusqu'à 3m (figure 1). Le degré de ramification est directement affecté par l'environnement et la génétique. Les variétés à maturité précoce sont caractérisées par une tige courte et peu ramifiée, quant aux variétés tardives, elles sont distinguées par une grande ramification et résistance à la sécheresse.



Figure 1: Tige de *Sesamum indicum*

- **Feuilles :** De forme et taille très variables sur la même plante et aussi entre les variétés, les feuilles inférieures ont tendance à être larges, par contre les feuilles supérieures sont les plus étroites. Leur taille varie de 3 à 7,5 cm de longueur et 1 à 7 cm de largeur.
- **Fleurs :** très visibles, les fleurs apparaissent à l'aisselle des feuilles (figure 2). Selon les variétés, elles montrent une gamme assez variée de taille et de couleur. Elles sont portées sur des pédicelles très courts et classées zygomorphes. Le sésame fait partie des cultures autogames (autopollinisation). Cependant, les fleurs peuvent attirer les insectes faisant ainsi une pollinisation croisée (Yeramanos, 1980).



Figure 2 : Fleur de *Sesamum indicum*

- **Fruit :** Le fruit prend la forme d'une capsule contenant les graines de sésame (figure 4). De couleur verte, les capsules sont légèrement poilues, avec une taille qui varie entre 2,5 et 8 cm pour la longueur et entre 0,5 et 2cm pour le diamètre (Weiss, 1983). Une capsule peut contenir 50 à 100 graines, avec un poids d'environ 3g /1000 graines (figure 3).



Figure 4: Graines de *Sesamum indicum* à l'intérieur d'une capsule



Figure 3: Fruits de *Sesamum indicum*

De petite taille, légèrement aplaties, les graines de sésame ont un spectre de couleur qui varie entre le noir, le blanc, le brun, le jaune et le marron. La sphère, la surface et la densité de la graine sont de 1,56 mm, 7,8 mm² et 1224 kg/m⁻³ respectivement. Elle est formée d'un embryon et de tissus de réserves qui sont principalement de nature protéique et lipidique. Durant la phase de maturation, le volume des graines augmente progressivement, avec une augmentation de la teneur en protéines et des oligosaccharides, et une diminution considérable de la teneur en eau. Cette déshydratation ralentit le métabolisme et indique la maturité organique et physiologique de la graine (Côme et Corbineau, 1998). Cette graine est constituée d'un spermodermis, un endosperme et un cotylédon. Composée de deux à cinq couches cellulaires avec des parois épaisses, l'endosperme est séparé du spermodermis par une membrane. La couche externe (enveloppe) est composée de fibres et cristaux d'oxalate de calcium comme montré sur la figure 5.

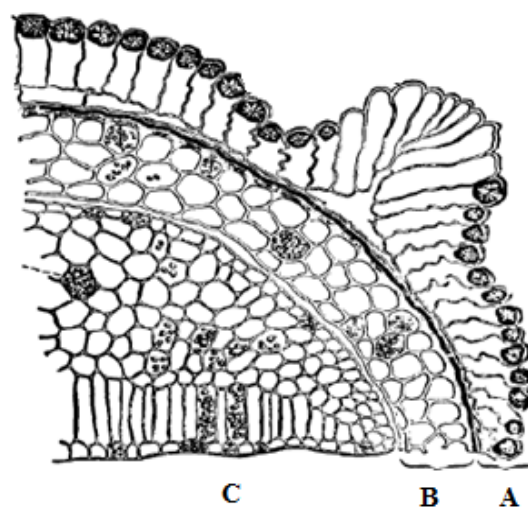


Figure 5 : Coupe longitudinale d'une graine de sésame
A : Spermodermis, B : Endosperme et (C) : Cotylédon

4 Composition biochimique de la graine

4.1 Huile végétale

Les graines de sésame contiennent 37 à 63% d'huile répartie essentiellement dans les couches internes de l'endosperme (Moazzami *et al.*, 2007 ; Elleuch *et al.*, 2007). Cette variation est liée à la diversité des espèces, des conditions environnementales et génétiques. Seegeler (1983) reporte que les graines de couleur claire contiennent une fraction huileuse supérieure à celles de couleur foncée. L'huile de sésame est majoritairement constituée de triglycérides contenant les acides gras. Elle renferme presque 80% d'acides gras insaturés, notamment l'acide oléique et l'acide linoléique, et 20 % d'acides gras saturés, dont on trouve les acides palmitique et stéarique. Par contre, l'acide arachidique et l'acide linoléique sont présents à faible quantité (Elleuch *et al.*, 2007).

L'huile de sésame est connue par sa résistance à l'auto-oxydation. En effet, sa stabilité est assurée par la présence des tocophérols (vitamine E) (Hasan *et al.*, 2001). *In vivo*, les tocophérols protègent les phospholipides de la membrane cellulaire en éliminant les radicaux libres (Cooney *et al.*, 2001).

Une comparaison entre la composition en tocophérols des principales huiles végétales (olive, sésame et soja) est présentée dans le tableau 2. L'huile de sésame, majoritairement riche en gamma-tocophérol, se situe entre l'huile d'olive et du soja avec une teneur totale en tocophérols de 528 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Speek *et al.*, 1985). Le gamma-tocophérol du sésame a prouvé de nombreuses activités, telles que l'activité antiproliférative des cellules cancéreuses (Guthrie *et al.*, 1997), le pouvoir anti-inflammatoire (Jiang *et al.*, 2003) et la capacité à réduire le taux du cholestérol dans le sang (Cooney *et al.*, 2001).

Tableau 2 : Teneur en tocophérols de l'huile d'olive, de sésame et de soja
(Namiki, 1995)

	Teneur totale $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	α-Tocopherol $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	β-tocophérol $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	γ -tocophérol $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$
Huile d'olive	191	179	2	11
Huile de sésame	528	10	<0,5	517
Huile de soja	835	783	25	19

4.2 Protéines

Les protéines accumulées dans les graines représentent la principale source d'azote et d'acides aminés. Une graine peut contenir entre 17 à 32% de protéines. Ainsi, on peut distinguer 4 types de fractions protéiques (Leduc *et al.*, 2006):

- Les globulines (67,3%), solubles dans des tampons à fort pouvoir ionisant
- Les albumines (8,6%), solubles dans les milieux neutres (pH =7)
- Les glutélines (6,9%), solubles dans des milieux acides et basiques (pH >7 et ou pH <7)
- Les prolamines (1,3%), solubles dans des solutions alcooliques

La globuline, protéine prédominante dans les graines de sésame (Guerra *et al.*, 1984), est composée de deux fractions : premièrement, l' α -globuline, qui représente d'ailleurs environ 60-70% de la globuline, avec un poids moléculaire de 250 000-360 000 Da et un coefficient de sédimentation de 11-13 S (Robinson, 1987) et deuxièmement la β -globuline dont le poids moléculaire est de 150 000 Da (Plietz *et al.*, 1988) et qui ne représente que 25% de la globuline (Rajendran et Prakash, 1988).

4.3 Carbohydrates

Les graines de sésame contiennent 14-25% de glucides, dont la majorité est de type réducteur. Elles contiennent une autre forme de glucide : les fibres alimentaires, dont le taux des fibres brutes est entre 3 à 18% (Elleuch *et al.*, 2007, Moazzami, 2007). Ces macromolécules sont situées principalement au niveau des couches externes des graines (enveloppe) où l'hémicellulose A et l'hémicellulose B sont présents avec des taux qui varient entre 0,58% et 2,59%

4.4 Minéraux

Comme illustré dans le tableau 3, la graine de sésame est riche en éléments minéraux, en particulier le calcium, le phosphore et le fer. Le calcium est largement localisé au niveau du tégument sous forme de calcium d'oxalates, ce qui diminue sa biodisponibilité (Ishii *et al.*, 1994).

Tableau 3:Composition minérale de la graine de sésame

	Minéraux (mg/100g) (Nzikou <i>et al.</i> , 2010)
Calcium	415,38
Phosphore	647,25
Magnesium	579,53
Potassium	851,35
Sodium	122,5

4.5 Composés phénoliques

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires connus pour leur potentiel bioactif (Huang *et al.*, 1992). Ils comprennent plusieurs classes et sous-classes en fonction de leur structure chimique. Les flavonoïdes, les acides phénoliques, les tanins et les lignanes sont les plus répandus (Bruneton, 1993) (tableau 4)

Tableau 4: Classification des familles bioactives présentes dans la graine de sésame

Squelette de base	Classe
C6	Phénols simples
C6-C1	Acides phénoliques
C6-C2	Acétophénone
C6-C3	Coumarine
C6-C4	Naphtoquinone
C6-C1-C6	Xanthone
C6-C2-C6	Anthraquinone
C6-C3-C6	Flavonoïdes, iso-flavonoïdes
(C6-C3-C6) ₂	Bi-flavonoïdes
(C6-C 3) _n	lignanes
(C6-C3-C6) _n	Tannins condensés

Plusieurs études ont montré la richesse de la graine de sésame en métabolites secondaires (Tableau 5), avec des concentrations allant jusqu'à 3, 95 mg/g et 0,13 mg/g respectivement pour les polyphénols totaux et les flavonoïdes.

Tableau 5: Composition en métabolites secondaires de la graine de sésame

	Taux (mg/g)	Références
Polyphénols totaux	1,38	(Vishwanath <i>et al.</i> , 2012)
Flavonoïdes	0,05	(Vishwanath <i>et al.</i> , 2012)
Tanins	0,057	(Kumar et Singh, 2015)
Lignanes		
➤ Sesamin	77	(Hemalatha et Ghafoorunissa, 2004)
➤ Sesamolin	61	(Hemalatha et Ghafoorunissa, 2004)
➤ triglucosides de sésaminol	91	(Ryu <i>et al.</i> , 1998)
➤ Diglucoside	18,3	(Ryu <i>et al.</i> , 1998)

4.5.1 Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des pigments quasiment universels du règne végétal, souvent responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles (Bruneton, 1999). Selon (Forkmann et Martens, 2001), 9000 composés flavonoidiques peuvent être criblés des milliers.de plantes. Après être synthétisés dans les chloroplastes, les flavonoïdes migrent vers plusieurs organes cellulaires, durant l'organogénèse, selon leurs fonctions physiologiques (Elicoh-Middleton *et al.*, 2000). Ainsi, ces substances accumulées ont un rôle protecteur pour la plante contre les agressions abiotiques. Pour Bruneton *et al.* (1999), les flavonoïdes sont localisés souvent au niveau de l'épiderme des cellules. La structure des flavonoïdes est principalement constituée de deux noyaux benzéniques (A et B) et d'un cycle pyranique central (cycle C) (figure 6).

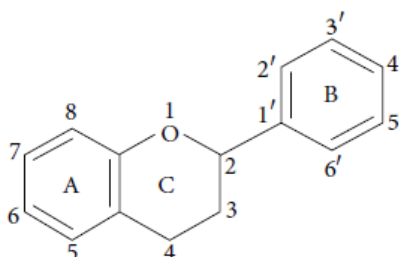


Figure 6 : Structure de base des flavonoïdes

On en distingue les flavonols, les flavones, les flavanols, les isoflavones, les flavanones, et les anthocyanes (Bruneton, 2009). Ces classes sont différenciées l'une de l'autre par la conformation spatiale et le niveau d'oxydation (figure 7).

Group of flavanoid	Structure backbone	Examples		
Flavones				
Flavonols				
Flavanones				
Flavanonol				
Isoflavones				
Flavan-3-ols				

Figure 7: Structure de différents flavonoïdes

4.5.2 Tanins

Les tanins sont des polyphénols d'une masse moléculaire entre 500 et 3000 Da (Hagerman *et al.*, 2007). Ils sont souvent liés à d'autres composés tels que les polysaccharides et les protéines (Alkurd, 2008). On peut distinguer deux classes de tanins :

- **Les tanins hydrolysables (TH)** qui sont des sucres (hétérosides) polyphénoliques facilement hydrolysables par des réactions acido-basiques et/ou enzymatiques ou encore par de l'eau chaude (Conrad *et al.*, 1998).

- **les tanins condensés (TC)**, dont on trouve essentiellement la catéchine et l'épicatéchine, non hydrolysables, formés de la polymérisation des molécules de flavan-3-ols, dont l'union se fait par des liaisons carbone-carbone. (Wollgast et Anklam, 2000).

De nombreuses études ont montré les activités biologiques des tanins, telles que l'activité antimicrobienne (Chung *et al.*, 1998), antifongique (Bruneton, 1999), antioxydante (Jung et Ellis, 2001 ; Richelle *et al.*, 2001) et antivirale (Yamaguchi *et al.*, 2002)

4.5.3 Lignanes

Il s'agit d'un groupe d'unités de phényl propane (Umezawa, 2003) qui interviennent pour la défense des végétaux (Bruneton, 2009). Plusieurs études ont mentionné l'effet bénéfique des lignanes par rapport à la réduction de la pression sanguine (Sankar *et al.*, 2004 ; Miyawaki *et al.*, 2009), la régulation de l'hypocholestérolémie (Hirata *et al.*, 1996), le pouvoir antioxydant (Suja *et al.*, 2004 ; Fujikawa *et al.*, 2005) et la capacité anti-inflammatoire (Utsunomiya *et al.*, 2000 ; Chavali *et al.*, 2001).

Jusqu'à maintenant, 16 types de lignanes ont été identifiés dans les graines de sésame, avec une prédominance des aglycones solubles dans la fraction huileuse dont la sésamine (figure 8) et la sésamoline sont les composés les plus majoritaires. Par contre, le sésamol, le sésaminol et le sésamolinol représentent les composés les plus minoritaires (Liu *et al.*, 2006).

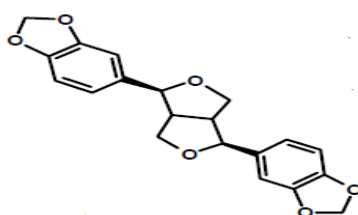


Figure 8 : Structure de la sésamine

Quant aux lignanes glycosidiques, elles comprennent les mono, di et triglucosides de sésaminol et de pinorésino (figure 9) (Jeng et Hou, 2005).

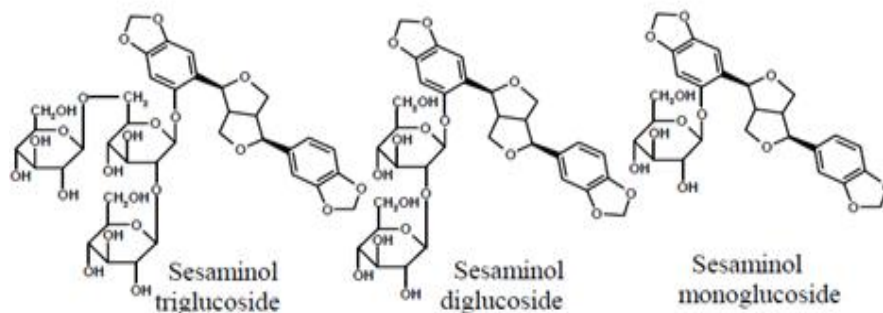


Figure 9: Exemple de lignanes glycosidiques

5 Intérêts et activités biologiques des graines de sésame

Dans le monde entier, la place qu'occupent les plantes dans la médecine est précieuse. En effet beaucoup de gens font recours aux préparations à base des PAM comme source de traitement et remède. Le sésame n'y fait pas exception, puisque un nombre conséquent des travaux de recherche ont dévoilé ses potentiels thérapeutiques.

5.1 Activité hypocholestérolémiant

Le régime alimentaire est considéré comme l'un des facteurs externes pouvant jouer un rôle majeur dans la diminution des maladies cardiovasculaires (MCV). Dans ce sens, une importance a été consacrée ces dernières années aux molécules bioactives potentiellement préventives contre ce genre de maladie. Les graines de sésame ont été étudiées pour leur effet hypocholestérolémiant. En effet, il a été mentionné dans une étude réalisée par Koh (1987) que le taux du cholestérol dans le sang a été réduit significativement après l'introduction de l'huile de sésame dans le régime alimentaire des rats. Cliniquement, il a été constaté que le suivi d'un régime riche en graines de sésame contribue à la réduction des concentrations du cholestérol chez les patients hypercholestérolémiques (Hirata *et al.*, 1996). Hirose et al. (1991) expliquent que la sésamine diminue l'absorption du cholestérol et réduit l'activité de la 3-hydroxy-3-méthylglutaryl coenzyme A réductase.

5.2 Activité anti-hypertensive

Le sésame présente un pouvoir anti-hypertensif significatif. En effet, dans une expérience faite par Noguchi et son équipe (2004), il a été rapporté que la pression sanguine des souris, nourries quotidiennement avec des graines de sésame, diminue significativement par rapport aux témoins.

5.3 Activité antioxydante

Les graines de sésame ont bien été utilisées depuis longtemps non seulement pour leurs vertus médicinales et nutritionnelles, mais aussi pour leur pouvoir conservatoire. En effet, l'huile de sésame est considérée comme étant résistante à l'altération oxydative. Récemment, le potentiel antioxydant a été démontré par des études *in vitro* (Hsu et Liu., 2002) et *in vivo* (Hemalatha *et al.*, 2004). La vitamine E (tocophérol), qui est liposoluble, possède un potentiel antioxydant fort (Suja *et al.*, 2004). La sésamine est aussi reconnue pour sa capacité à piéger les radicaux libres grâce à ses nombreux groupements dioxy-méthylène et à favoriser l'activité de la catalase et de la superoxyde dismutase (des enzymes qui interviennent dans la détoxification cellulaire) (Hou *et al.*, 2003).

5.4 Activité anti-inflammatoire

Plusieurs études ont établi que le sésame possède un potentiel anti-inflammatoire (Chavali *et al.*, 2001 ; Saab *et al.*, 2006 ; Han *et al.*, 2008). En effet, l'huile de sésame augmente le taux de la cytokine anti-inflammatoire IL-10. Cet effet semble provenir de la sésamine. Une étude sur des rats montre que la concentration de deux grands médiateurs de l'inflammation, cytokine pro-inflammatoire TNF- α et PGE₂, a été diminuée significativement après l'introduction du sésame dans le régime alimentaire des rats (Chavali *et al.*, 2001).

B. IMPORTANCE DE LA NUTRITION AZOTEE POUR LA CROISSANCE DES PLANTES

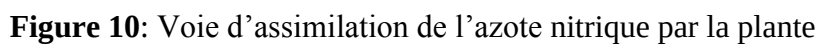
Toutes les plantes sont essentiellement composées de l'azote, ce dernier est l'un des principaux éléments dont la plante a besoin pour sa croissance. Par ailleurs, il s'implique dans un cycle azoté au niveau du sol, de l'eau et de l'atmosphère. Ainsi, il est quasi présent dans tous les processus de croissance de la plante. Les sols déficients en azote restent un obstacle

majeur pour un meilleur développement des cultures. Par ailleurs, un apport en azote est important pour combler son appauvrissement, d'où la nécessité d'un recours à la fertilisation azotée. Certes, la fertilisation azotée est largement utilisée depuis longtemps mais elle semble être accentuée ces dernières années.

1 Azote dans la plante

Avec une teneur variant entre 1 à 5% de la matière sèche végétale, l'azote entre dans la composition de plusieurs éléments indispensables au développement de la plante tels que les acides nucléiques, les acides aminés, la chlorophylle et les protéines. En effet, après avoir été absorbé par les racines, l'azote est soit stocké dans les vacuoles des cellules racinaires (sous sa forme nitrique spécialement (Raven et Smith, 1976), soit transporté vers les organes aériennes (Solomonson et Barber, 1990). Ainsi, la vitesse du transport de la forme nitrique de l'azote absorbé dépend de la vitesse de sa réduction et son accumulation au niveau des racines (Barthes, 1996). La réduction des nitrates est répartie à des proportions variables entre la partie racinaire et la partie aérienne (Andrews *et al.*, 1986, Touraine *et al.*, 1988). Le nitrate est réduit successivement en nitrite (dans le cytosol) puis en ammonium (dans les plastes) par la nitrate réductase et la nitrite réductase respectivement. L'ammonium, composé toxique pour la plante, doit être incorporé dans les molécules organiques. La glutamine synthétase (GS) et la glutamate synthase (GOGAT) sont les principaux enzymes impliquées dans les réactions de transamination qui mènent à l'incorporation de l'ion ammonium au glutamate, cette dernière entre dans la série de synthèse des acides aminés comme l'aspartate (figure 10).

A côté de son rôle de construction, l'azote accumulé dans les vacuoles joue un rôle d'ajustement osmotique (Forde, 1999). En effet, le nitrate vacuolaire intervient pour le maintien de la pression à l'intérieur de la cellule, provoquant ainsi une fonction de turgescence pour la rigidité des tissus végétaux (Martinoia, 1981).



- ## 2 Fertilisation minérale

18

2.1 Engrais minéraux nitriques et ammoniacaux

Le processus de minéralisation et de nitrification (figure 11) définit les niveaux de disponibilité de l'azote dans le sol, ainsi le nitrate et l'ammonium varient entre quelques micro-molaires à plusieurs milli-molaires (Marschner *et al.*, 2011). Pour franchir le gradient de concentration, un système d'adsorption actif des nitrates est développé au niveau de la membrane plasmique des racines, qui est chargée négativement. Ce transport actif est généralement couplé à une pompe à protons H⁺/ATPase (Glass et Siddiqi, 1995). Deux familles de transport sont distingués selon le degré d'affinité, un premier appelé « HATS » (High Affinity Transport System) caractérisé par sa haute affinité et utilisé par les cellules racinaires lorsque les ions nitrates sont peu abondants dans le milieu externe ([NO³⁻] < 500 μM). Quant au deuxième, il est appelé LATS pour « Low Affinity Transport System », il est actif lorsque la concentration des ions nitrates est forte dans le sol ([NO³⁻] > 500 μM). Généralement, ces deux transporteurs, HATS et LATS, sont gérés par deux familles de gènes: NRT1 et PTR (Forde, 2000).

Le même principe est appliqué dans le cas de l'ammonium, en effet, deux systèmes de transport HATS et LATS sont impliqués selon le degré de concentration externe de cet ion. Ainsi, à une concentration en ammonium faible (< 1 mM), le système HATS est utilisé, contrairement au système LATS qui n'opère que lorsque l'ammonium est présent en forte concentration (> 1 mM) (Wang *et al.*, 1998). Les deux familles de transports sont codées par des gènes « AtAMT » (Gazzarini *et al.*, 1999).

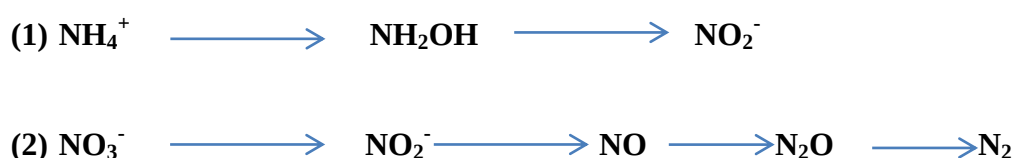


Figure 11: Processus de nitrification (1) et dénitrification (2)

2.2 Engrais minéral uréique

Vu sa richesse en azote et sa production à faible coût, l'urée [CO(NH₂)₂], qui est une molécule non polaire, est largement utilisée dans la fertilisation des plantes. L'urée peut être transportée grâce à un transport actif H⁺/urée de haute affinité, via un transporteur actif (DUR3), codé par « AtDUR3 » et localisé dans la membrane plasmique des cellules racinaires (Liu *et al.*, 2006). Des protéines intrinsèques majeures (MIPs) (appelées aquaporines) peuvent également être responsables du transport passif de l'urée. En effet, ce sont des protéines

installées au niveau de la membrane cytoplasmique et codées par des gènes de type AtTIP (Liu *et al.*, 2006), ainsi elles sont capables de faire entrer l'eau et les molécules neutres comme l'urée. Parmi les autres mécanismes d'intervention, on trouve l'hydrolyse de l'urée par des enzymes appelées « uréases » qui sont principalement produites par des microorganismes et des algues (Cox *et al.*, 2000 ; Hirayama *et al.*, 2000). Les uréases jouent un rôle de catalysation en hydrolysant la molécule d'urée en ammoniac et nitrate qui participent, à leur tour, dans le cycle d'azote.

3 Fertilisation azotée: un contexte environnemental et juridique spécial

Les rapports significatifs entre la fertilisation azotée et le rendement optimal des plantes ont été largement étudiés. Toutefois, les exigences sociétales en matière de respect de l'environnement se tournent vers l'encouragement d'une culture durable permettant de respecter l'environnement dans toutes ses composantes, d'où l'utilité de repenser le modèle de culture et de concevoir des stratégies scientifiques basées sur les bonnes pratiques et la rationalisation de l'utilisation des doses des engrais minéraux.

3.1 Fertilisation azotée minérale et risques environnementaux associés

Un apport azoté excessif peut causer des conséquences néfastes sur la santé de la plante (Cassman *et al.*, 2002). En effet, une fertilisation azotée basée sur des concentrations croissantes peut donner lieu à la courbe de réponse présentée sur la figure 12, qui se répartit d'ailleurs en trois phases (Simon et Le Corre, 1992) : une première pour une déficience en azote marquée par une carence en nutriments et diminution de la production, une deuxième pour un apport croissant marqué par une augmentation de la production jusqu'à une stabilisation (niveau optimal de fertilisation), au-delà de cette phase la production tend à diminuer (phase d'asymptote).

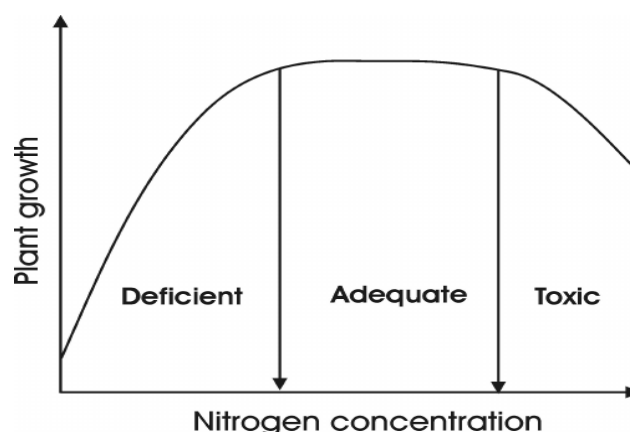


Figure 12: Courbe de réponse des plantes envers l'azote

Une sur-fertilisation azotée peut causer plusieurs « drames » environnementaux. En effet, couplées à de fortes précipitations, des pertes considérables de nitrate peuvent polluer les nappes phréatiques et causer le phénomène de « l'eutrophisation », perturbant ainsi les écosystèmes écologiques (Kotak *et al.*, 1993). A cause de sa charge négative, le nitrate est moins retenu par les particules du sol, contrairement à l'ammonium. Les propriétés du sol (porosité, acidité, micro-organismes..) et les niveaux de précipitation sont donc deux facteurs en mesure de provoquer de grandes quantités de nitrate dans les eaux souterraines.

L'autre problème majeur lié à l'utilisation d'une dose de fertilisant non contrôlée est la perte d'azote par voie de volatilisation (Brentrup et Lammel, 2011) (tableau 6) ; en effet, les oxydes d'azote N_2O et NO sont deux gaz émis, fortement connus pour leur effet de serre, du fait qu'ils participent à la détérioration de la couche d'ozone (Mosier *et al.*, 1996).

Le troisième gaz dégagé, « ammoniac NH_3 », est non moins important car il est jugé responsable d'une grande part de la pollution atmosphérique. Rapidement hydrolysé, l'urée est parmi les engrais qui contribuent le plus dans l'émission de l'ammoniac (Hofman et Van Cleemput, 1995).

Tableau 6: Différents fertilisants et leurs niveaux de perte en gaz

Fertilisants	Ammonium Sulfate (AS)	Ammonium nitrate (AN)	Urée
Perte %	37,3	12,3	30,8

3.2 Utilisation des engrais : Données économiques et juridiques

Pour répondre à la croissance démographique mondiale, la consommation des fertilisants a augmenté de 40% ces dernières années. Récemment, le FAO a rapporté que la consommation

mondiale des fertilisants a augmenté de 1,9% (FAO 2002). La Chine, elle seule, a produit 28,9 millions de tonnes de fertilisant azoté en 2007 (44% de la production mondiale). L'urée a connu une « mutation » au niveau de sa production et utilisation. En effet, jusqu'à 1960, il ne constituait que 5% de la consommation mondiale, alors qu'aujourd'hui, il est en tête des engrais azotés utilisés avec 57,4% (Glibert *et al.*, 2006).

Au Maroc, la consommation globale des engrais chimiques a fortement augmenté au cours des dernières années (figure 13). Généralement, cette consommation s'est accentuée de 18% entre 2009 et 2013 selon les statistiques illustrées dans le rapport de l'évaluation environnementale et sociétale du Plan Maroc Vert.

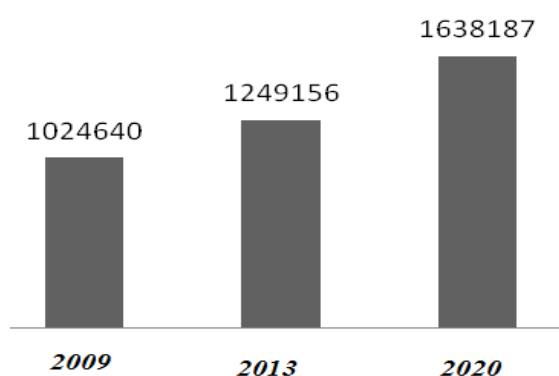


Figure 13: Evolution de l'utilisation des engrais (tonne) au Maroc entre 2009 et 2020

D'après les résultats publiés par l'ONU (2006), le Maroc a importé ces dernières années des quantités considérables d'engrais azotés pour combler l'appauvrissement de ses sols. En effet, la consommation en N/ha était toujours très élevée par rapport à la consommation de P_2O_5 /ha et K_2O /ha (figure 14).

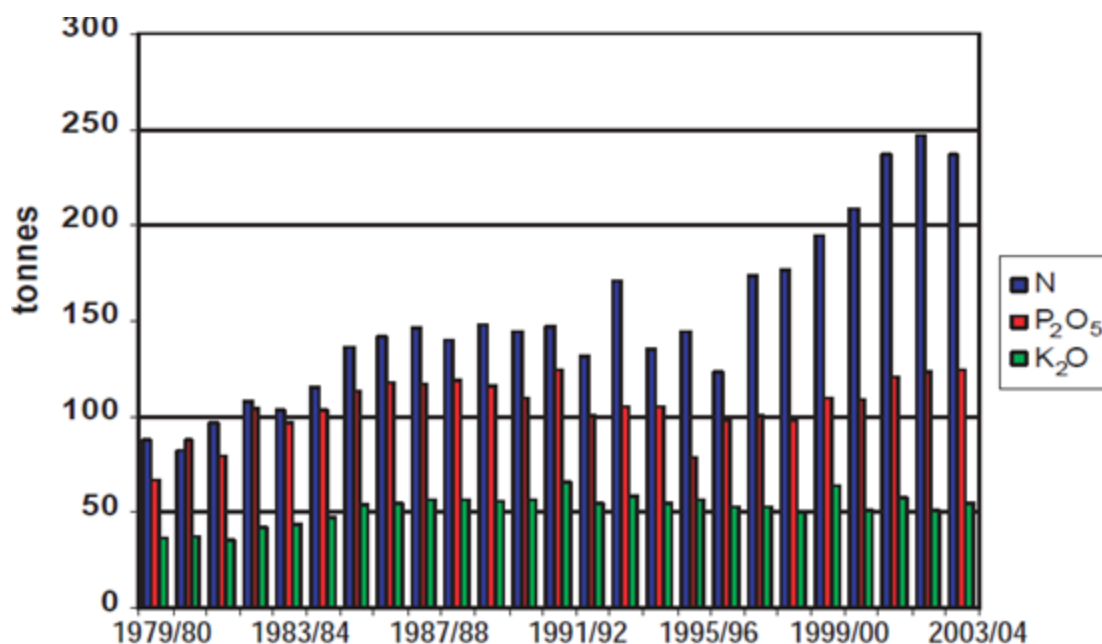


Figure 14: Evolution de la consommation des engrais au Maroc (ONU, 2006)

En outre, le Maroc s'est engagé dans une logique qui vise la protection de l'environnement par, non seulement, la ratification des conventions internationales des Nations Unies relatives à l'environnement mais aussi par l'élaboration d'un arsenal juridique qui prévient les problèmes environnementaux du pays. En effet, le Maroc a assumé le passage à une échelle juridique très avancée, via la constitutionnalisation et l'institutionnalisation de la protection des écosystèmes. D'ailleurs, la nouvelle constitution de 2011 dispose que l'accès à un environnement sain et au développement durable est reconnu comme étant droit de tous les citoyens (Article 31), et que l'Etat œuvre à la réalisation d'un développement humain et durable, à même de permettre (...) la préservation des ressources naturelles et des droits des générations futures (Article 35). A cela s'ajoute l'adhésion du royaume, par signature et/ou ratification, à plusieurs conventions internationales comme la convention relatives aux déchets et produits chimiques dangereux, la convention relative à la protection du patrimoine, la convention relative à la faune et la flore et la convention relative à la protection de l'atmosphère. Vu ses engagements environnementaux, le Maroc est appelé donc à mener de sérieuses réflexions scientifiques basées sur une optique de bonne rationalisation de l'utilisation de la fertilisation azotée.

C. TRANSFORMATION AGROALIMENTAIRE DES GRAINES DE SESAME

Les habitudes alimentaires de ces dernières années se tournent vers des tendances basées sur des produits industriels transformés. Les graines oléagineuses sont parmi les produits qui

entrent dans le processus de transformation alimentaire. Cette dernière permet d'améliorer, non seulement la qualité organoleptique et nutritionnelle, mais aussi microbiologique de ces graines.

Dans ce travail, nous nous sommes limités à décrire les deux étapes les plus importantes dans la chaîne de transformation des graines de sésame. La première consiste au processus de décortiquage qui participe à l'amélioration de la biodisponibilité des nutriments (en éliminant le tégument qui renferme d'ailleurs des anti-nutriments comme l'oxalate). Quant à la deuxième, c'est la torréfaction qui permet l'obtention des graines brunes à structure croustillante à partir d'une série de réactions biochimiques.

1 Décortiquage

La demande des consommateurs est devenue de plus en plus exigeante en termes de qualité organoleptique et nutritionnelle des produits agroalimentaires. Dans cette logique et soigneusement sélectionnées, les graines de sésame sont bien nettoyées. A l'échelle industrielle, le nettoyage est effectué grâce à un tamiseur qui peut être équipé par un système de gravité et un aimant pour récupérer les formes métalliques. Ensuite, les graines sont trempées dans de l'eau pendant une durée variante selon des conditions opérationnelles relatives essentiellement à la taille des grains, la variété choisie et aussi la température de l'eau utilisée. Ce trempage se fait dans de grands bassins, avec un rapport graines/eau d'environ 1: 1 ou 1: 2 (poids / volume) (Bulayci, 2003). Yehia et al. (2002) rapportent qu'un trempage efficace ne peut être réussi qu'avec la combinaison des conditions suivantes :

- Utilisation d'un mélange de NaOH et Na₂CO₃, avec 0,04% et 3% respectivement
- Utilisation d'une eau à 35 ° C
- Utilisation d'un rapport de 1: 3 (semence / volume d'eau)

Après le trempage, la prochaine étape consiste à séparer la pellicule de l'amande et ce, dans le but d'augmenter la qualité nutritive des graines.

En effet, Robert et al. (1999) expliquent que la pellicule de graines de sésame contient jusqu'à 35mg/ 100g d'acide oxalique qui, combiné à des minéraux, spécialement le calcium, peut former des sels d'oxalate. Ces sels insolubles sont considérés comme étant irritants pour certains tissus (reins, système digestif...).

Pratiquement à l'échelle industrielle, pour séparer la graine de son enveloppe, on se sert d'un éplucheur qui a la forme cylindrique, équipé d'un agitateur. La vitesse de rotation de cette

dernière est d'environ 80 tours par minute, ce qui permet aux graines de se frotter les unes contre les autres, provoquant ainsi le dépelliculage.

Par la suite, les graines décortiquées (amandes) et leurs enveloppes sont placées dans une solution de saumure à 20% (Bulayci, 2003). Ainsi, la variation de densité entre l'enveloppe ($<1,0$), se formant principalement des fibres, et l'amande ($> 1,0$), contenant majoritairement la fraction huileuse, permet une séparation de celles-ci. Les amandes flottant en haut de la solution saline sont facilement récupérées par la suite.

2 Torréfaction

Historiquement, la torréfaction est connue comme mécanisme souvent appliqué dans le domaine agroalimentaire. L'utilisation de ce procédé remonte au XIV^{ème} siècle (Hernandez Pérez, 2002), notamment avec le café. En effet, les grains de café sont chauffés à 200°C/20min pour développer des saveurs et gagner une couleur plus brune en perdant un taux important d'acides et d'eau (Houessou, 2007).

La torréfaction est aussi appliquée pour les graines oléagineuses afin d'optimiser leur qualité sensorielle et organoleptique (Moss et Otten, 1989 ; Shimoda *et al.*, 1997). Notons qu'un traitement thermique préalable peut être considéré comme un moyen efficace de conservation. En effet, il agit sur des réactions physiologiques internes en inactivant les enzymes responsables de la dégradation des graines lors du stockage (Buckholz *et al.*, 1980). Deux facteurs majoritaires ont un effet significatif sur les grains lors d'une torréfaction : le temps et la température. Une attention particulière a été portée à l'étude du couple temps-température pour chercher une meilleure combinaison qui permet de préserver la bonne qualité des grains.

Il a été démontré qu'un produit d'une meilleure qualité est obtenu avec les couples 5 min / 250°C, 20 min / 280°C respectivement pour le café et le bois (Nagaraju *et al.*, 1997 ; Almeida *et al.*, 2010). En premier temps, les grains perdent leur humidité initiale. En effet, l'eau, sous sa forme libre et liée, s'évapore au voisinage d'une température de 100°C (Rémond *et al.*, 2007; Fagernäs *et al.*, 2010 ; Dupont *et al.*, 2011). Ce niveau de chauffage dépend fortement de la taille des grains, le taux d'humidité initiale et le degré de température.

Le deuxième niveau de traitement thermique (100°C et 200°C), dit grillage, permet de faire évaporer l'eau et les molécules volatiles plus intimement attachées aux constituants des grains (Gerhauser *et al.*, 2011).

La dernière étape, le refroidissement, consiste à faire refroidir les grains torréfiés pour arrêter le processus de torréfaction et conserver la richesse aromatique.

Le changement de couleur et la génération d'arômes sont dus essentiellement à une série de réactions non enzymatiques (Mayer, 2000). Par ailleurs, les acides aminés sont précurseurs d'arômes de plusieurs oléagineuses (Ozdemir *et al.*, 2001) ; l'acide aspartique, l'acide glutamique, la phénylalanine et l'histidine interviennent directement pour donner des composés volatiles aromatiques comme la pyrazine, qui est retenue par la fraction huileuse des graines oléagineuses (Hashim *et al.*, 1996).

D'autre part, la réaction de Maillard reste l'un des mécanismes de génération d'arômes les plus connus. En effet, sous l'effet de la chaleur, elle favorise la formation des composés aromatiques à partir des sucres réducteurs, ou même à partir du saccharose et amidon après leur hydrolyse (Mason *et al.*, 1966).

- **Réaction de Maillard**

La réaction de Maillard a été décrite en 1912, pour la première fois, par Louis Camille Maillard qui étudiait le développement de la coloration brune, après le traitement thermique des sucres réducteurs et des acides aminés (Maillard, 1912). Cette réaction est la succession de plusieurs mécanismes réactionnels complexes qui peuvent être résumées en trois étapes capitales (figure 15).

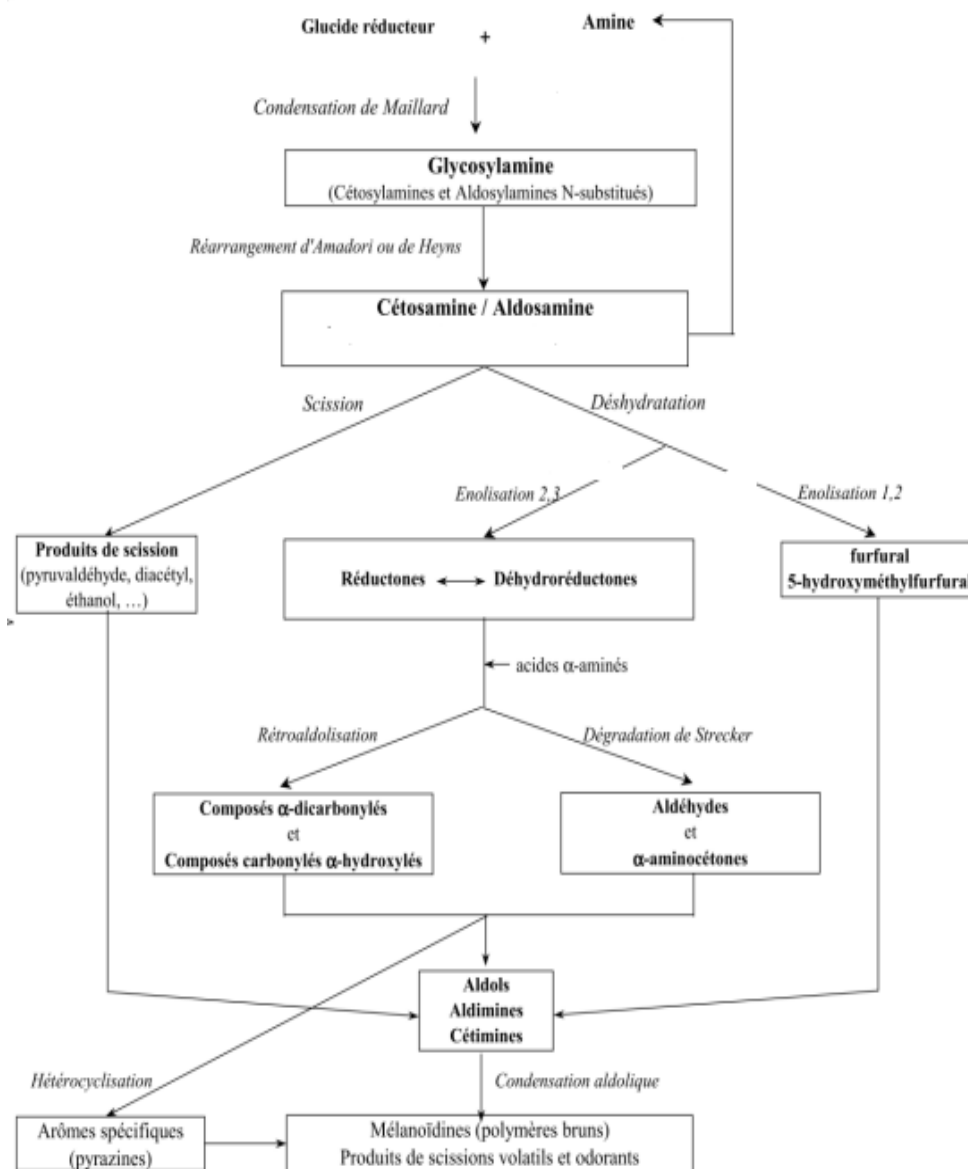


Figure 15: Différentes étapes de la réaction de Maillard (Hodge, 1953)

Première étape : la glycation, consiste en la formation d'un glycosylamine instable, basé sur une liaison covalente entre le groupement carbonyle d'un sucre réducteur et le groupement amine d'un acide aminé. Une isomérisation irréversible permet l'obtention d'un produit plus stable d'Amadori.

Deuxième étape : Cette étape comporte trois sous étapes, comme montré au niveau du schéma (figure 15):

Une déshydratation modérée : exprimée par une énolisation entre les carbones 2 et 3 et accompagnée d'une perte du résidu aminé. Le composé intermédiaire favorise

l'autocatalysation de la réaction de Maillard, en se dégradant en plusieurs composés (furanones, cyclopentanones, isomaltols)

Une déshydratation forte : elle favorise la dégradation des cétosamines. En effet, une ène-diol est d'abord formée entre les carbones 1 et 2 de la glycosylamine N-. Ensuite, une série de réarrangements conduit à la formation des furfuraldéhydes. Ces réactions sont accompagnées d'une décarboxylation de l'acide aminé (voie de Strecker) et une libération d'aldéhydes et de pyrazines (composés aromatiques).

Une scission : la dernière sous étape consiste en une scission de l'aldose lié à l'amine, en dégageant des acides ou des molécules carbonylées. Ainsi, la condensation de ces composés permet d'obtenir les polymères odorants qui marquent la réaction de Maillard.

La troisième étape : il s'agit d'une série d'interactions entre les intermédiaires réactionnels de la deuxième étape qui mène à l'obtention des produits de Maillard. Ce sont principalement des composés d'arômes appelés « mélanoïdines » dont la couleur est brune et le poids moléculaire est élevé (tableau 7).

Tableau 7: Principaux composés obtenus après la réaction de Maillard

Familles	Composants	Familles	composants
pyrazine	2-methylpyrazine	acides	Acide formique
	2,5-dimethylpyrazine		Acide acétique
	2-ethylpyrazine		Acide Propionique
	Trimethylpyrazine		Acide octanoïque
	2-Propylpyrazine	Esters /lactones	
furane	2-Pentylfuran		Acide hexanoïque
	2-Furfural		Formiate d'éthyle
	5-Methylfurfural		Acétate d'éthyle
	2-Methyltetrahydrofuran-3-one		Acétate de pentyle
	Furfurylacetate	Phenols	Propionate de pentyle
Composés	Pyridine		Phenol

azotés	2-Methylpyridine		o-Methoxyphenol
	Acetamide		m-Methoxyphenol
	Nicotine		4-Vinyl-2-methoxyphenol
Aldéhydes et Cétones	Propanal	Composés soufrés	Hydrogensulfide
	Butanal		Methanethiol
	Pentanal		Propanethiol
	Hexanal		3-Methyltetrahydrothiophene
	Heptanal		Benzothiazole

D. ACTIVITES BIOLOGIQUES ETUDIEES

Les plantes ont toujours occupé une place importante en médecine. En effet, selon les rapports de l’OMS, une population de 80% fait recours à la médecine traditionnelle basée sur les plantes médicinales et aromatiques afin de se soigner. Pour visiter davantage ces questions relatives aux atouts thérapeutiques des PAM, un cadre théorique varié est mobilisé, afin de comprendre le mécanisme d’action de trois activités essentielles, qui seront traitées dans la partie expérimentale de ce travail, à savoir : l’activité antioxydante, l’activité anti-inflammatoire et l’activité cicatrisante.

1 Activité antioxydante

L'oxydation joue un rôle important dans notre vie. En effet, l'oxygène est considéré comme l'accepteur final d'électrons dans un système qui produit de l'énergie. Cependant, des processus endogènes et exogènes provoquent le transfert d'un électron non couplé, générant ainsi des métabolites toxiques : les radicaux libres. Le corps essaie d’assurer un équilibre continu entre la production et la destruction de ces espèces, ainsi, en cas de surproduction, un stress oxydatif est entraîné causant ainsi des dégâts cellulaires et tissulaires.

1.1 Stress oxydant

Le stress oxydatif apparaît lorsqu’on a un déséquilibre entre les oxydants et les antioxydants dans la cellule vivante, ce qui peut être à l’origine de plusieurs atteintes pathologiques (Maladies neurodégénératives, maladie d’ Alzheimer, désordres cérébrovasculaires, maladies du foie...).

Les activités métaboliques s'accompagnent souvent par des réactions d'oxydoréduction, donnant lieu ainsi à la formation des « radicaux libres », ces derniers s'impliquent d'une manière continue dans la destruction des structures vivantes (Valko *et al.*, 2007). Par ailleurs, un système de défense intervient pour réguler les niveaux de ces radicaux, afin de maintenir l'homéostasie physiologique (figure 16).

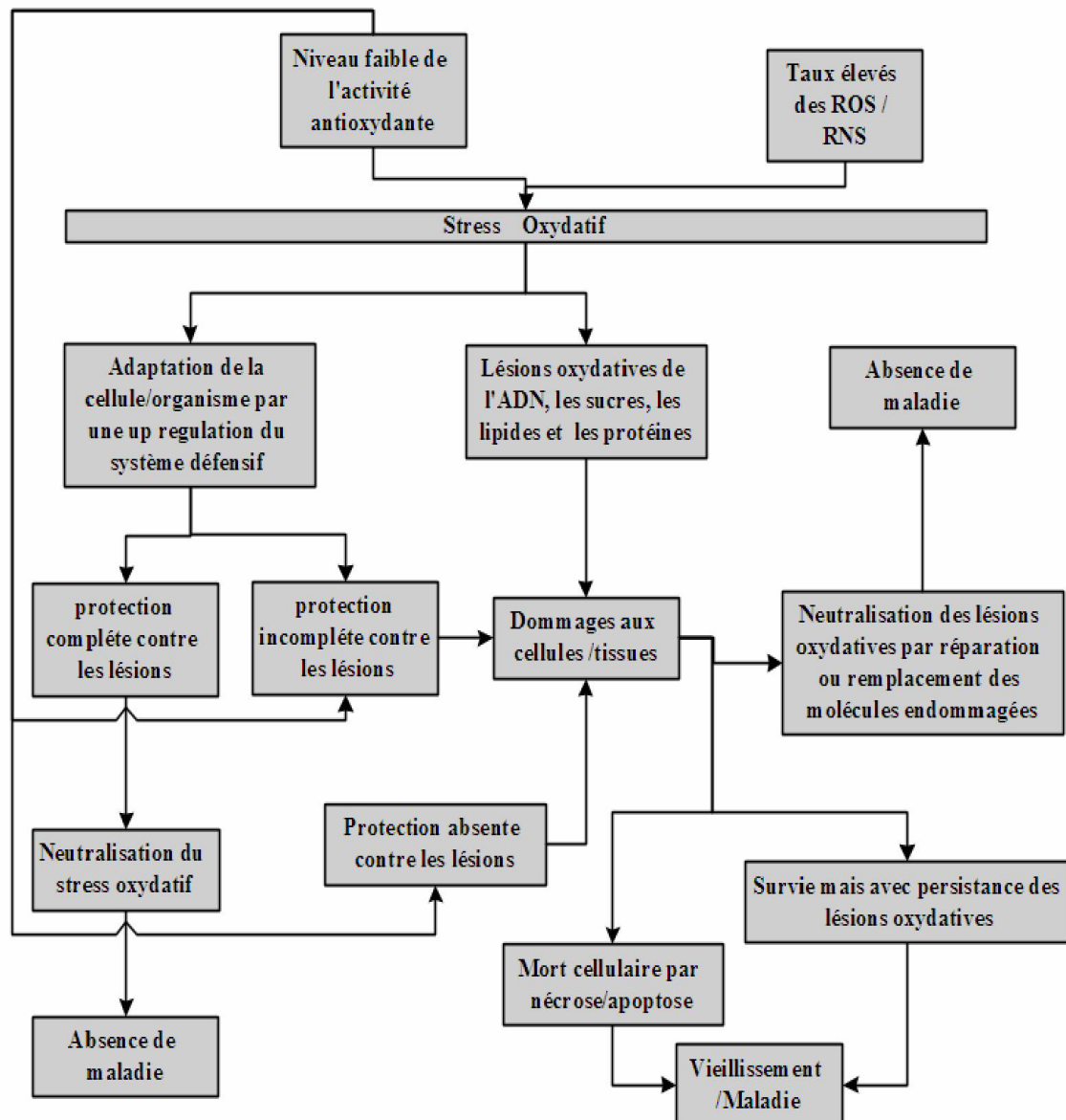


Figure 16: Réponses de la cellule au stress oxydatif (Halliwell, 1984)

1.2 Mécanisme d'action des radicaux libres

A l'état normal, les électrons forment un nuage orbital autour du noyau et d'eux-mêmes. La rotation de ces électrons les rend instables et réactifs, d'où leur tendance continue à former des paires d'électrons avec l'environnement voisin. Un radical libre est une molécule très

réactive qui contient des électrons non appariés (Jacques *et al.*, 2004). Alors, pour appairer ces électrons célibataires, une cascade de réactions est initiée lorsqu'un radical libre arrache un électron de la molécule la plus voisine. Nouvellement agressée, cette dernière va se transformer aussi en un autre radical libre (danger potentiel) qui cherche à se stabiliser à son tour (Martinez-Cayuela, 1995). Par une catalysation thermique, métallique ou encore ionique, les acides gras insaturés cèdent une molécule H, à proximité de la double liaison, générant ainsi un radical libre (équation 1) qui sera propagé en formant d'autres radicaux peroxydes instables (équation 2) qui réagissent, à leur tour, avec d'autres acides gras et forment des hydroperoxydes (équation 3) (Frankel, 1984).



Les protéines peuvent aussi être inactivées à cause d'une oxydation des acides aminés, spécialement aromatiques tels que le tryptophane, la tyrosine et l'histidine, perdant en conséquence, leurs propriétés biologiques (Důračková, 2008 ; Rahal *et al.*, 2014). Les bases d'ADN, le sucre et bien d'autres molécules sont sensibles aux oxydants.

Plusieurs sources peuvent générer des oxydants que ce soit à l'échelle endogène (xanthine-oxydase, NADPH oxydase, lipooxygenase...) ou exogène (rayonnements UV, toxines, médicaments et pesticides ...) (Valko *et al.*, 2007).

1.3 Espèces réactives de l'oxygène

L'oxygène (deux électrons non appariés) tend toujours à oxyder les éléments qu'il rencontre, initiant ainsi une longue succession de réactions de peroxydation. Les espèces réactives de l'oxygène (ERO) sont des radicaux libres dérivés directement de la molécule d'oxygène. Ils regroupent plusieurs familles dont on trouve (Jacques et André, 2004) :

- L'anion superoxyde
- Le radical peroxyde
- Le radical hydroxyle
- Le peroxyde d'hydrogène
- Le monoxyde d'azote

D'autres dérivés de la molécule de l'oxygène ne sont pas radicalaires, mais ils présentent une toxicité importante (Novelli *et al.*, 1997), tels que :

- L'anion peroxyde
- Le peroxyde d'hydrogène
- Le peroxynitrite

1.4 Antioxydants

En cherchant la stabilité électronique, les radicaux libres réagissent le plus rapidement possible avec leur entourage. Ainsi, plusieurs systèmes de défense, appelés « les antioxydants », interviennent pour minimiser le nombre de cellules attaquées par ce stress oxydatif potentiellement dangereux. Les antioxydants représentent une gamme large de molécules chimiques qui, à faible concentration (<1%), peuvent interrompre la réaction d'oxydoréduction en retardant ou en empêchant l'oxydation d'une matière oxydable, et ce en s'oxydant plus rapidement que celle-ci (Amorati *et al.*, 2013).

1.4.1 Sources enzymatiques des antioxydants

Pour préserver des éléments internes précieux, comme l'ADN ou certaines protéines, des substances cellulaires interviennent immédiatement pour lutter contre le danger. Cette défense de première ligne est assurée par des composés antioxydants qui ne sont pas, d'ailleurs, régénérés et donc, ont un effet limité.

L'intervention des antioxydants à ce niveau, consiste à réparer les acides nucléiques par des enzymes spécifiques (Poljsak *et al.*, 2013), et à éliminer les protéines oxydées par des enzymes protéolytiques, ainsi que les lipides oxydés par les phospholipases (Hitchon et Gabalawy, 2004). D'autres mécanismes enzymatiques agissent d'une manière permanente et continue, cette deuxième ligne de défense est basée directement sur des enzymes à savoir :

Les Superoxydedismutases : Ce sont des enzymes majoritaires dans le système de défense contre le stress oxydatif, où l'anion radical superoxyde est transformé en H_2O_2 (Ghezzi *et al.*, 2005) (équation ci-dessous) :



La catalase : C'est une enzyme qui se trouve dans les érythrocytes et les peroxysomes (Sung *et al.*, 2013). Elle est impliquée dans la transformation d' H_2O_2 en H_2O , selon l'équation :



Glutathion peroxydase : Il s'agit d'une enzyme qui catalyse à la fois la réduction de H₂O₂ et les hydro-péroxydes organiques en eau ou en alcools (équation ci-dessous)



1.4.2 Sources non enzymatiques des antioxydants

Les études qui permettent de lier des facteurs exogènes avec l'existence d'un potentiel antioxydant sont suffisamment nombreuses ; en effet, plusieurs substances naturelles ont été proposées pour leur capacité antioxydante, elles incluent :

Les tocophérols, ou la vitamine liposoluble E qui est très abondante dans les huiles végétales comme les oléagineux (soja, sésame, tournesol...). Les tocophérols, spécialement alpha, participent à la préservation de la vie des cellules en inhibant la lipoperoxydation (Njus et Kelley, 1991).

L'acide ascorbique, ou la vitamine hydrosoluble C, est très abondant dans les agrumes et certains légumes (Vansant G), il piège les radicaux libres tels que l'anion superoxyde, l'oxygène singlet et le peroxyde d'hydrogène (Benbrook, 2005).

Les caroténoïdes, ce sont des pigments végétaux très divers et assez abondants dans les légumes verts (Marc *et al.*, 2004), ils participent au piégeage de l'oxygène avec la formation d'un dioxétane (Bossokpi, 2002).

Les composés phénoliques ont été largement étudiés pour leur protection antioxydante ; en effet, les résultats de plusieurs travaux de recherche semblent converger pour montrer que les effets de ces substances naturelles (flavonoïdes, coumarines, tannins, xanthones ...) sont très significatifs (Halliwell et Gutteridge, 1995 ; Kohen *et al.*, 2002; Diallo, 2005 ; Lahouel *et al.*, 2006).

2 Activité anti-inflammatoire

2.1 Inflammation

L'inflammation se définit comme une réponse de défense d'un organisme face à une attaque exogène ou endogène (Stephan et Florian, 2001 ; Dupond, 2003). Elle se caractérise par une douleur, une rougeur, un gonflement et une chaleur (Russo-Marie *et al.*, 1998). Elle peut être due à des agents physiques, chimiques ou microbiologiques (Jean, 2009). L'inflammation mobilise un arsenal biologique pour se débarrasser de l'agent pathogène et réparer les cellules lésées. Deux types d'inflammation sont à distinguer selon la durée du mécanisme (Miossec, 2003):

- Une inflammation aiguë qui est localisée et de courte durée.
- Une inflammation chronique qui est étendue en plusieurs mois ou plusieurs années.

2.1.1 Inflammation aiguë

C'est une inflammation immédiate à courte durée où plusieurs réactions interviennent pour lutter contre l'agression provoquée. Ce type d'inflammation peut s'améliorer spontanément, ou avec l'utilisation d'un médicament, mais en cas d'attaque agressive des tissus cellulaires, il peut laisser des séquelles (Charles *et al.*, 2010). Elle comporte trois phases essentielles (figure 17):

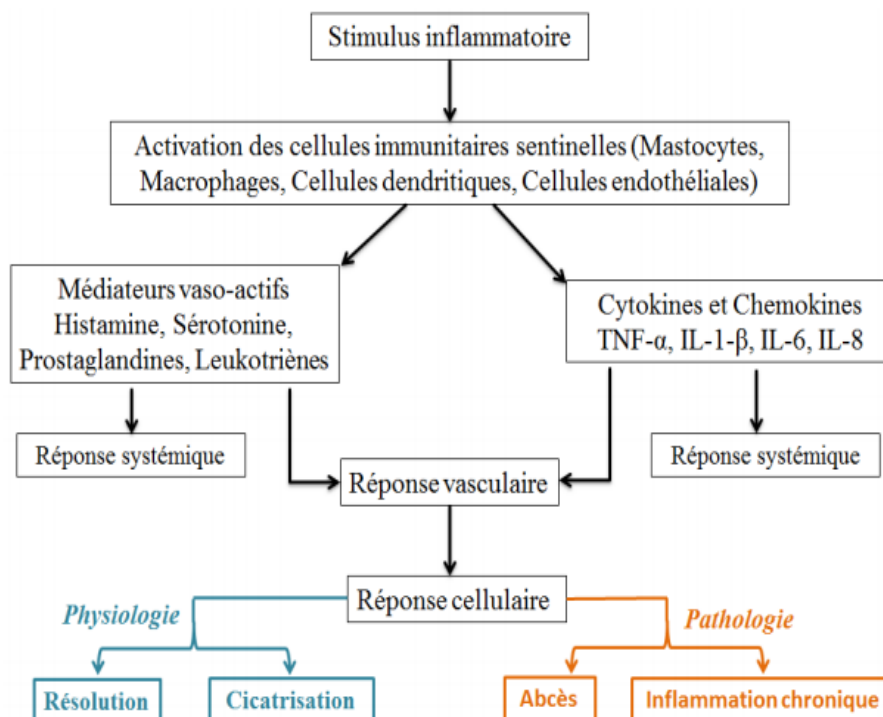


Figure 17 : Schématisation de la réaction inflammatoire (Bessout, 2012)

- Phase vasculaire

Il s'agit d'une réponse immunitaire suite à une interaction entre le pathogène et une cellule à récepteurs spécifiques (Pattern Recognition Pathogen). Elle est caractérisée par la libération des facteurs tissulaires (histamine, prostaglandines, kinine) qui déclenchent la douleur (Jean, 2009). Accompagnée d'une vasodilatation, un œdème est constitué localement sur le site attaqué.

- Phase cellulaire

Cette phase implique, localement, une série de réactions inflammatoires. En effet, La vasodilatation des vaisseaux sanguins facilitent la migration des cellules leucocytes au foyer de l'inflammation. Le processus de phagocytose est assuré par l'action des polynucléaires des monocytes et d'autres cellules de l'inflammation (les lymphocytes, les mastocytes, les fibroblastes) (Wagner et Roth, 2000 ; Dupond, 2003).

- Phase de résolution

Le mécanisme immunitaire basé sur la lyse enzymatique et la phagocytose s'accompagne d'une altération biologique du tissu voisinant provoquant une sorte d'exsudat, les macrophages interviennent alors pour nettoyer le foyer d'inflammation (Male, 2005). Les cytokines sécrétées par les macrophages favorisent la cicatrisation tissulaire. D'autre part, les cellules endothéliales interviennent, par sécrétion de collagène, pour réparer l'endothélium et revenir à l'état initial.

2.1.2 Maladies inflammatoires

Il existe plusieurs maladies liées au processus de l'inflammation, on distingue selon le schéma ci-dessous (figure 18) trois types de pathologies où l'inflammation est soit une cause directe, soit participe indirectement à la maladie (Nathan, 2002).

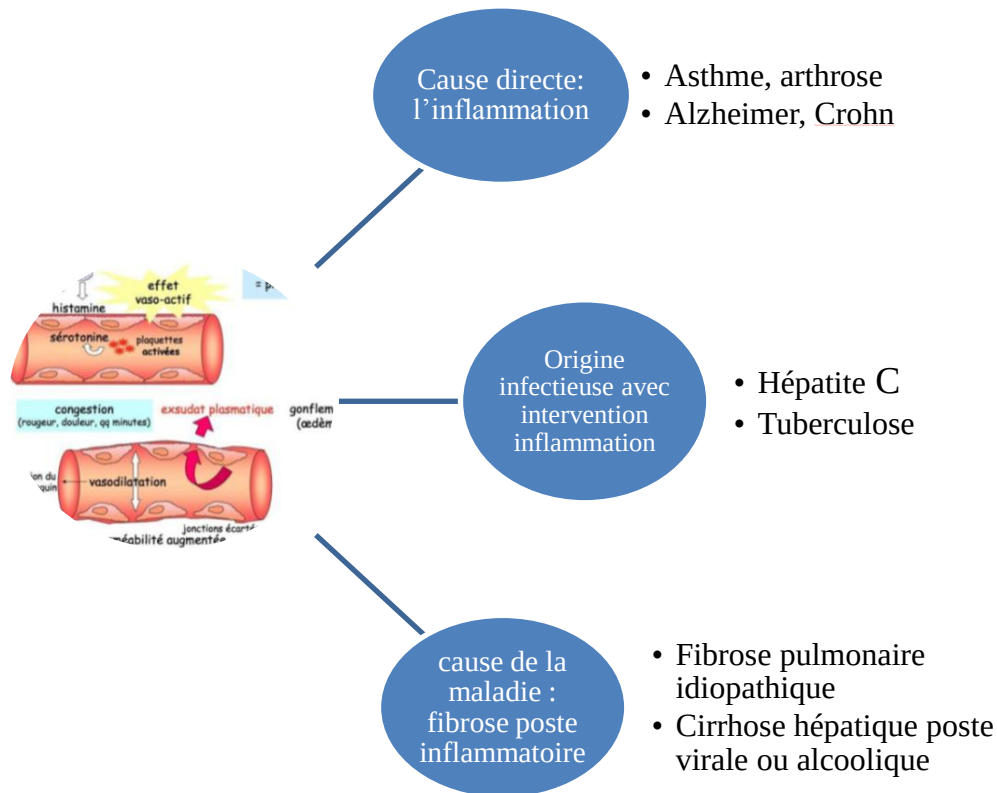


Figure 18: Contribution de l'inflammation dans trois types de pathologies inflammatoires

2.2 Anti-inflammatoires

Le traitement de l'inflammation est assuré par l'utilisation des médicaments efficaces d'ordre stéroïdien et non stéroïdien.

2.2.1 Anti-inflammatoires non stéroïdiens

Ce groupe renferme une diversité de molécules chimiques, qui se caractérisent par leurs capacités inflammatoires et analgésiques, leur action repose essentiellement sur l'inhibition de l'activité des cyclooxygénases, enzymes favorisant la production des médiateurs de l'inflammation comme les prostaglandines. L'aspirine, ou l'acide acétylsalicylique (figure 19), reste l'anti-inflammatoire qui appartient à ce groupe non stéroïdien, le plus utilisé (Touitou, 1993).

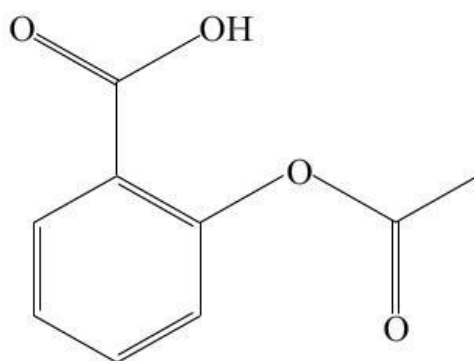


Figure 19: Molécule de l'aspirine

2.2.2 Anti-inflammatoires stéroïdiens

Les anti-inflammatoires stéroïdiens représentent le groupe chimique basé sur la cortisone et l'hydrocortisone (figure 20). Ce groupe des anti-inflammatoires ne permet pas de supprimer la cause du problème, mais il participe seulement à la réduction de l'inflammation en empêchant la migration des cellules immunitaires vers le site inflammatoire. La production des médiateurs inflammatoires est alors réduite. D'autre part, une utilisation excessive de ce type de médicament peut causer des effets néfastes pour la santé (Henzen, 2003).

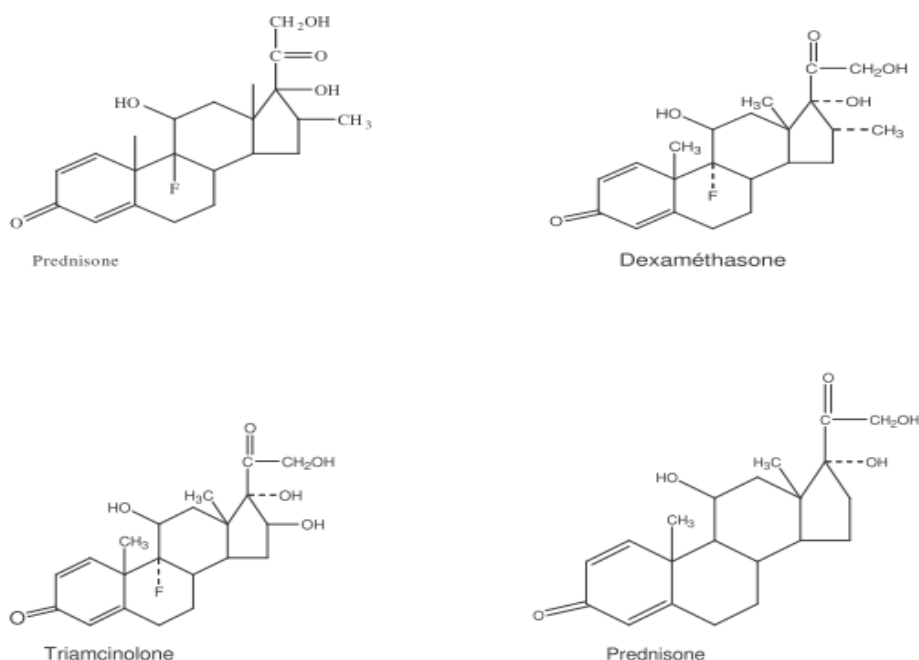


Figure 20: Exemples de molécules anti-inflammatoires stéroïdiens (Henzen, 2003)

3 Activité cicatrisante

3.1 Peau

Avec une surface qui peut atteindre 1,8 m² pour une personne adulte, la peau est un organe assez important pour le corps humain. Elle a trois fonctions essentielles :

- Fonction de protection : la peau est une barrière qui sépare l'organisme de son environnement externe. Ainsi, elle, d'une part, permet la protection contre divers agents externes. Mais aussi, d'autre part, empêche la perte d'ions et d'eau de l'organisme.
- Fonction sensorielle : grâce à sa richesse en terminaisons nerveuses, la peau permet de communiquer au corps des sensations relatives à la douleur, la température...
- Fonction métabolique: par exemple, la peau permet la synthèse de la vitamine D, après l'exposition aux rayons solaires UVB.

Par rapport à la structuration de la peau, elle est formée de trois couches essentielles: l'épiderme, le derme et l'hypoderme:

- *L'épiderme*

C'est une couche mince (0,5 à 1 mm d'épaisseur) qui est en contact direct avec l'environnement extérieur de la peau. Elle joue un rôle de protection contre les agents qui peuvent attaquer le corps. Elle se caractérise par la présence des cellules mélanocytes, dont la fonction est la catalysation des réactions biochimiques pour la formation des pigments (mélanine) (Marieb, 2008) et des cellules de Langerhans qui ont un rôle immunitaire (Banchereau *et al.*, 2000) et des Cellules de Merkel, connues pour leur action d'induction nerveuse (Catala *et al.*, 2007). La kératine reste la protéine la plus abondante au niveau de cette couche superficielle épidermique (Ferraq, 2007).

- *Le derme*

Il s'agit du tissu conjonctif lâche vascularisé, son épaisseur est d'environ 1 à 4 mm. Il contient une matrice extracellulaire avec plusieurs types de cellules : (fibroblastes, macrophages et mastocytes) et plusieurs annexes épidermiques (glande sudoripares, glandes sébacées et follicules pileux) (tableau 8).

Tableau 8:Différentes cellules de la peau et leurs fonctions

Composition	fonction	référence
Fibroblastes	Production des fibres (collagène, élastine, ...) et facteurs de croissance.	(Hé, 2006)
Myofibroblastes	la contraction des plaies	(Desmoulière, 1995)
macrophages, mastocytes et leucocytes	Protection et défense immunitaire	(Vignon, 2006)
Annexes cutanées (follicules pileux et poils, glandes sébacées, glandes eccrines...)	hydratation et souplesse cutanée. Sécrétion du film hydrolipidique	(Crickx, 2005) (Catala <i>et al.</i> , 2007)

- *L'hypoderme*

C'est le tissu interne le plus profond de la peau, c'est une couche graisseuse qui participe à la mobilité de la peau et à maintenir sa température interne. Les cellules qui caractérisent cette couche appartiennent principalement à la famille adipocyte, qui renferme une concentration élevée en acides gras (Kanitakis, 2002). D'autres cellules de type fibroblastes et macrophages sont assez présentes (Wysocki, 1999)

3.2 Brûlures

Une brûlure peut être définie comme une lésion ou rupture de la barrière cutanée du corps, suite à une exposition à un agent externe d'ordre thermique, chimique ou électrique. La brûlure peut être classée en trois degrés (Eisenbeiß *et al.*, 1999), selon la gravité et l'ampleur sur l'organisme :

- *Premier degré*

Ce type de brûlure n'atteint que la couche superficielle de la peau (figure 21), il est souvent la cause d'un coup de soleil ou d'une légère abrasion. La guérison se fait après quelques jours sans laisser de cicatrice.

- *Deuxième degré :*

Une brûlure de deuxième degré est plus profonde que le premier degré (figure 21). Elle peut atteindre le derme de la peau et s'accompagne par des douleurs expliquées par le fait de toucher les terminaisons nerveuses. La guérison se fait après une durée de temps plus

importante, avec la possibilité de laisser des troubles cosmétiques (décoloration de la peau, cicatrice ...).

- *Troisième degré*

Cette dernière catégorie de brûlures touche les trois niveaux de la peau, en causant d'importants dégâts. La destruction des terminaisons nerveuses empêche la sensation de douleur. Pour la guérison, une intervention chirurgicale est nécessaire.

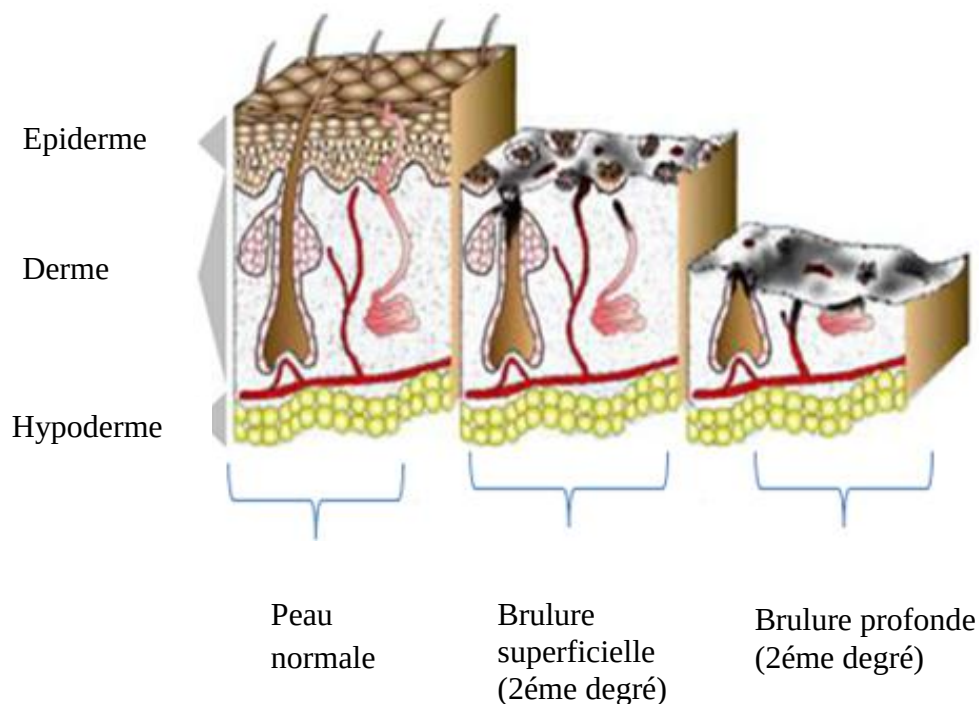


Figure 21: Schématisation d'une peau brûlée superficiellement et profondément au 2ème degré en comparaison à une peau normale

3.3 Cicatrisation

La cicatrisation des brûlures est un processus dépendant de beaucoup de facteurs (degré et site de brûlure, âge de la personne brûlée ...). La réparation de la barrière cutanée lésée fait intervenir des réactions biologiques qui font intervenir une panoplie de cellules. Ainsi, trois phases majeures peuvent être identifiées lors d'un processus de cicatrisation (Senet, 2007).

- *La phase inflammatoire*

Il s'agit d'une série de réactions biochimiques et physiologiques, caractérisées par la migration des cellules immunitaires (lymphocytes, macrophages...) au site de brûlure, afin d'éliminer l'adhésion de tous corps étranger (voir axe précédant sur l'inflammation).

- *La phase de prolifération tissulaire*

Durant cette deuxième phase, les fibroblastes interviennent pour la réparation du tissu lésé ; ainsi, la matrice extracellulaire, dont les fibres de collagène sont le composant majeur, est reconstituée. D'autre part, de nouveaux vaisseaux sanguins sont formés pour nourrir la peau.

- *La phase de maturation*

Cette phase, appelée aussi remodelage, peut durer plusieurs mois pour aboutir à un tissu sain normal. En effet, après la prolifération, le tissu obtenu est caractérisé par une richesse en fibres de collagène, mais qui est moins organisée et moins riche en élastine ; des réactions métaboliques (enzymes protéolytiques) interviennent pour redonner à la peau ses fonctions d'élasticité et résistance qui ne sont pas toujours retrouvées comme avant la brûlure.

3.4 Traitement des brûlures

Le traitement d'une brûlure locale est basé essentiellement sur l'utilisation d'un protocole qui regroupe des médicaments contre l'infection et la douleur, à côté d'un pansement qui va permettre la protection et l'hydratation de la plaie. Les pansements utilisés dans la médecine conventionnelle sont regroupés en plusieurs catégories. Ainsi, notre attention se porte sur les plus utilisés, comme illustré sur le tableau ci-après, qui présente d'ailleurs leurs propriétés, leurs indications et contre-indications.

Tableau 9: Pansements et leurs caractéristiques

Catégories	Propriétés	Indications	Contre-indications
Pansements antibactériens	Contiennent des antibiotiques	Application quotidienne pendant la phase aiguë de la brûlure	allergie aux sulfamides
Hydro-colloïdes	contiennent carboxy-méthylcellulose sodique (CMC)	Application non quotidienne dans les cas de : Escarres, ulcères, brûlures	Des plaies infectées
Hydro-cellulaires	A base du dérivé de polyuréthane	Application sur des brûlures après brûlures exsudatives.	Brûlures sèches
Hydrogels	A base des dérivés de carboxyméthyl-cellulose hydratant la plaie	Application sur des brûlures sèches non exsudatives	Brûlures humides exsudatives
Hydro-fibres	A base d'une forme particulière d'hydro colloïde	Application sur des Brûlures exsudatives	brûlures sèches et nécrosées
Charbons	Absorption des germes et des exsudats	Application sur des brûlures infectées	Brûlures sèches nécrosées
Films	A base de film en polyuréthane transparent	Application sur des Brûlures superficielles	Plaies infectées. Plaies exsudatives.

Partie II : MATERIEL ET METHODES

A. ENQUETE SUR LES PRATIQUES AGRICOLES RELATIVES A LA CULTURE DE SESAME A LA REGION BENI MELLAL KHENIFRA

1 Présentation de la zone d'étude

Selon la monographie de la région de Béni Mellal-Khénifra et avec le nouveau découpage de 2015, celle-ci contient cinq provinces (figure 22) : Azilal, Béni Mellal, Fquih Ben Salah, Khenifra et Khouribga. Le chef-lieu de la région est la province de **Béni Mellal**. Pour notre étude, on s'est intéressé à un échantillonnage de quelques sites de culture situés au niveau des deux provinces de **Béni mellal** et **Fquih Ben Salah**.

2 Caractéristiques des deux sites choisis

- Béni mellal

Avec une superficie de 44528km², le climat de la province Béni mellal est tempéré chaud. En moyenne, la température est de 18,3°C et les précipitations annuelles sont de 493 mm. Le mois de Juillet est considéré comme le plus sec avec 1mm de précipitations. Le mois de Mars enregistre le plus haut taux de précipitations avec 79 mm.

- Fquih ben saleh

Étalé sur 3250km², la province de Fquih ben saleh se caractérise par une moyenne de température de 18,9°C et de précipitations de 483 mm. Les précipitations les plus faibles et les plus fortes sont enregistrées au niveau des mois de Juillet et Décembre avec 1mm et 83mm respectivement.

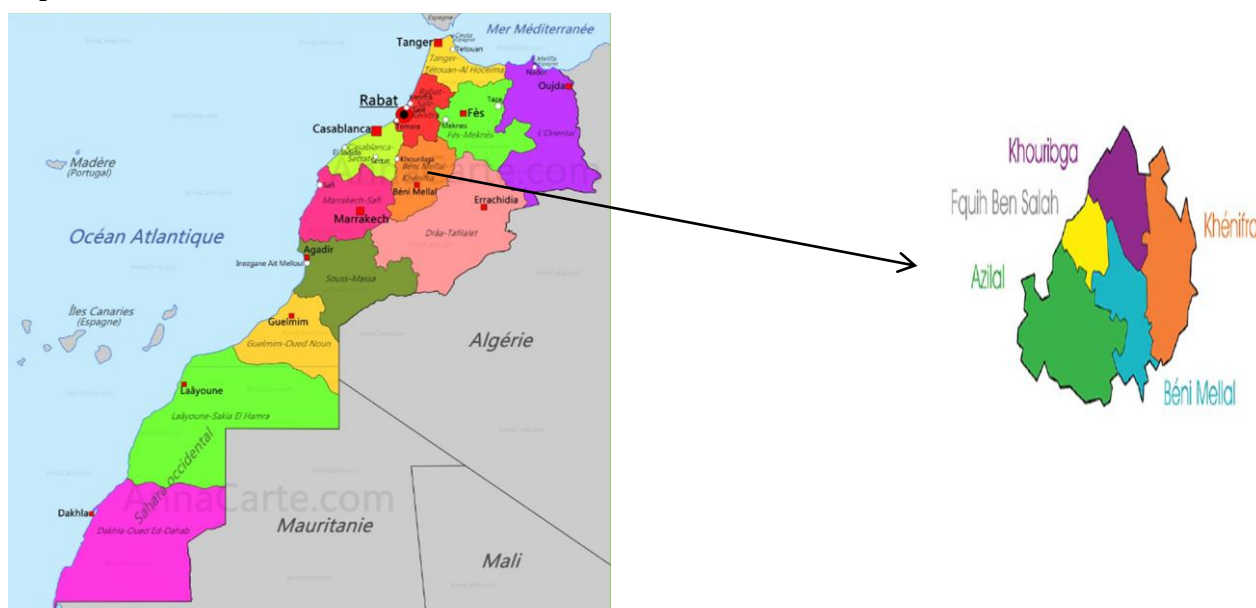


Figure 22: Situation géographique des deux sites couverts par l'enquête

3 Questionnaire de l'enquête

L'étude a été réalisée à travers un questionnaire entretien direct (Annexe), qui est en principe une méthode descriptive qui s'applique à une population homogène (échantillon) qui permettra d'observer et de collecter des caractères statistiques pour être traités et analysés par la suite. Cette enquête a interrogé 29 agriculteurs âgés entre 26 ans et 60 ans, répartis en 3 femmes contre 26 hommes.

Ainsi, le questionnaire traite les thématiques suivantes (plus de détails en annexe) :

- ✓ Caractéristiques sociodémographiques de l'enquête
- ✓ Mode de préparation du sol
- ✓ Type, dose et date d'utilisation des fertilisants
- ✓ Date, mode et densité de semi
- ✓ Type, date, et dose du traitement phytosanitaire
- ✓ Niveaux d'irrigation
- ✓ Mode de stockage des graines après récolte

4 Echantillonnage

En procédant à un échantillonnage par sondage, des échantillons sont ensuite formés pour chacune des deux strates choisies pour constituer l'échantillon global (tableau 10)

Tableau 10: Répartition des agriculteurs selon les deux provinces étudiées

	Noms des strates	Nombres d'enquêtés
Strate 1	Beni mellal	13
Strate 2	Fkih ben salah	16
Echantillon		29

B. EFFET DE LA FERTILISATION AZOTEE SUR LA MORPHOMETRIE, LA PHYSIOLOGIE ET LA QUALITE PHYTOCHIMIQUE DE *SESAMUM INDICUM*

1 Expérimentation au champ

1.1 Conditions de culture

Afin d'évaluer l'impact de la fertilisation azotée sur le comportement morpho-métrique de la plante de *Sesamum indicum*, une culture en plein champ a été réalisée au sein de l'Institut National des Plantes Médicinales et Aromatiques (INPMA) entre le mois de Juin et d'Octobre

2014 (figure 23, 24, 25 et 26). Les semences de sésame ont été récupérées, lors de l'enquête réalisée, auprès des agriculteurs de la région de Benimellal-Khenifra.

Au cours de la période de culture, les paramètres météorologiques de la station d'étude (tableau 11) ont été rapportés.

Tableau 11: Données climatiques du site expérimental de l'année 2014

	juin	Juillet	Out	Septembre	octobre
C°min	15,9	18,5	18,5	15,5	11,5
C°max	29,8	34,0	34,0	22,5	23,0
C°	22,8	26,2	26,2	22,5	17,2
F°min	60,6	65,3	65,3	59,9	52,7
F°max	60,6	65,3	65,3	59,9	52,7
F°	73,0	79,7	79,2	72,5	63,0

Les graines de sésame ont été semées le 26 Juin à une profondeur de 3 à 4 cm et un espacement de 15 cm. Toutes les parcelles ont été irriguées juste après le semis pour déclencher la germination. Les parcelles ont été entretenues par un sarclage régulier. Le traitement a été apporté 40 jours après le semis ; en effet, cinq niveaux d'azote sous sa forme uréique ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$, 46% N) ont été utilisés ($\text{N0}=0$, $\text{N1}=40$, $\text{N2}=80$, $\text{N3}=120$, $\text{N4}=160$ (Kg/ha). La récolte a été effectuée manuellement à la fin de la saison lorsque les feuilles sont devenues jaunes. Les plantes récoltées sont ainsi empilées en position verticale sous le soleil pendant 15 jours. Les graines récupérées ont été conservées à 4°C.



Figure 24:Culture de sésame, stade plantule



Figure 23:Parcelles cultivées à l'INPMA



Figure 26:Fleur de sésame, stade floraison



Figure 25:Capsules de sésame, stade maturité

1.2 Paramètres mesurés

Durant cette expérimentation, nous avons essayé de mettre le focus sur les changements morphométriques, comme étant les outputs majeurs, qui accompagnent la fertilisation azotée de la plante *Sesamum indicum*. Ainsi, les paramètres suivants ont été étudiés :

- Longueur des plantes (cm)
- Nombre de capsules par plante
- Nombre de graines par capsule
- Poids de mille graines
- Longueur de la capsule (mm)
- Biomasse racinaire de la plante
- Rendement en graines ; calculé par la formule suivante :

$$\text{Rendement des graines (kg / ha)} = (\text{rendement des graines (kg)} / \text{superficie des parcelles (m}^2\text{)}) * 10000$$

2 Expérimentation en milieu contrôlé

2.1 Essai de germination

La germination est la première étape du cycle végétal des plantes. Sous l'effet de plusieurs conditions intrinsèques et extrinsèques optimales, elle permet le passage des graines à la vie active, après rupture avec une phase de latence prolongée (Mazliak, 1982). Afin de mieux comprendre le rôle de deux facteurs critiques, à savoir l'eau et la lumière, on a procédé à étudier leur effet sur la germination des semences de *Sesamum indicum*.

2.1.1 Effet de différents potentiels hydriques sur la germination de *Sesamum indicum*

Il est connu que l'absorption de l'eau est le premier facteur qui agit sur la germination des semences (Koornneef, 2002). Afin d'estimer la réponse des graines de sésame envers différents niveaux d'eau pendant la phase de germination, une expérimentation sous contrainte hydrique a été menée.

L'évaluation des besoins hydriques des semences a été réalisée en utilisant différents niveaux d'une solution à base de polyéthylène glycol (PEG), dont la masse molaire est de 6000. Cet agent osmotique permet de maintenir un potentiel hydrique stable tout au long de l'expérimentation. Pour induire différentes contraintes hydriques, une série de concentrations croissantes de PEG 6000 a été utilisée (Michel *et al.*, 1973). Ainsi, les niveaux du potentiel hydrique choisis sont : 0 ; 0,1 ; -1 et -1,6 MPa, ce qui est équivalent aux concentrations illustrées dans le tableau 12. Selon Michel *et al.* (1973), l'équation utilisée pour calculer le potentiel hydrique est la suivante :

$$\Psi_H = -(5,18 \cdot 10^{-2}) C - (1,118 \cdot 10^{-4}) C^2 + (2,67 \cdot 10^{-4}) CT + (8,39 \cdot 10^{-7}) C^2 T$$

Avec Ψ_H : potentiel hydrique (MPa)

T : température d'incubation en °C

C : concentration de PEG6000 (g/l)

Tableau 12: Différents potentiels hydriques en fonction de la concentration en PEG 6000

Traitement	PEG 6000(g/l)	Potentiel Hydrique (MPa)
Solution 1 : Témoin	0	0
Solution 2 : Faible	15,3	-0,1
Solution 3 : Moyen	80,36	-1
Solution 4 : Fort	107,47	-1,6

Les solutions S1, S2, S3 et S4 ont été préparées pour arroser les graines en germination. En effet, les graines au nombre de 30, sont désinfectées à l'eau de javel (5 % pendant 10 mn) puis rincées abondamment avec de l'eau distillée. Ensuite, Elles sont mises à germer dans des boîtes à Pétri couvertes de papier filtre imbibé de 10 ml de chaque solution de PEG déjà préparée. Les boîtes de Pétri ont été fermées hermétiquement pour éviter l'évaporation, avant d'être étuvées à une température de 25°C et une photopériode de 16h le jour/8h la nuit (350 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). La germination est repérée par la sortie de la radicule hors du tégument. Le nombre de graines germées se comptait quotidiennement. Ainsi, pour caractériser la germination des graines sous stress hydrique, quatre paramètres ont été mesurés :

- Taux de germination : il correspond au nombre des graines germées par rapport au total des graines semées.

- Temps à 50% de germination : c'est le temps nécessaire à la germination de 50% des graines mises à germer.

- Moyenne journalière de germination : qui a été calculée selon la formule suivante (Benjelloun *et al.*, 2013) :

$$\text{MDG} = (N_1T_1 + N_2T_2 + N_3T_3....+N_nT_n) \times 100 / (N_1 + N_2 + N_3....+ N_n)$$

Avec N_n présente le nombre de semences germées entre le temps T_{n-1} et le temps T_n .

- Poids sec : Les échantillons des plantules de chaque boîte sont pesés sur une balance de précision.

2.1.2 Effet de la lumière sur la germination des graines de *Sesamum indicum*

L'objectif de ce test est d'évaluer l'action de la lumière sur la germination des graines de *Sesamum indicum*. Pour ce faire, le même protocole de germination précédent a été suivi, sauf que les graines ont été arrosées chaque jour par de l'eau distillée stérile (et non pas la solution de PEG). Durant ce test, deux conditions expérimentales ont été assurées : un premier lot des graines a été mis à germination en lumière, quant au deuxième, il a été incubé à l'obscurité. La capacité de germination, le temps de 50% de germination, la moyenne journalière de germination et la longueur de la tige ont été mesurés au cours de ce test.

2.2 Conduite culturale en milieu contrôlé

2.2.1 Conditions de culture

Après 14 jours de germination dans des conditions non limitantes en eau et à l'obscurité, des plantules homogènes ont été repiquées dans des pots en plastiques (42cm × 35,5 cm) rempli du sol additionné de 1kg de gravier permettant une meilleure aération des racines.

L'expérience a été réalisée en condition de serre au laboratoire de l'Ecologie Fonctionnelle et Environnement à la faculté des sciences et techniques de Fès (figure 27). Les conditions contrôlées visent à étudier précisément l'effet de la fertilisation azotée sur les paramètres morpho-métriques et biochimiques de *Sesamum indicum*. Les températures moyennes enregistrées entre Juin 2015 et Novembre 2015 (période de la culture) sont situées entre 20 et 40 °C. De point de vue granulométrique, le sol présente une texture limono-argilo-sableuse (tableau 13).

Tableau 13: Aspect granulométrique du sol utilisé

Propriétés physiques	
Argile %	17
Limon fin %	34
Limon grossier %	13
Sable fin %	22
Sable grossier %	14

Après 40 jours d'acclimatation, l'application des traitements a été effectuée en utilisant cinq niveaux d'azote sous sa forme minérale uréique ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$, 46% N): 0, 40, 80, 120, 160 kg/ha (i.e., 0, 26, 52, 78, 104 mg N par kg sol), ces niveaux sont notés N1, N2, N3 et N4 respectivement. Le dispositif expérimental était en blocs aléatoires complets à 4 répétitions (figure 27). La récolte a été réalisée après maturité (changement de couleur en jaune et déshydratation de la tige).



Stade plantule



Stade végétatif



Stade séchage



Stade maturité

Figure 27: Cycle de développement de *Sesamum indicum* dans des conditions contrôlées

2.2.2 Paramètres mesurés

Après récolte, des paramètres morpho-métriques et physiologiques ainsi que la qualité phytochimique ont été mesurés.

2.2.2.1 Paramètres morpho-métriques

Afin de déterminer l'effet de différents niveaux de fertilisation utilisés sur les caractéristiques morphométriques de la plante étudiée, on a procédé à mesurer :

- La longueur des plantes (cm)
- Le nombre de capsules par plante
- Le nombre de graines par capsule
- Le poids de mille graines
- La longueur de la capsule (mm)

2.2.2.2 Paramètres biochimiques

2.2.2.2.1 Teneur en huile

5 g des graines de sésame de chaque traitement ont été extraits avec 100 ml de n-hexane à l'aide d'un Soxhlet. L'huile est ensuite récupérée par évaporation du solvant.

$$\text{Teneur en huile (\%)} = [(\text{Poids de l'extrait huileux}) / (\text{poids de la prise d'essai})] * 100$$

2.2.2.2.2 Teneur en sucres solubles totaux

200 mg des graines de chaque traitement ont été broyées avec de l'éthanol à 80%. Les tubes ont été fermés et incubés au bain-marie (80°C) pendant 30 min sous agitation continue. L'extrait est centrifugé à 4500 rpm pendant 10 min. Ensuite, 100µl du surnageant a été ajouté à 3ml d'anthrone soluble dans l'acide sulfurique. L'absorption de la couleur est lue au spectrophotomètre (SP 1700 Ultraviolet Spectrophotomètre, Phillips, Pye Unicam) à 625 nm. La gamme d'étalonnage a été préparée à base du glucose (Dubois *et al.*, 1956).

2.2.2.2.3 Teneur en protéines totales

La teneur en protéines des graines de chaque traitement a été déterminée selon la méthode Kjeldhal décrite par Khalid *et al.* (2003). Au début, une prise d'essai est minéralisée dans un mélange de 10 ml d'acide sulfurique et de catalyseurs. L'ammoniac libéré est ensuite récupéré dans une solution d'acide borique (4%). La titration est faite avec de l'acide chlorique (0,1 N) en présence d'un mélange d'indicateurs.

La teneur en protéines est déterminée par la formule suivante :

$$\text{Protéines} = \frac{(V-V_0) \times 1000 \times F \times N \times 14 \times 100}{P \times MS\%} \quad \text{Où}$$

V : volume d'acide chlorhydrique utilisé pour titrer l'échantillon en ml.

V₀ : volume d'acide chlorhydrique en ml utilisé pour l'essai à blanc.

P : prise d'essai en gramme.

F : facteur de conversion (6,25 pour le sésame).

MS : matière sèche de l'échantillon.

2.2.2.2.4 Teneur en éléments minéraux

Une prise d'essai de chaque échantillon a été digérée avec 10 ml d'un mélange de l'acide nitrique et perchlorique. Le tout est porté à une température de 120°C pendant 6 h. Le volume final est dilué avec de l'eau déionisée, pour être analysé par la suite avec la spectrométrie de masse à plasma couplé par induction (ICP-MS) (Zhao *et al.*, 1994).

2.2.2.2.5 Dosage des composés phénoliques

2.2.2.2.5.1 Préparation des extraits hydro-méthanoliques

Les extraits à doser sont obtenus après une macération d'une prise d'essai des graines obtenues de chaque traitement, en utilisant un solvant hydro-méthanolique (70%) pendant 76 heures sous agitation continue. L'extrait final a été récupéré après filtration et concentration à l'aide d'un rota-vapeur à une température de 40 °C.

2.2.2.2.5.2 Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols présents dans les extraits hydro-méthanoliques de chaque traitement a été effectué à l'aide de réactif de Folin-Ciocalteu (Iqbal *et al.*, 2005). Dans un tube réactionnel, 100µl de solution hydro-méthanolique de l'extrait brut (1mg/1ml) a été additionné de 0,5 du réactif de Folin-Ciocalteu et 1, 5 ml de carbonate de sodium à 20%. Puis, on complète à 10ml avec de l'eau distillée. Les tubes sont par la suite agités et conservés durant 2 heures à température ambiante. L'absorbance est lue au spectrophotomètre à 765nm. La concentration des polyphénols totaux est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec l'acide gallique (0 - 200 µg /ml). Les résultats obtenus sont

exprimés en milligramme d'équivalent d'acide gallique par un gramme de l'extrait (μg EAG/mg d'extrait).

2.2.2.2.5.3 Dosage des flavonoïdes

La méthode de trichlorure d'aluminium décrite par Ordonñez et ses collaborateurs (2006) a été utilisée. Ainsi, une prise d'essai de chaque échantillon est mélangée avec 0,3 ml de nitrite de sodium (NaNO_2 5%). Après 5 min, on ajoute 0,3 ml d' AlCl_3 (10%) puis 2 ml de NaOH (1M), avant de compléter le volume à 10 ml avec de l'eau distillée. L'absorbance est mesurée à 420 nm. La teneur en flavonoïdes totaux est exprimée en microgramme d'équivalent de Quercétine par milligramme d'extrait (μg EQ/mg), par référence à la courbe d'étalon.

2.2.2.3 Etude de l'activité antioxydante

2.2.2.3.1 Test de piégeage de DPPH

L'activité anti-radicalaire de différents extraits hydro-méthanoliques étudiés est estimée en utilisant la méthode basée sur le radical libre DPPH (2,2- diphényl -1-picrylhydrazyle), qui se caractérise d'ailleurs par une couleur violette virant au jaune en présence d'un antioxydant (figure 28).

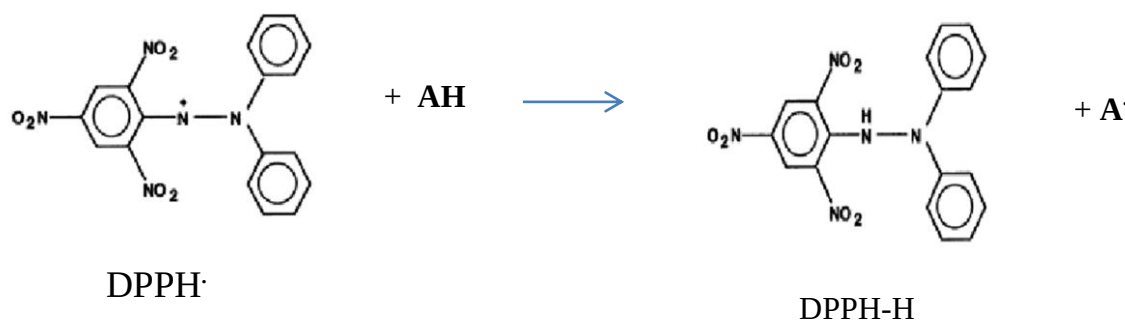


Figure 28 : Réaction entre le DPPH et l'antioxydant (AH)

Ainsi, l'activité du piégeage du radical DPPH a été testée selon le protocole décrit par (Molyneux, 2004). En effet, dans une série de tubes, on introduit 2,5 ml de chaque extrait dilué (avec une série de dilution à partir d'une solution mère concentrée à 0,1mg/ml) et 1ml de la solution méthanolique au DPPH (1M). Après agitation, ces tubes sont incubés à l'obscurité pendant 30 minutes. L'absorbance est mesurée à 517 nm. L'acide ascorbique, dilué de la même manière que les extraits, a été utilisé comme témoin.

Les résultats sont exprimés selon la formule suivante :

$$\text{Activité anti-radicalaire \%} = [(\text{Abs contrôle} - \text{Abs test}) / \text{Abs contrôle}] \times 100$$

Avec :

Abs Contrôle : Absorbance de la solution du DPPH

Abs test : Absorbance de l'extrait.

Pour préciser l'IC50 (concentration inhibitrice de 50 %), une courbe illustrant le pourcentage de l'activité anti-radicalaire par rapport aux différentes concentrations des extraits testés a été graphiquement tracée. L'activité anti-radicalaire est forte lorsque la valeur de l'IC50 est faible.

2.2.2.3.2 *Activité Antioxydante Totale*

Les différents extraits étudiés sont testés pour leur activité antioxydante totale, selon la méthode de Prieto et ses collaborateurs (1999) qui est basée sur la réduction de la molybdène Mo (VI) pour former un complexe vert de phosphate Mo(V) (phosphomolybdène), et ce à un pH acide. Cette technique consiste à mélanger 0,3 ml de l'extrait étudié avec 3ml d'un réactif (0,6 M acide sulfurique, 28 mM phosphate de sodium et 4 mM molybdate d'ammonium). Les tubes, bien fermés, sont incubés à 95°C pendant 90 min. Après refroidissement, l'absorbance est mesurée à 695 nm. Les résultats obtenus sont exprimés en µg équivalent d'acide ascorbique par ml.

C. ETUDE DE L'EFFET DU DECORTICAGE DES GRAINES DE SESAME SUR LEUR QUALITE BIOCHIMIQUE ET PHYTOCHIMIQUE

1 Matériel végétal

Les graines utilisées dans cette étude ont été récupérées auprès des agriculteurs de la région de Beni Mellal-Khenifra.

1.1 Caractérisation du matériel végétal

1.1.1 Caractérisation biochimique

L'analyse biochimique des graines de *Sesamum indicum* a été réalisée en utilisant les protocoles décrits ci-avant (axe : Effet de la fertilisation azotée sur la morphométrie, la

physiologie et la qualité phytochimique de *Sesamum indicum*). Ainsi ont été dosés les protéines totales, les sucres totaux et l'huile.

1.1.2 Caractérisation microscopique

Les graines de sésame ont été soumises à des études microscopiques en utilisant un microscope électronique à balayage (FEI Company, Hillsboro, OR, USA). L'objectif étant l'évaluation microscopique des graines avant leur transformation et, par la même occasion, de caractériser leurs enveloppes externes.

2 Décortiquage

Le décortiquage des graines de sésame a été réalisé suivant une procédure comprenant les étapes suivantes : le trempage, le frottement mécanique et la séparation de l'enveloppe (figure 29).

2.1 Trempage

Dans le but d'optimiser l'étape de trempage, nous avons recouru à une pré-imbibition dans une solution de NaHCO_3 (5%), pendant 2h à une température ambiante (Ahmadian *et al.*, 2014). Ensuite, les graines ont été soumises à une visualisation microscopique, à l'aide d'un microscope à balayage qui permet de caractériser la structure à l'état frais de la plante sans aucune altération, chose qui nous a aidés pour identifier l'effet de NaHCO_3 sur la membrane externe des graines.

2.2 Frottement mécanique

Cette étape consiste à séparer la graine de l'enveloppe à l'aide d'un épilucheur sous agitation mécanique.

2.3 Séparation des graines décortiquées et leurs enveloppes

Les graines et les enveloppes ont été trempées dans une eau saline. Les particules légères (enveloppes) flottent à la surface, alors que les graines les plus lourdes coulent au fond. Par la suite, un dessalement par lavage à l'eau douce a été réalisé.

Graines entières



Trempage



Frottement



Séparation



Enveloppes



Graines décortiquées

Figure 29:Etapes de décortilage des graines de *Sesamum indicum*

Enfin, afin de caractériser les graines décortiquées et leurs enveloppes codées DS (pour "Dehulled Seeds") et SC (pour "Seeds Coat"), on a procédé à un dosage de différents éléments qui les composent.

3 Composition biochimique des graines décortiquées et leurs enveloppes

Les taux des huiles et protéines ont été dosés sur la base des protocoles ci-dessous. Quant à la teneur en sucres totaux et en éléments minéraux, elle a été calculée en se référant aux protocoles cités précédemment (axe : Effet de la fertilisation azotée sur la morphométrie, la physiologie et la qualité phytochimique de *Sesamum indicum*).

3.1 Teneur en huile

Pour déterminer la teneur en huile, la fraction lipidique a été extraite en réalisant une macération de 5g de broyat de sésame dans 50ml d'hexane, sous agitation continue pendant 24heures. L'huile extraite est concentrée grâce à un évaporateur rotatif.

La teneur est calculée en se basant sur la formule suivante :

$$\text{Teneur en huile}\% = \frac{m}{M_s} \times 100$$

Avec :

m : masse en g de l'huile obtenue

M_s : masse végétale sèche

3.2 Teneur en protéines

Selon la méthode de Lowry (1951), 200mg du matériel végétal délipidé ont été broyés avec 5ml de tampon phosphate (100 mM, pH 7,5). Ensuite, le surnageant des protéines a été récupéré après une centrifugation à 4000 rpm (10 min). 2ml de réactif de Lowry ont été ajoutés audit surnageant pour le doser. Après incubation à l'obscurité, 0,2ml du réactif de Folin-Ciocalteu a été ajouté. Le mélange a été mis à une lecture au spectrophotomètre (750 nm). La gamme d'étalonnage a été réalisée par un standard de BSA (bovine serum albumin).

3.3 Teneur en oxalates

Le dosage des oxalates a été réalisé suivant la méthode de Baker (1954). En effet, dans une fiole de 250 ml, 2g de l'échantillon ont été mélangés avec 200ml de l'eau distillée, les tubes ont été fermés et soumis au bain-marie (95°C) pendant une heure avant de réaliser une filtration. Un volume de 50 ml du filtrat a été prélevé dans un bêcher, auquel 20 ml de la solution HCl ont été ajoutés, avant de porter le mix à ébullition. Par la suite, 2 à 3 gouttes de

rouge de méthyle ont été additionnées, suivies de l'ammoniac jusqu'à un virage de la coloration au jaune. Le mélange a été ensuite chauffé puis filtré.

Le filtrat a été porté à ébullition avec 10ml de chlorure de calcium. L'ensemble a été laissé au repos pendant 24 h. Le lendemain, des cristaux d'oxalate ont été récupérés par centrifugation.

Dans un bécher, 10 ml d'acide sulfurique ont été rajoutés au précipité jusqu'à dissolution complète. Dans une seconde étape, un titrage par KMnO_4 (0,05N) a été réalisé, jusqu'à obtention d'une coloration rose.

Le taux d'oxalate est calculé par la formule suivante :

$$\text{oxalate \%} = \frac{T \times V1 \times Df \times 10^5}{V2 \times W}$$

Où :

T : Normalité KMnO_4 (0,05N)

V1 : Volume versé

Df : Facteur de dilution

V2 : Volume de l'extraction de l'oxalate titré

W : Prise d'essai en (g)

3.4 Caractérisation des molécules bioactives

3.4.1 Criblage phytochimique

Le matériel végétal issu de DS et SC a été soumis à un criblage phytochimique dans le but de mettre en évidence la présence ou l'absence de différents groupes chimiques. Pour ce faire, les réactions suivantes ont été réalisées :

3.4.1.1 Flavonoïdes

3 ml de l'extrait hydro-methanolique de chaque échantillon sont mélangés avec 5 ml d'alcool chlorhydrique en présence des copeaux de magnésium et 0,5 ml d'alcool isoamylique.

Le mélange change de couleur en rose orangée, rose violacée, ou rouge en présence respectivement des flavones, des flavonones ou encore des flavonols. La réaction est négative avec les isoflavones (Debete, 2005).

3.4.1.2 *Tanins*

Pour révéler la présence des tanins, un volume de 1 ml d'un décocté de chaque échantillon a été mélangé à 1 ml d'une solution aqueuse diluée de FeCl_3 à 1%. Ainsi, en présence de tanins, une coloration verdâtre, bleu noirâtre ou encore un précipité se développe (Debete, 2005).

3.4.1.3 *Coumarines*

Dans un tube à essai et en présence de quelques gouttes d'eau, 1 g de chaque échantillon a été ajouté à une solution NaOH diluée, le tout a été porté à ébullition. La présence de coumarines est indiquée par une fluorescence jaune sous UV (Dohou, 2003).

3.4.1.4 *Quinones libres*

Sur une quantité de 1g des échantillons, un volume de 15 à 30 ml d'éther de pétrole est rajouté. Le mix est soumis à une agitation pendant 24h, les extraits sont filtrés et concentrés. Ensuite, quelques gouttes de NaOH sont additionnées. Lorsque la coloration de la phase aqueuse vire au jaune, rouge ou violet, ceci témoigne de la présence des quinones.

3.4.1.5 *Glycosides cardiaques*

Les glycosides cardiaques sont mis en évidence suite à la réaction du chloroforme (2 ml) avec l'extrait aqueux des graines (1 ml). L'étape de la révélation, par la suite, nécessite l'ajout de la solution H_2SO_4 . La présence des glycosides cardiaques est marquée par une coloration brun-rougeâtre (Mun *et al.*, 2009).

3.4.1.6 *Oses et holosides*

2 à 3 gouttes de l'acide sulfurique concentré sont ajoutées à 5 ml de décocté des échantillons à 10 %. Après un repos de 5min, 3 à 4 gouttes d'alcool saturé avec du thymol ont été ajoutées. La présence des oses et holosides est révélée par une coloration rouge (Diallo, 2005).

3.4.1.7 *Mucilages*

Les mucilages, quant à eux, sont identifiés suite à la réaction de 1ml de l'extrait (10%) avec 5 ml d'alcool absolu. La formation d'un précipité floconneux indique la présence des mucilages (Diallo, 2005).

3.4.2 Dosage des flavonoïdes et polyphénols totaux

Afin de quantifier les flavonoïdes et les polyphénols totaux présents dans les extraits hydro-méthanolique, le même protocole utilisé précédemment a été suivi (axe: Effet de la fertilisation azotée sur la morphométrie, la physiologie et la qualité phytochimique de *Sesamum indicum*)

4 Evaluation des activités biologiques des graines décortiquées et leurs enveloppes

4.1 Activité antioxydante

L'activité de piégeage du radical libre DPPH ainsi que l'activité antioxydante totale ont été réalisées, en se référant aux protocoles cités précédemment (axe : Effet de la fertilisation azotée sur la morphométrie, la physiologie et la qualité phytochimique de *Sesamum indicum*).

4.2 Activité anti-inflammatoire

4.2.1 Animaux utilisés

Les rats récupérés du centre ECWP (Emirates Wildlife Propagation Center) de Missour ont été placés dans des cages pendant 15 jours d'adaptation (avant leur utilisation dans les manipulations qui suivent). Tous les animaux ont été soumis à une température constante (22 ± 2 °C) et à un cycle de lumière/obscurité de 12/12h.

4.2.2 Méthode de l'oedème induite par la carragénine

L'évaluation de l'activité anti-inflammatoire a été effectuée en se référant à la méthode décrite par Winter et al. (1962). Pour ce faire, au niveau de six lots contenant chacun 5 rats Wistar mâles et femelles (150–220 g), les extraits testés ont été appliqués par massage pendant 30 minutes. Les groupes étudiés sont :

Groupe 1 : Des rats non traités (témoins);

Groupe 2:Des rats qui ont été traités avec une crème à la vaseline à base d'extrait hydro-méthanolique de DS à 5%

Groupe 3:Des rats qui ont été traités avec de la vaseline à base d'extrait hydro-méthanolique de DS à 10%

Groupe 4:Des rats qui ont été traités avec de la vaseline à base d'extrait hydro-méthanolique de SC à 5%

Groupe 5: Des rats qui ont été traités avec de la vaseline à base d'extrait hydro-méthanolique de SC à 10%

Groupe 6 : Des rats qui ont été traités avec le diclofénac (Dic) 1%, anti-inflammatoire non stéroïdien de référence.

Une heure après l'application des traitements, 0,1 ml de carragénine (0, 5%) a été injecté (injection intramusculaire) au niveau de la patte droite du rat. La taille de la patte a été mesurée avant l'injection de la carragénine et après l'injection à 3, 4, 5 et 6 h. Les tailles moyennes des pattes, avant et après traitement, ont été calculées et comparées aux témoins et diclofénac.

Pour estimer le pourcentage d'inhibition, la formule suivante a été utilisée :

$$\% \text{ inhibition} = \{((St-S0) \text{ control} - (St-S0) \text{ traité}) / (St-S0) \text{ control}\} \times 100$$

Où:

St = Taille moyenne de la patte pour chaque groupe après le traitement par la carragénine.

S0= Taille moyenne de la patte pour chaque groupe avant leur traitement par la carragénine.

4.3 Activité cicatrisante

Pour évaluer le pouvoir cicatrisant des fractions étudiées, des brûlures au niveau de la partie dorsale des rats ont été provoquée avant d'appliquer des traitements à base des extraits étudiés. L'effet observé est comparé à un traitement de référence utilisé pour les soins des brûlures.

4.3.1 Réalisation des brûlures expérimentales

Après une anesthésie générale des rats, les brûlures ont été réalisées sur la partie dorsale déjà rasée (figure 30), en utilisant une masselotte de 1cm de diamètre, chauffée dans de l'eau bouillante (100C°). Après essuyage, la masselotte est appliquée sans pression pendant 20 secondes (figure 31) (Hamdi *et al.*, 2002).



Figure 30 : Préparation des rats pour la réalisation des brulures



Figure 31:Brulure réalisée sur la partie dorsale d'un rat

4.3.2 Application des traitements

Après l'induction des brûlures, des groupes de rats ont été répartis en 6 lots comportant chacun 4 rats, recevant ainsi une application topique, une fois par jour pendant 26 jours.

- Groupe **1** : Rats traités par la sulfadiazine argentine 1% (témoin positif)
- Groupe **2** : Rats non traités (témoin négatif)
- Groupe **3** : Rats traités par la vaseline à base d'extrait hydro-methanolique de DS à 5%
- Groupe **4** : Rats traités par la vaseline à base d'extrait hydro-methanolique de DS à 10%
- Groupe **5** : Rats traités par la vaseline à base d'extrait hydro-methanolique de SC à 5%
- Groupe **6** : Rats traités par la vaseline à base d'extrait hydro-methanolique de SC à 10%

Le suivi de l'évolution de la cicatrisation des brûlures a été réalisé par planimétrie digitale, qui se base sur la prise de photographie des brûlures à un intervalle temporel régulier (une fois par jour), ensuite mesurer leur surface grâce à un logiciel de traitement d'image (ImageJ).

4.3.3 Calcul du pourcentage de rétraction

Pour mesurer le niveau de contraction des plaies, la moyenne des surfaces des quatre plaies d'un même lot est calculée puis comparée avec la surface de la brûlure initiale, en utilisant l'équation suivante (Gopinath *et al.*, 2004):

$$\% \text{ de rétraction} = ((\text{taille de la plaie initiale } J - \text{taille de la plaie à } J_n) / \text{taille de la plaie initiale}) \times 100$$

4.3.4 Etude toxicologique : Toxicité aiguë

Le test de la toxicité aiguë permet d'avoir une idée sur les effets dangereux d'un produit sur la santé. La dose létale 50 est utilisée pour évaluer la toxicité d'une manière générale. D'ailleurs, elle se définit comme étant la quantité d'un produit qui provoque la mort de la moitié des rats d'un lot homogène. Pour réaliser ce test, les deux extraits hydrométhanoliques de DS et SC à 10% ont été appliqués par voie locale. Les lots sont observés à l'œil nu pendant 14 jours pour identifier la présence ou non des signes de toxicité (Irritation locale, diarrhée, coma, activité réduite...). De même, le poids de ces rats a été mesuré quotidiennement pendant cette période. De surcroît, afin de savoir l'effet des extraits sur le foie, la rate et les reins des rats traités, leurs poids relatifs ont été calculés à la fin du test, et ce par le biais de la formule suivante (Ramadan *et al.*, 2012) :

$$\text{Poids relatif de l'organe} = (\text{Poids de l'organe traité} / \text{Poids corporel}) \times 1000$$

D. ETUDE DE L'EFFET DE LA TORREFACTION DES GRAINES DE SESAME SUR LEUR QUALITE BIOCHIMIQUE ET PHYTOCHIMIQUE

1 Matériel végétal

Après avoir décortiqué les graines, une étape de torréfaction a été effectuée à des températures croissantes dans le but de trouver le barème temps-température adéquat, pour atteindre la couleur et la flaveur convenables sans altérer la qualité nutritionnelle. Le choix des barèmes a été déterminé en se basant sur la littérature mais aussi, expérimentalement, sur des critères sensoriels et texturales.

Pour ce, nous avons torréfié les graines à des temps et températures progressifs comme montre le tableau suivant :

Tableau 14: Barèmes temps /température pour la torréfaction des graines de sésame

Temps/Température	130°C	140°C	150°C	160°C
40min	130/40	140/40	150/40	160/40
60min	130/60	140/60	150/60	160/60
90min	130/90	140/90	150/90	160/90
120min	130/120	140/120	150/120	160/120

2 Paramètres mesurés

2.1 Composition biochimique des graines torréfiées

Différents dosages, concernant : les protéines totales, les sucres solubles totaux, la teneur en huile, la composition minérale, les polyphénols totaux et les flavonoïdes ont été réalisés, en se référant aux protocoles cités précédemment (axe : Etude de l'effet du décortilage des graines de sésame sur leur qualité biochimique et phytochimique).

2.2 Test de stabilité de l'huile

2.2.1 Couleur de l'huile

La mesure de la couleur de l'huile est basée sur la détermination de l'absorbance de celle-ci, à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible, sur les longueurs d'onde 460 nm, 550 nm, 620 nm et 670 nm (Karleskind *et al.*, 1992). La valeur de la couleur se calcule par la formule suivante:

$$\text{Couleur (A)} = 1,29 A_{460} + 69,7 A_{550} + 41,2 A_{620} + 56,4 A_{670}$$

A : l'absorbance de l'huile

2.2.2 Indice de peroxyde

L'indice de peroxyde est un indicateur qui donne une idée sur le niveau d'oxydation des acides gras insaturés des huiles. En effet, il est défini comme étant le nombre de milliéquivalents d'oxygène actif par kilogramme d'huile. Pour l'évaluation de cet indice, on procède à dissoudre 1 g de chaque échantillon avec 10 ml de chloroforme. Ensuite, on ajoute 15 ml d'acide acétique puis 1 ml d'une solution saturée d'iodure de potassium. Après repos à l'abri de la lumière, 75 ml d'eau distillée sont ajoutés. Enfin, le dosage est réalisé à l'aide

d'une solution de thiosulfate de sodium. En présence d'empois d'amidon, la solution vire du bleu vers l'incolore

L'indice de peroxyde (I_p) est calculé par la formule suivante :

$$I_p = (V_{\text{réel}} - V_{\text{témoin}}) * T * 1000M$$

Avec :

V : Nombre de millilitres de solution de thiosulfate de sodium normalisée utilisée ;

T : Facteur de normalité de la solution de thiosulfate utilisé ;

M : Masse (g) de la prise d'essai.

2.2.3 Indice d'iode

L'indice d'iode est défini comme étant le nombre de grammes d'iode fixés par 100 grammes d'une huile végétale. Pour l'évaluation de cet indice, on a procédé à une solubilisation d'une prise d'essai de chaque échantillon étudié dans 10 ml de chloroforme. Ensuite, on ajoute le réactif de WIJS (2ml). Le mélange est placé à l'obscurité (60 min sous agitation). 2 ml de la solution de KI à 10% ont été ajoutés. Le dosage est réalisé à l'aide d'une solution de thiosulfate de sodium qui décolore la solution.

L'indice d'iode est calculé par la formule suivante :

$$I_i = N * (V_{\text{réel}} - V_{\text{témoin}}) * 127 / (P * 10)$$

Avec :

V : Volume de la solution de thiosulfate de sodium utilisée

N : Normalité du thiosulfate de sodium

P : Poids en g de la prise d'essai

2.3 Activité antioxydante

La détermination de l'activité antioxydante des graines torréfiées a été réalisée par la méthode basée sur la réduction du Phosphomolybden, selon le protocole décrit précédemment.

2.4 Test hédonique

Pour compléter l'analyse biochimique des graines torréfiées sous différentes conditions, un test de dégustation a été réalisé, afin de sélectionner le niveau de torréfaction préféré par les consommateurs. Pour ce, un groupe hétérogène de 30 personnes a été invité à participer volontairement au test.

2.4.1 Préparation des échantillons

Différents échantillons des graines de sésame ont été préparés en leur attribuant des codes (A, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P), comme montré sur le tableau 15. Une même quantité

des graines de chaque échantillon, où le code est mentionné, a été présentée au jury dans les mêmes conditions.

Tableau 15: Différents codes des échantillons des graines de sésame

Temps/Température	130°C	140°C	150°C	160°C
40min	A	E	I	M
60min	B	F	G	N
90min	C	G	K	O
120min	D	H	L	P

2.4.2 Déroulement du test

Après explication des consignes, les panelistes se retrouvaient avec les mêmes échantillons classés dans le même ordre. La dégustation était possible autant de fois que le paneliste juge nécessaire pour établir un jugement. Après dégustation, le paneliste rince la bouche avec de l'eau pour regagner le seuil initial, avant de passer à l'échantillon suivant.

Un questionnaire, qui comporte une évaluation hédonique, est présenté au groupe des panélistes pour le remplir en parallèle avec l'opération de dégustation (voir annexe).

E. CARACTERISATION SENSORIELLE D'UN PRODUIT ALIMENTAIRE A BASE DES GRAINES DE SESAME TRANSFORMEES

1 Matériel végétal

Deux autres ingrédients, à côté des graines de sésame décortiquée, torréfiées et broyées, ont été utilisés pour réaliser la formulation, à savoir les dattes et le miel (tableau 16).

2 Formulation

Les graines torréfiées qui ont enregistrées les meilleurs résultats par rapport à la composition biochimique ainsi que le test hédonique, ont été sélectionnées pour un broyage fin à l'aide d'un broyeur mécanique, ce qui a permis d'obtenir un produit final pâteux viscoélastique. Cette opération est effectuée chez la société Argana-Amazigh qui est active dans le domaine de la formulation et la commercialisation des graines oléagineuses et leurs produits dérivés.

La purée de sésame obtenue a servi de base pour la formulation de six produits. En effet, elle a été ajustée par du miel, par un sirop des dattes, ou encore par la pâte des dattes. Le tableau ci-dessous nous renseigne sur les portions de ces ingrédients utilisés. Les produits ainsi

obtenus après homogénéisation sont versés dans des flacons en verre et présentés au jury sensoriel.

Tableau 16: composition des produits formulés à base de la purée de sésame

Produit	Composition	Commentaire
A	Purée de sésame	Obtenue après broyage
B	Purée de sésame(65%)+ pâte des dattes (15%)	La pâte des dattes est obtenue après broyage des dattes préalablement dénoyautées et cuites à la vapeur.
C	Purée de sésame (95%)+ miel à 5%	miel de thym
D	Purée de sésame (90%)+ miel à 10%	
E	Purée de sésame (95%)+ sirop des dattes à 5%	Le sirop des dattes est obtenu après la cuisson des dattes dans de l'eau. le jus obtenu est concentré à feu doux.
F	Purée de sésame(90%)+ sirop des dattes à 10%	

3 Analyse sensorielle

Avant de passer à l'évaluation sensorielle des produits formulés, des tests qui permettent la sélection et l'entraînement des sujets participant à cette analyse ont été réalisés.

3.1 Test de reconnaissance des saveurs

Les sujets recrutés, au nombre de 10, sont évalués pour leur capacité à identifier les principaux saveurs à savoir : sucrée, salée, amère et acide. Pour ce faire, quatre solutions ont été préparées à base de saccharose, chlorure de sodium, caféine et acide citrique (tableau 17). Le sujet est informé que chaque solution doit avoir l'une des saveurs déjà présentées. Ce test préliminaire vise à exclure les sujets ayant un problème de détection des goûts (dysgueusie) (Sauvageo, 1998).

Tableau 17: Solutions utilisées dans le test de reconnaissance des goûts

Solution	Concentration
Salée	0,2% (chlorure de sodium)
acide	0,2% (acide citrique)
sucrée	2% (saccharose)
amère	0,1% (caféine)

3.2 Entraînement des sujets sélectionnés

Les sujets qui ont réussi le test de reconnaissance des saveurs sont passés au deuxième test qui vise leur entraînement à classer les quatre saveurs selon leurs niveaux de concentration. Ainsi, des concentrations croissantes de chaque solution ont été utilisées (tableau 18).

Tous les membres de jury ont réussi à classer les solutions dans le bon ordre. Les sujets sont considérés prêts pour commencer l'analyse sensorielle des échantillons.

Tableau 18: Différentes concentrations des solutions testées (AFNOR, 1993)

Solution	salée			Acide			Sucrée			amère		
Concentration (g/l)	1	1,5	2	1	1,5	2	5	10	15	0,1	0,5	1

3.3 Déroulement du test

3.3.1 Test de description

Comme montre le tableau ci-dessous, une liste des descripteurs générés issue de la littérature scientifique a été utilisée. A l'aide d'un questionnaire (voir annexe), le groupe des sujets choisi a été chargé de caractériser les produits, en affectant une note de 1 à 5 à tous les descripteurs pour chaque produit .

Tableau 19: Liste des descripteurs générés utilisés

Descripteur	Définition
<i>Astringent</i>	Sensation entre sécheresse intense de la bouche et amertume, le produit est évalué pour son caractère râpeux (frottements entre la langue et le palais)
<i>Collant</i>	Le produit est évalué pour la force nécessaire pour le décoller de la bouche pendant la mastication.
<i>épais</i>	Plus le produit est épais plus il résiste à s'écouler. Ce paramètre est évalué en écrasant le produit entre la langue et le palais.
<i>lisse</i>	Plus le produit est lisse plus les particules solides sont absentes
<i>nappant</i>	Plus le produit est nappant plus il forme un film tapissant la bouche
<i>sucré</i>	Saveur sucrée basique
<i>salé</i>	Saveur salée basique
<i>acide</i>	Saveur acide basique
<i>Amère</i>	Référence à la caféine pure

3.3.2 Test d'acceptabilité

Un test pour classer les produits formulés par ordre de préférence a été mené sur le même groupe des panélistes. Les produits ont été évalués à l'aide d'une échelle hédonique à 5 points, pour 4 critères sensoriels : couleur, arôme, goût, saveur, ainsi qu'une note pour estimer le niveau d'acceptabilité générale (voir annexe).

3.3.3 Tests de stabilité

Parmi les composantes essentielles, qui doivent être prises en considération au cours de la chaîne de production d'un nouveau produit alimentaire, on trouve l'étude de sa stabilité qui permet non seulement de garantir que le produit répond aux normes pendant son stockage mais aussi de déterminer sa durée de vie.

3.3.3.1 Contrôle organoleptique

L'observation macroscopique du produit formulé est une première étape pour avoir une idée sur sa qualité, en effet elle permet de détecter toute anomalie liée aux changements des caractéristiques visuelles, olfactives et textuelles causés par une dégradation microbiologique ou oxydative. Pour ce faire, des échantillons de chaque produit ont été placés dans des conditions de température de $37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, et $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Ensuite, l'apparence générale, l'odeur, la couleur et la texture des échantillons ont été suivies durant la période de stockage (28 jours) (Colipa, 2004).

3.3.3.2 Contrôle microscopique

Pour assurer l'innocuité et la stabilité microbiologique des produits formulés, ces derniers doivent s'aligner avec des normes strictes. Afin d'étudier la stabilité *in vitro* des produits testés à différentes températures ($37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, et $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$), 100mg du produit à tester ont été reprises dans 900 μl d'une solution stérile de NaCl (0,9%). Par la suite, 100 μl des dilutions utilisées (10^{-2} à 10^{-4}) ont été étalés sur la surface des boîtes de Pétri (9 cm). Les milieux de culture utilisés sont le TSA (avec 24h à 5 jours à 37°C) et le SDA (avec 48h à 5 jours à 30°C) respectivement pour les bactéries et les champignons (Marchand *et al.*, 2011).

F. Analyse statistique

Les données issues de chaque chapitre traité, exprimées selon la moyenne des répétitions, ont été soumises à une analyse de la variance (ANOVA) avec le programme SPSS; Le seuil de significativité est fixé à 0,5%. Pour les données sensorielles, le test de corrélation a été basé sur le coefficient de corrélation de Pearson.

Partie III : RESULTATS ET DISCUSSION

A. ENQUETE SUR LES PRATIQUES AGRICOLES RELATIVES A LA CULTURE DE *SESAMUM INDICUM* A LA REGION BENI MELLAL KHENIFRA

L'agriculture représente un secteur d'activité très important au Maroc, plus précisément au niveau de la région Beni Mellal-Khenifra qui assume, grâce à sa position, une fonction essentielle sur le plan agricole. Les oléagineuses restent parmi les productions spécifiques à cette région. Certes, ce genre de culture est ponctué de périodes importantes où des techniques convenables doivent être appliquées. Par ailleurs, pour comprendre le contexte de la culture d'une graine oléagineuse très riche ; le sésame, une cartographie permettant d'identifier l'ensemble des techniques et pratiques agricoles utilisées par les agriculteurs a été réalisée. En effet, des visites *in situ* ont permis de se pencher sur les conditions de culture de cette plante tout en collectant des données (présentées ci-dessous), auprès des agriculteurs, qui seront d'une importance pour la construction du reste de ce mémoire de thèse.

1 Caractéristiques sociodémographiques des individus questionnés

Compte tenu des moyens (financiers et logistiques), de la taille et de la disparité géographique de la population d'agriculteurs existante au niveau de la région Benimellal- Khenifra, il n'était pas possible de réaliser une enquête exhaustive sur toute la population des producteurs du sésame. Par conséquent, on s'est limité à un nombre restreint des agriculteurs. Ainsi, les résultats de cette première partie relative aux caractéristiques sociodémographiques montrent que l'âge de la population questionnée est situé dans l'intervalle de 26 ans et 60ans, dont 88% ont été du sexe masculin. 80% des personnes enquêtées ont déjà cultivé cette plante dont le nom local se diffère légèrement au niveau de la prononciation : Janjlan, Jaljlan et Zanjlan.

33,33% des personnes enquêtées occupent une profession en parallèle de l'activité agricole (enseignant, technicien, ingénieur agronome). La totalité de l'échantillon questionné considère que la culture du sésame représente une production intermédiaire qui permet d'augmenter le revenu.

2 Caractéristiques de la conduite culturale

2.1 Préparation du sol

Pour une bonne croissance et une meilleure qualité, un sol travaillé est exigé. D'après les résultats de l'enquête, 73% des agriculteurs travaillent leurs parcelles en préparant des lits de semis, avec une profondeur inférieure à 20cm.

Ce choix apparaît renforcé par la petite taille des semences qui nécessite une préparation du terrain, pour favoriser son développement et assurer une bonne prolifération des racines dans le sol afin d'en tirer la nutrition suffisante pour une bonne croissance.

2.2 Date de semis

Les réponses relatives à la question relative à la date de semis montrent bel et bien que la culture du sésame se fait pendant les périodes chaudes de l'année, selon deux possibilités : une période précoce allant de mi-Avril jusqu'à mi-Mai, et une autre tardive de Juin à Juillet. Les résultats permettent de comprendre que 66,66% des agriculteurs préfèrent de cultiver entre Mai et Juin (figure 32).

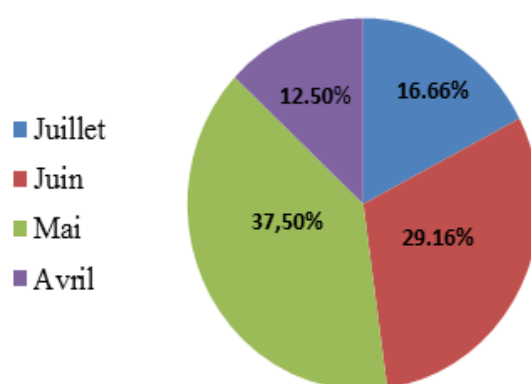


Figure 32: Période de semis de sésame selon les agriculteurs enquêtés

2.3 Méthode de semis

La totalité des agriculteurs questionnés ont confirmé qu'ils optent pour le semis à la volée. Il s'agit d'une technique qui permet de projeter les semences d'une manière homogène sur le terrain. 20% des enquêtés ont précisé qu'ils mélangent les semences avec le sable fin. Cela permet de comprendre, qu'il s'agit d'une culture peu dense.

2.4 Fertilisation

La fertilisation du sol semble être très importante pour 82,5% des personnes enquêtées. Par contre 27,5% des enquêtés considèrent que les cultures préalables (betterave, blé tendre, maïs, grenades, légumes) enrichissent suffisamment le sol en matières organiques, donc ils préfèrent ne pas apporter d'engrais.

32% des enquêtés font recours à une fertilisation de fond en utilisant l'engrais phosphaté (avant le semis), contre 68% préfèrent une fertilisation de couverture en utilisant souvent l'urée (46%N).

Les doses d'azote de couverture sont très importantes ; en effet elles varient de 10 à plus de 210kg/ha. 6% des agriculteurs ont appliqué des quantités dépassant 200kg/ha (figure 33).

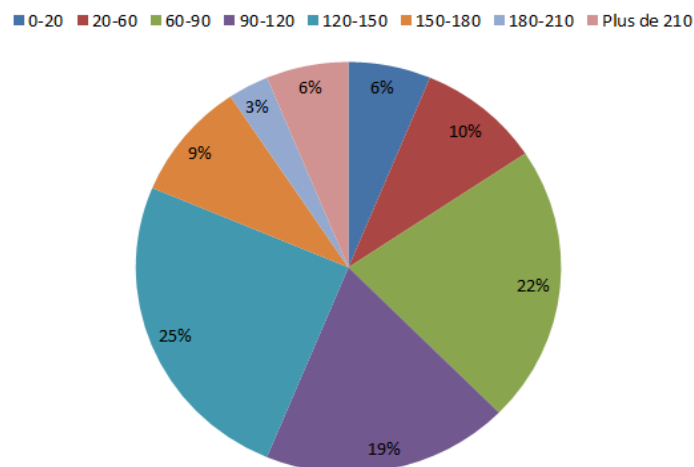


Figure 33: Niveaux de fertilisation utilisée par les agriculteurs (kg/ha)

2.5 Protection phytosanitaire

Selon les enquêtes, de nombreux insectes et champignons attaquent fréquemment le sésame, les plus redoutables qui causent de graves dégâts, sont : les doryphores, les chenilles, les fourmis, les champignons. 79,16% des agriculteurs utilisent au moins un traitement phytosanitaire au cours du cycle végétatif de la plante, et ce après apparition d'une attaque de la culture. Les noms commerciaux des insecticides les plus utilisés sont: Karaté, Décis, Arivo, Doursban et Match. La figure 34 représente la répartition en pourcentage de ces produits selon leur utilisation par les agriculteurs.

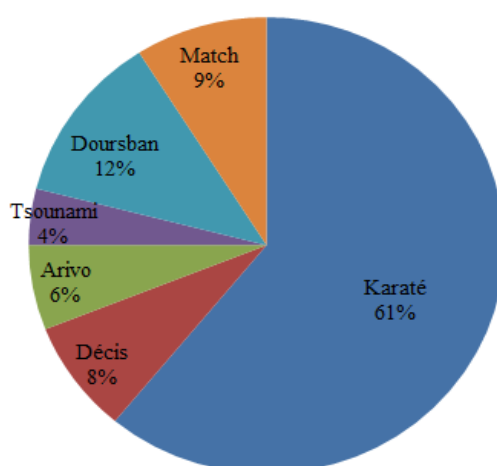


Figure 34: Produits phytosanitaire utilisés par les agriculteurs

2.6 Irrigation

75% des enquêtés conduisent la culture de sésame à partir des eaux de pompage souterraines, contre 25% qui font recours aux eaux de barrage. L'apport hydrique varie selon les conditions climatiques, confirment les agriculteurs. Généralement, le sésame est irrigué 4 à 8 fois au total. Deux irrigations sont obligatoires ; une première s'effectue juste après le semis, une deuxième est menée après une moyenne de 10 jours (après la levée). Selon les mêmes agriculteurs, l'appauvrissement de la région en ressources hydriques constitue l'une des limites de cette culture. Ce déficit hydrique a été accentué par le détournement des eaux d'irrigation vers d'autres cultures telles que les maraichères. L'arrêt de l'irrigation avant la récolte est une opération obligatoire dans le cas de cette culture. En effet, les plantes ont besoin d'une période de maturité qui peut durer jusqu'à plus d'un mois.

2.7 Récolte

Tous les enquêtés ont confirmé que la récolte se fait manuellement avec des faucilles lorsque les tiges deviennent jaunes, ensuite des touffes de 10 à 20 cm de diamètre sont dressées verticalement pour être bien ensoleillées pendant 10 à 20 jours. Une fois sèches, un battage des touffes est effectué de façon à faire tomber les graines.

2.8 Stockage

Le stockage des graines de sésame se fait à l'abri de la lumière dans des sacs bien fermés à la température ambiante. Une fois le produit est prêt à la commercialisation, 87,5% des enquêtés préfèrent le vendre immédiatement en gros à des commerçants, avec un prix allant de 10 et 25 DH/kg. Le reste des enquêtés, préfère conserver la production pour pouvoir la vendre à des prix élevés ultérieurement.

Discussion

Les réponses élaborées au niveau de l'enquête ont permis de mettre en relief plusieurs paramètres pour identifier la conduite de la culture de sésame, et ce dans un but de maîtriser le savoir-faire relatif aux exigences de cette plante. Ainsi, l'analyse des résultats obtenus nous a permis de conclure que le choix de la date de semis est un facteur déterminant qui fait intervenir les variations de température et les bilans hydriques, ce qui agit directement sur les paramètres biochimiques et physiologiques de la graine. Bange et al. (1997) expliquent que le semis tardif a un effet négatif sur la concentration de l'huile dans la graine. Pour Soriano et al. (2004), le semis précoce peut être considéré comme une stratégie agricole pour éviter la

sècheresse et le déficit hydrique. Les résultats obtenus dans la présente étude, montre aussi que la totalité des agriculteurs enquêtés procèdent à un semis manuel à la volée, avec des niveaux de densité de plantation variables. La densité de plantation semble être aussi un autre élément fondamental; en effet un rapprochement des plantes peut causer une compétitivité au niveau des ressources vitales (Tahir *et al.*, 2012), de même un grand écart entre les plantes diminue le rendement en grains (Lopez Pereira *et al.*, 2004). Afin d'améliorer le rendement en grains, les agriculteurs font recours à la fertilisation minérale, notamment azotée, pour ajuster le sol. En effet, une alimentation azotée adéquate favorise la productivité de la plante et le remplissage des graines (Blanchet *et al.*, 1986), contrairement au déficit azoté qui impacte négativement les composante du rendement. Par contre, Gaouji (1999) montre que les sols de la région étudiée sont très productifs et riches en azote, potassium et phosphore. Toutefois, les apports en fertilisant sont soit élevés et même excessifs allant jusqu'à 500kg/ha, soit très faibles n'atteignant pas les besoins des plantes. En cas d'une dose non maîtrisée, Steer et Hocking (1991) montrent, dans une étude sur le tournesol, que la composition de la graine change suite à une alimentation azotée excessive.

D'autre part, il y'a lieu de noter que, 79,16% des agriculteurs utilisent un traitement chimique pour lutter contre les attaques phytosanitaires. De nombreux travaux (Dosio *et al.*, 2000, Aguirrezabal *et al.*, 2003) ont mis la lumière sur la relation corrélée entre les facteurs climatiques (température, ensoleillement, pluviosité) et la prolifération des champignons sur les plantes ; l'humidité est généralement favorable au développement des microorganismes. Le sésame étant une culture de régions chaudes, il préfère des conditions de température élevée durant son développement, ce qui pourrait minimiser son attaque.

Pour ce qui est irrigation, plusieurs recherches ont montré que le déficit hydrique influence les composantes du rendement de sésame (Tantawy *et al.*, 2007; Hassanzadeh *et al.*, 2009), d'autres travaux ont prouvé que le sésame ne tolère pas les irrigations excessives (Khidir, 1997).

Pour compléter l'image qui concerne la culture de cette plante dans la région de Beni-mellal khénifra, nous mentionnons les constats avancés par le Plan Maroc Vert. Ainsi, le rapport présente les contraintes, techniques et environnementales, qui entravent l'amélioration de la production et le rendement du sésame dans cette région, et qui sont liées principalement à :

- Un faible recours aux techniques modernes de production
- Un circuit de commercialisation non organisé
- Une faible valorisation du produit
- Une absence d'organisation professionnelle

Au final, les éléments présentés dans cette enquête laissent à configurer le modèle agricole suivi par les agriculteurs enquêtés. Les résultats récoltés nous seront d'une grande importance dans la détermination des procédures et pratiques culturales à suivre durant les futurs essais réalisés au cours de ce travail soit en serre, soit en plein champ. En cela, nous mettons l'accent, dans la partie qui suit, sur le comportement physiologique et morpho-métrique de la plante étudiée soumise à différents niveaux de fertilisation azotée.

B. EFFET DE LA FERTILISATION AZOTEE SUR LA MORPHOMETRIE, LA PHYSIOLOGIE ET LA QUALITE PHYTOCHIMIQUE DE *SESAMUM INDICUM*

Le réajustement du sol par une alimentation azotée semble être une opération principale pour assurer une croissance optimale des plantes. Cependant, une surdose des fertilisants peut avoir un effet néfaste sur la qualité nutritionnelle et biologique de la culture. Aussi, d'après les éléments étalés au niveau de la partie bibliographique, des quantités excessives d'azote peuvent attaquer l'environnement, selon trois mécanismes : le lessivage des nitrates, la volatilisation de l'ammoniac NH_3 et la dénitrification sous forme de N_2 et/ou N_2O (Liu *et al.*, 2014), d'où la nécessité de repenser les pratiques agricoles qui doivent exclusivement satisfaire les besoins des plantes sans perturber l'environnement. Il convient, en effet, de bien maîtriser les niveaux de fertilisation pour s'aligner avec la nouvelle orientation universelle basée sur le développement durable.

Pratiquement, selon l'enquête réalisée auprès des agriculteurs de la région de Benimellal-Khénifra, les apports azotés oscillent entre différentes valeurs et peuvent même dépasser 200kg/ha. Quelle est donc la réaction de la plante de sésame envers une variation de doses d'azote ? Afin de fournir des éléments de réponse à cette question et comprendre le comportement de l'espèce *Sesamum indicum* envers des niveaux croissants d'azote, une analyse au champ et en serre a été réalisée. Ce chapitre cherche donc à présenter les résultats des manipulations relatives à l'étude morpho-métrique de la plante de sésame (expérimentation en milieu naturel et contrôlé). A l'appui de celle-ci, succède une autre étude biochimique (expérimentation en milieu contrôlé) qui permet de quantifier la réponse physiologique de la plante. Enfin, l'activité antioxydante avec deux méthodes complémentaires a été estimée.

1 Conduite culturale en plein champ

Pour nous renseigner sur le sol utilisé dans cette expérimentation, une analyse physico-chimique a été réalisée. Par ailleurs, il s'agit d'un sol à pH neutre. La conductivité électrique, renseignant sur la teneur en sels solubles dans une solution du sol, a enregistré une valeur de 150,5µS/cm. Pour la teneur minérale, le sol s'est avéré pauvre en azote totale (0,13mg/kg). Le calcium est l'élément le plus dominant, il représente plus de 1g/kg, suivi respectivement par les ions Na, K, Fe et Mg avec 565,31, 189,37, 106,56 et 74,01 mg/kg, contrairement aux P, Zn et Mn qui n'ont enregistré que 5,46, 3,98 et 1,91 mg/kg respectivement. (tableau 20)

Tableau 20: Composition minérale du sol de la station d'étude

Elément minéral	Taux (mg/kg)
Ca	> 1000
Na	78,1
K	189,37
Fe	106,56
Mg	74,01
P	4,14
Zn	2,98
Mn	1,91
N	0,17

D'après les résultats illustrés dans les figures ci-dessous, il apparaît que la fertilisation azotée constitue un facteur déterminant pour les paramètres morpho-métriques. Son effet est significatif notamment pour le N4 où les valeurs les plus élevées, 95,05 cm, 43,81, 28,2mm, 54,02 et 3g, ont été enregistrées respectivement pour la longueur des plantes, le nombre de capsules par plante, la longueur des capsules, le nombre de graines par capsule et le poids de 1000 graines (figure 35, 36,37,38,39,40).

D'autre part, après l'analyse de la régression, on a obtenu un modèle mathématique linéaire pour tous ces paramètres étudiés (annexe III), avec des coefficients de corrélation qui révèlent une corrélation importante de 0,9, 0,82, 0,88, 0,89 et 0,34 respectivement pour les mêmes paramètres.

De même, pour le rendement en graines, une augmentation de 12, 87%, 25, 8%, 37,06% et 33, 98% a été enregistrée respectivement pour les traitements N1, N2, N3 et N4 (figure 41).

Egalement, la fertilisation azotée a influencé significativement le système racinaire (figure). Les augmentations de la biomasse ont été de 21,16%, 23,23%, 28,63% et 103,31% respectivement pour N1, N2, N3 et N4 (figure 40).

La régression linéaire a témoigné une bonne corrélation de 0,94 et 0,73 respectivement pour le rendement en graines et la biomasse racinaire.

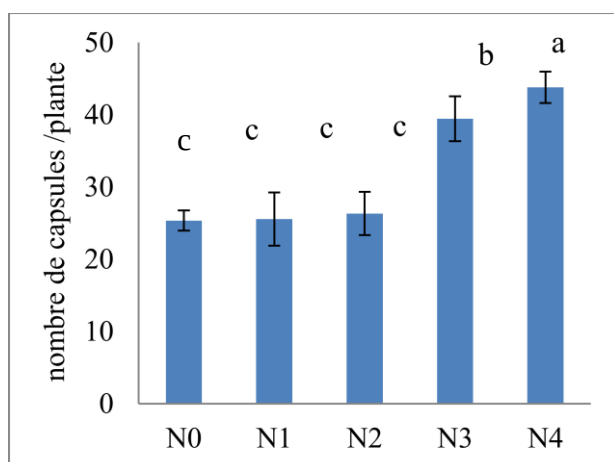


Figure 36: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur le nombre de capsules par plante ; N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)

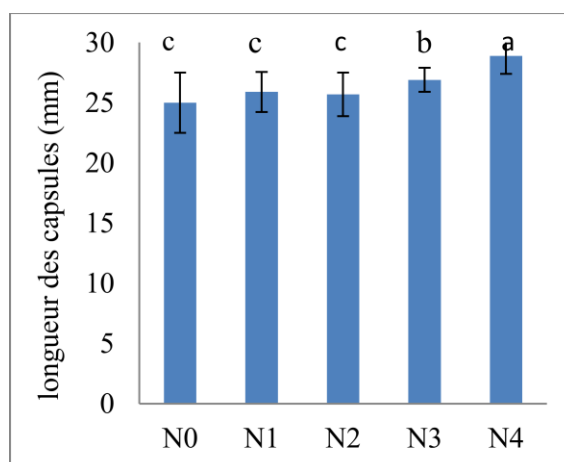


Figure 35: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur la longueur des capsules ; N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)

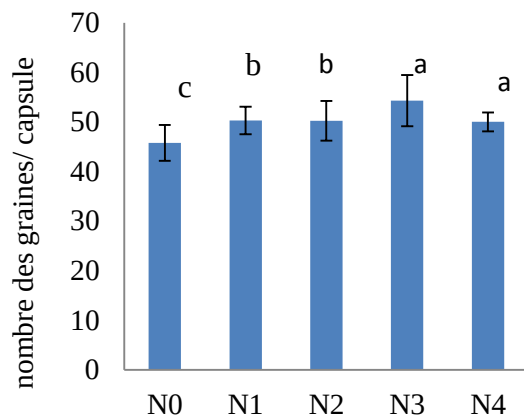


Figure 37: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur le nombre des graines par capsules ; N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)

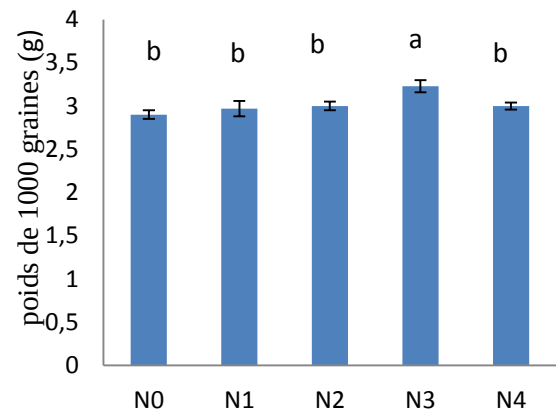


Figure 38: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur le poids de 1000 graines ; N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)

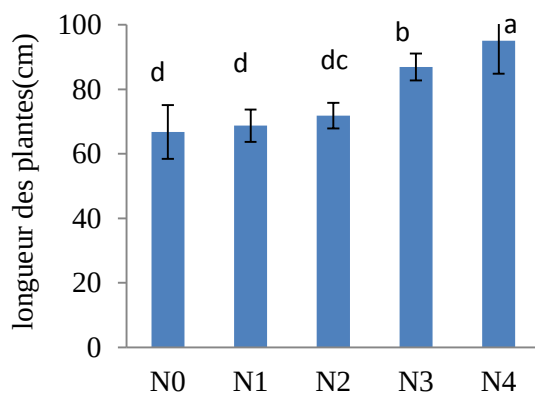


Figure 39: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur la longueur des plantes ; N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)

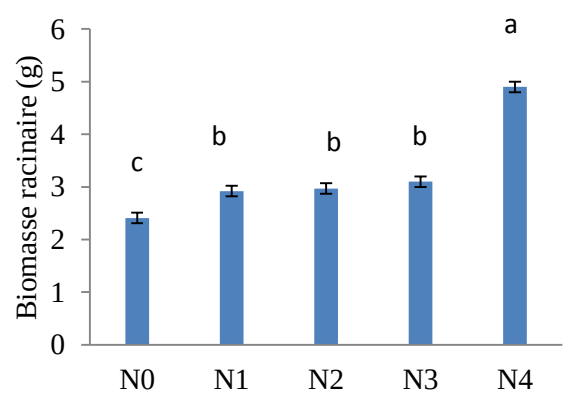


Figure 40: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur la biomasse racinaire ; N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)

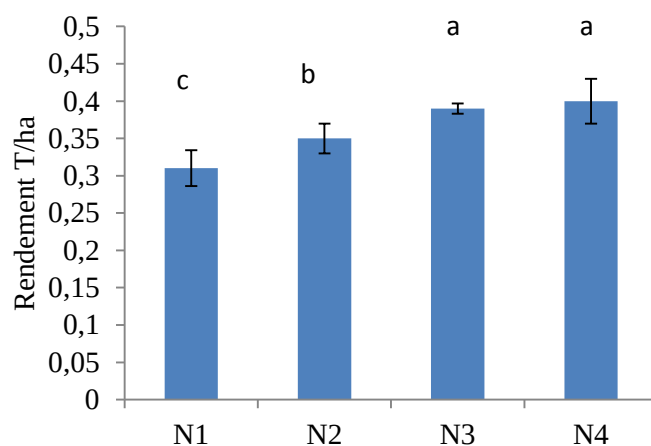


Figure 41: Effet de différents niveaux de fertilisation sur le rendement en graines ; N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)

De point de vue système racinaire, une faible structure a été montrée pour le niveau le plus bas d'apport en azote (figure 42), contrairement au niveau N4 qui a montré un système racinaire plus développé avec un réseau latéral dense (figure 43).



Figure 42 : Aspect du système racinaire de la plante *Sesamum indicum* sans fertilisation



Figure 43 Aspect du système racinaire de la plante *Sesamum indicum* fertilisée avec le niveau N4

2 Conduite culturale au milieu contrôlé

2.1 Essai de germination

La germination des semences est la première phase du cycle végétal des plantes dont le rôle est décisif. Afin de déterminer les bonnes conditions de cette étape et mieux comprendre les exigences de la plante étudiée, deux facteurs externes ont été évalués : l'eau et la lumière.

2.1.1 Effet de différents potentiels hydriques sur la germination

2.1.1.1 Taux de germination

Selon les résultats de la figure 44 qui illustre l'effet du stress hydrique sur la germination des graines de sésame, nous avons constaté que le stress hydrique a un effet très significatif sur le pourcentage de germination ($P < 0,01$). En effet, à un potentiel hydrique de 0 MPa (témoin), le taux de germination est de 95,97 %, par contre, il atteint 69,13% au potentiel hydrique le plus bas -1,6 MPa, où la germination n'a commencé qu'à partir du 4^{ème} jour d'imbibition.

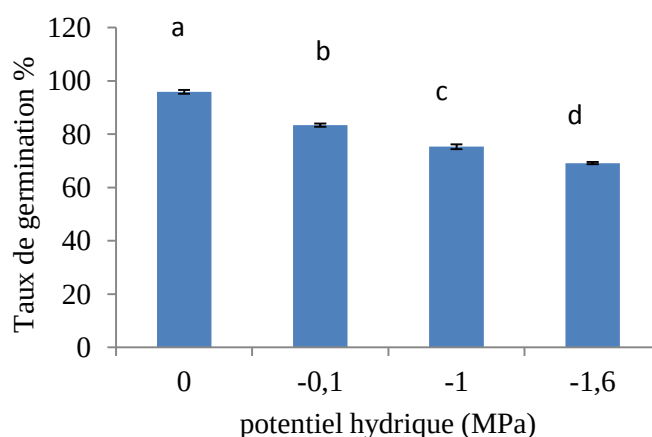


Figure 44: Taux de germination des semences de *Sesamum indicum* soumises à différents potentiels hydriques

2.1.1.2 Moyenne journalière de germination

D'après les résultats illustrés sur la figure 45, la moyenne journalière de germination diminue avec la diminution du potentiel hydrique. En effet, il atteint 11,48 jours pour le potentiel hydrique 0 MPa et diminue jusqu'à 6,85 jours pour le potentiel hydrique -1,6MPa.

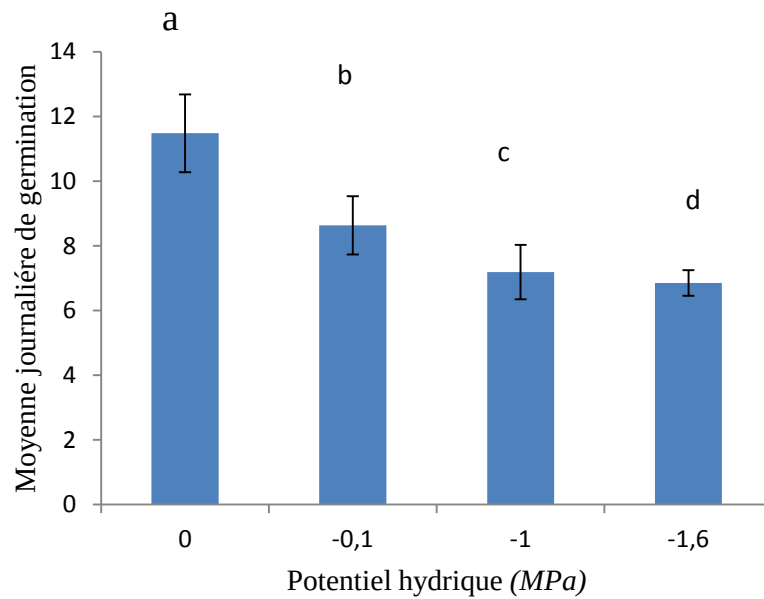


Figure 45: Moyenne journalière de germination des semences de *Sesamum indicum* soumises à différents potentiels hydriques

2.1.1.3 Temps de 50% de germination

Le temps de 50% de germination augmente avec le stress hydrique (figure 46). Il est de 3,7 jours pour le potentiel hydrique 0 MPa, alors qu'il atteint 5,26 jours au potentiel hydrique le plus bas (-1,6MPa).

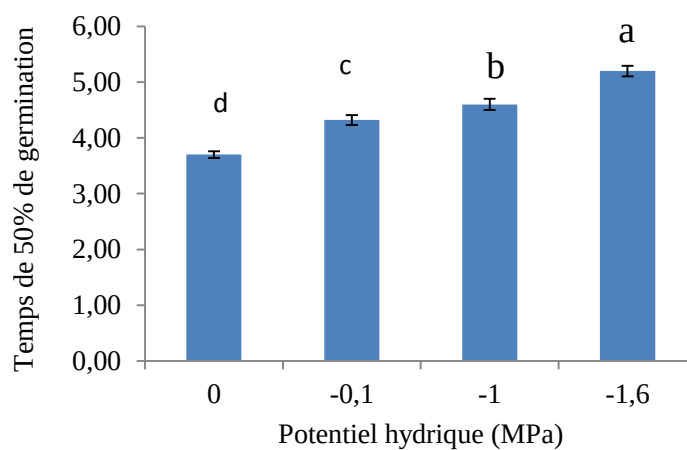


Figure 46: Temps de 50% de germination des graines de *sesamum indicum* soumises à différents potentiels hydriques

2.1.1.4 Poids sec

Selon les résultats de la figure 47, le poids sec des graines de *Sesamum indicum* soumises à différents traitements n'a pas évolué de la même importance que celui du témoin (0 MPa), où il atteint 0,1g contre 0,08g enregistré au niveau du potentiel hydrique le plus bas -1,6MPa.

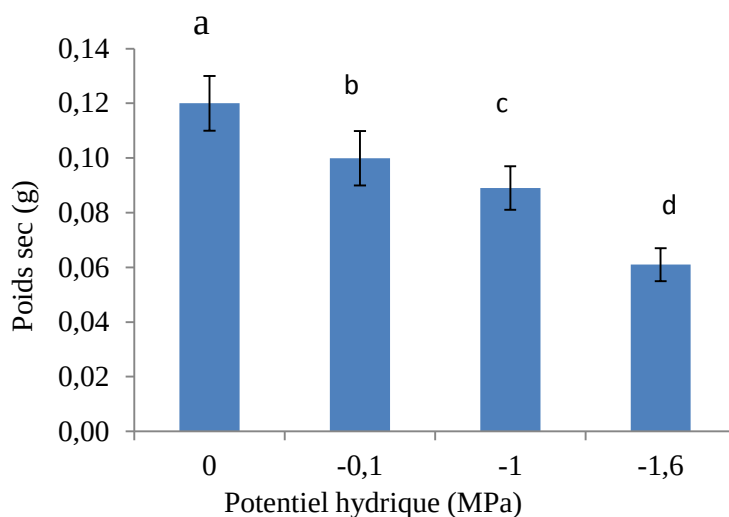


Figure 47: Poids sec des semences de *sesamum indicum* soumises à différents potentiels hydriques

2.1.2 Effet de la lumière sur la germination

Le suivi quotidien des semences soumises à une germination en conditions de lumière et d'obscurité a montré qu'elles ne sont pas sensibles à la lumière. En effet, la capacité de germination, le temps de 50% de germination et la moyenne journalière de germination ont enregistré les mêmes valeurs (95,2%, 3,6 et 12,2 respectivement) en conditions d'obscurité et de lumière. Par contre, on assiste à une variation au niveau des tiges qui ont été rapportées plus longues pour les graines germées en obscurité que les graines germées sous la lumière (tableau 21).

Tableau 21: Paramètres de germination des graines de sésame soumises à la lumière ou à l'obscurité

	Germination en lumière	Germination en obscurité
Capacité de germination (%)	95,2	95,2
Temps de 50% de germination(%)	3,6	3,6
Moyenne journalière de germination(%)	12,2	12,2
Longueur de la tige (mm)	28,86	31,77

2.2 Effet de la fertilisation azotée sur *Sesamum indicum*

2.2.1 Effet sur les paramètres de croissance morpho-métriques

D'après les résultats présentés sur le tableau 22, tous les niveaux d'azote appliqués ont favorisé significativement les paramètres de croissance étudiés. En fait, les valeurs les plus élevées de longueur de plante, nombre de capsules par plante, longueur de capsules, nombre de graines par capsule et poids de 1000 graines (51,52 cm, 39,9, 28,21 mm, 51,29 et 3g respectivement) ont été attribuées au niveau de fertilisation le plus important (N4).

Tableau 22: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur les paramètres morpho-métriques de *Sesamum indicum*. N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)

	Longueur des plantes (cm)	Nombre des capsules	Longueur des capsules (mm)	Nombre des graines	Poids des graines (g)
N0	31,55e	23,67e	24,36d	43,16e	2,5e
N1	33,45d	24,2d	25,45c	45,66d	2,6d
N2	41,06c	26,67c	25,4c	47,55c	2,8c
N3	45,07b	34,73b	26b	48,76b	2,9b
N4	51,52a	39,9a	28,9a	51,2a	3a

2.2.2 Effet sur les paramètres biochimiques

2.2.2.1 Qualité nutritionnelle

Comme le montre le tableau 23, les différents niveaux d'azote appliqués ont un effet significatif sur la composition biochimique des graines. En effet, la teneur en protéines la plus élevée a été enregistrée chez le niveau N4 avec 243,3 mg/g par rapport au témoin (204mg/g) ($p < 0,05$). Par contre, on remarque que l'application de N3 et N4 a réduit de manière significative la teneur en huile (avec 7,77% et 12,94% respectivement) comparativement au témoin ($p < 0,05$). De même, la teneur en sucres solubles totaux a été influencée négativement par l'apport en azote. En effet, la valeur la plus élevée a été enregistrée chez le niveau N2 avec

93,4 mg/g, mais après l'application de N3 et N4, une diminution significative de 5,22% et 15,48% a été enregistrée respectivement ($p < 0,05$).

Quant aux éléments minéraux, l'analyse statistique a montré que les niveaux d'azote étudiés affectent l'absorption de tous les nutriments (tableau 23). En effet, l'application de N4 a entraîné une augmentation importante de 44,31% pour N. Ce même niveau a causé la réduction de P, K, Mg et Ca avec 31%, 33,03%, 24,65% et 21,15% respectivement, après avoir enregistré d'importants résultats pour le niveau N2.

Tableau 23: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur la composition biochimique des graines de *Sesamum indicum*. N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)

	Huile (mg/g)	Proteines (mg/g)	Sucres (mg/g)	N (mg/g)	P (mg/g)	K (mg/g)	Ca (mg/g)	Mg (mg/g)
N0	490a	204c	91,4a	0,15d	0,487c	0,125b	7,40c	0,18b
N1	504a	214c	91,8a	0,165c	0,51b	0,20a	7,91b	0,18b
N2	477b	229,5b	93,4a	0,17c	0,645a	0,22a	8,84a	0,21a
N3	451,9b	236b	88,52b	0,205b	0,461c	0,16b	7,79c	0,19b
N4	430c	243,3a	77,25c	0,24a	0,44c	0,15b	6,97d	0,16b

2.2.2.2 Qualité phytochimique

2.2.2.2.1 Teneur en Polyphénols et flavonoïdes totaux

L'effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur la teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes est représenté dans le tableau 24. On remarque que le niveau N2 a fait augmenter la teneur en composés phénoliques totaux de 3% et le taux des flavonoïdes totaux de 22,24 %. Ces mêmes éléments ont été réduits de 9,83% et 19,44% respectivement après exposition au niveau le plus élevé N4 ($p < 0,05$).

Tableau 24: Effet de différents niveaux de fertilisation sur la teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes totaux. N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)

	Polyphenols totaux (µg GAE/g)	Flavonoïdes totaux (µg QE/g)
N0	195,58 ± 0,03	98,98 ± 0,18
N1	200 ± 0,12	111,11 ± 0,08
N2	202,89 ± 0,18	121 ± 0,28
N3	184,33 ± 0,14	88,28 ± 0,11
N4	176,34 ± 0,2	79,73 ± 0,17

2.2.2.2.2 *Activité antioxydante*

2.2.2.2.2.1 *Activité de piégeage du radical DPPH*

L'activité antioxydante de l'extrait hydro-méthanolique des graines issues de différents traitements a été testée via sa capacité de piégeage du radical libre DPPH. Ce dernier, après qu'il soit saturé, change de forme vers une forme non radicalaire accompagnée d'un virage vers une coloration jaune.

L'augmentation de la fertilisation azotée jusqu'à N2 avait pour conséquence une augmentation de l'activité antioxydante. En fait, la capacité anti-radicalaire de l'extrait témoin (N0) était respectivement 48%, 55%, 67% et 78% pour les concentrations: 10, 50, 250 et 500µg/mL, comparativement à celles de l'acide ascorbique qui était de 64, 75, 91 et 92% respectivement pour les mêmes concentrations. Pour N2, l'activité antioxydante a augmenté de 7%, 9%, 9,5% et 11%. Toutefois, au-dessus de ce niveau, spécialement dans le cas de N3 et N4, l'activité antioxydante a diminué de manière significative, comme le montre la figure 48.

D'autre part, d'après Pokorny et son équipe (2001) plus la valeur de la concentration inhibitrice à 50% (IC50) est basse plus l'activité antioxydante est grande. Pour notre étude, nous avons enregistré des valeurs qui dépassent le standard (0,29 µg/ml). La plus faible valeur (0,9 µg/ml) a été enregistrée pour les graines soumises au niveau N2, par contre, la plus grande valeur (3,63 µg/mL) a été montrée chez l'extrait des graines traitées par le niveau N4 (figure 48).

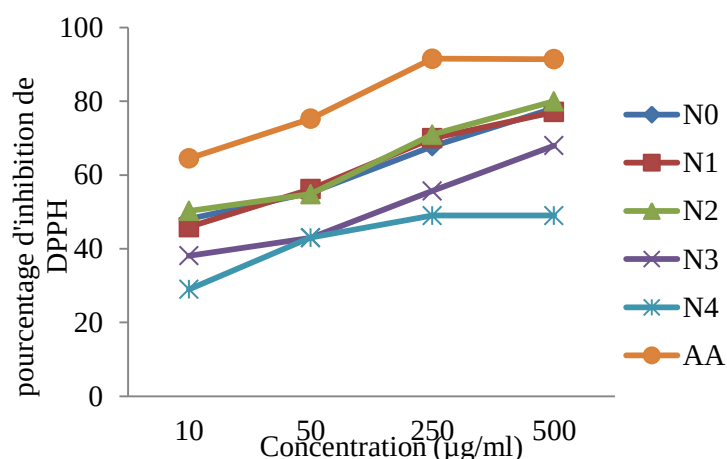


Figure 48: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur la capacité de piégeage du radical libre DPPH. N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)

Tableau 25 : IC50 des extraits issus de différents niveaux de fertilisation azotée

	AA	N0	N1	N2	N3	N4
IC50 (mg/ml)	9,28	1,3	1,35	1,16	2,38	3,63

2.2.2.2.2 Activité antioxydante totale

L'effet de l'application de différents niveaux d'azote sur l'activité antioxydante totale de l'extrait hydro-méthanolique des graines de sésame est représenté sur la figure 49. En effet, cette activité atteint 503,77 µg/g dans le cas de l'extrait témoin (N0), mais cette valeur diminue jusqu'à 481,12 µg/g, après l'application de N4, traduisant une réduction de 16,40%.

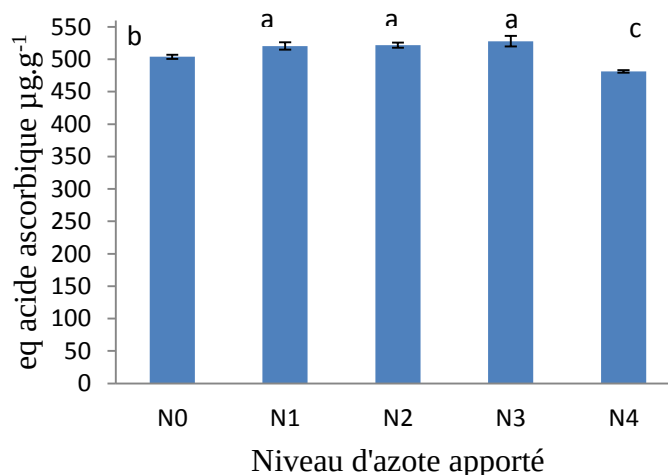


Figure 49: Effet de différents niveaux de fertilisation azotée sur l'activité antioxydante totale de l'extrait hydro-méthanolique. N0=0, N1=40, N2=80, N3=120, N4=160 (Kg/ha)

Discussion

Pendant ces dernières années, une attention particulière a été prêté à l'environnement dont le risque de dégradation s'accroît jour après jour à cause de l'utilisation non raisonnée des engrais. En effet, selon l'enquête menée dans la région de Beni-mellal –Khenifra, 82,5% des agriculteurs utilisent des fertilisants, avec des taux très variables dépassant des fois 200 Kg/ha, afin de garantir des gains de productivité appréciables. Cette large utilisation atteste que les agriculteurs cristallisent des pratiques qui doivent être corrigées. L'objectif de cette étude, qui est réalisée selon deux types d'expérimentations complémentaires (en serre et au champ), est d'évaluer l'impact d'un apport azoté croissant sur la morphologie et la physiologie de la plante de *Sesamum indicum*.

Avant d'entamer la discussion des résultats relatifs à la fertilisation, une évaluation concernant la première phase du cycle végétatif paraît légitime, et ce pour déterminer le niveau déclenchant la germination de la plante étudiée. Pour cela, une expérience préliminaire a été réalisée dans le but de comprendre les exigences des graines en eau et en lumière au niveau du stade germinatif avant de lancer la culture.

Par ailleurs, nos résultats montrent que plus le potentiel hydrique est faible plus le temps de germination augmente et le taux de germination diminue. Selon l'équipe de Botia (1998), cela peut être expliqué par la dégradation des hormones de croissance. Gill et ses collaborateurs (2001) montre que ce ralentissement peut être dû à une difficulté d'hydratation des graines. En effet, la germination des graines est un processus biochimique et physiologique où l'amidon, dès le premier contact de la graine avec l'eau, commence à se dégrader sous l'effet directe de l'enzyme amylase afin d'élaborer à l'embryon l'énergie nécessaire pour déclencher la germination (Regnault-Roger *et al.*, 2008). Le développement embryonnaire s'initialise alors, donnant lieu à un processus physiologique basé sur les hormones de croissance végétale (Lesuffleur, 2007).

Les résultats de cette expérience ont prouvé que les graines de sésame peuvent germer à des potentiels hydriques très bas. Cette tolérance, malgré les comportements développés (diminution du taux de germination, augmentation du temps moyen de germination...), constitue un atout important lié au pouvoir adaptatif de la plante au niveau de la première phase de son cycle végétatif. Ces résultats nous poussent à déduire que ces graines peuvent être germées dans des régions arides ou semi-arides, où les ressources hydriques sont limitées.

La lumière est aussi parmi les facteurs exogènes qui peuvent inhiber, retarder ou stimuler la germination. Heller et ses collaborateurs (1990) ont classé les graines en trois catégories : des graines à photosensibilité positive (70 %), d'autres à photosensibilité négative (25%) et celles qui sont à photosensibilité indifférente (5%). Selon les résultats trouvés, on peut dire que les semences de sésame sont indifférentes envers le facteur lumière.

Concernant l'effet de la fertilisation azotée sur les comportements de la plante étudiée, les résultats suggèrent que plus le niveau de fertilisation est élevé, plus les valeurs morphométriques (longueur des plantes, nombre de capsules par plante, longueur des capsules, nombre de grains par capsule et poids de 1000 grains) sont importantes, et ce pour les deux expérimentations : au champ et en serre. Ces résultats sont conformes aux travaux rapportés par la littérature (Hocking et Pinkerton, 1991 ; Dordas et Sioulas, 2009 ; Ciampitti et Vyn, 2011). Cet effet significatif de l'azote peut être attribué à la favorisation de la synthèse du tissu méristématique de différents organes et structures de la plante (Lawlor *et al.*, 1989).

A côté des attributs morphologiques étudiés, les paramètres biochimiques ont été évalués. Ainsi, l'expérimentation en serre s'est, à son origine, portée sur la question biochimique de la plante. En effet, la teneur en protéines a été augmentée en fonction de la fertilisation azotée croissante. Rains et Bledsoe (2007) confirment qu'après de nombreuses réactions biochimiques, l'azote assimilé est converti en acides aminés ; ces derniers sont considérés comme l'unité principale pour la construction des protéines. Pour plus de précision, le nitrate assimilé est converti par l'enzyme nitrate réductase en nitrite qui est reconverti par la voie métabolique en ammonium, cet élément est ensuite incorporé dans les acides aminés via les voies GS / GOGAT (Abrol *et al.*, 1999). Ces réactions physiologiques sont nécessaires pour la synthèse des protéines.

Pour la fraction huileuse, les graines de sésame sont connues pour leur richesse en huile, mais l'application d'une surdose d'azote a pénalisé le pourcentage d'accumulation de cette fraction lipidique. Des résultats similaires ont été rapportés par Cheema et al. (2001). En effet, le pourcentage d'huile a diminué avec l'augmentation des niveaux d'azote appliqués. Rathke et ses collaborateurs (2005) ont rapporté que l'augmentation de la fertilisation azotée favorise la synthèse des protéines en détriment des réserves lipidiques. Cela laisse supposer que les protéines sont les premières à être synthétisées par un métabolisme physiologique impliquant les molécules d'azote absorbées. En plus, notre étude a montré un effet dépressif des sucres solubles totaux suite à l'utilisation de forts niveaux de fertilisation. D'après Xia et al. (2002) et Hirano et al., (2005), le taux des sucres est inversement lié à la fertilisation azotée. Cela pourrait être expliqué par des modifications des réactions physiologiques liées à l'azote qui est

considéré comme l'un des facteurs qui interviennent dans la régulation du bilan du carbone ; élément de base du squelette constitutif des sucres (Evans, 1983).

Par rapport aux éléments minéraux, l'analyse statistique des données a montré que la fertilisation azotée a affecté l'absorption de tous les nutriments. Sheikh et Ishak (2016) ont montré que l'azote est un élément essentiel pour la construction des acides aminés et des protéines, mais une concentration élevée d'azote dans les tissus peut entraîner une toxicité minérale traduite par une réduction des réponses physiologiques de la plante. Par ailleurs, l'urée est connue par son auto-hydrolyse rapide en ammonium et en nitrate, ces formes d'azote modifient la valeur du pH de la rhizosphère qui diminue avec la forme NH_4^+ et augmente avec la forme NO_3^- ; cette modification de la valeur du pH affecte l'absorption racinaire des nutriments (Lasa *et al.*, 2000).

Ten Hoopen et ses collaborateurs (2010) ont rapporté l'existence d'une concurrence directe entre NH_4^+ et K^+ , d'ailleurs, ces deux cations sont transportés par les mêmes transporteurs. Il est à noter que NH_4^+ réduit également l'absorption d'autres cations de différentes tailles tels que Mg^{2+} et Ca^{2+} (Lasa *et al.*, 2000). Marschner *et al.* (2012) ont signalé que l'absorption excessive de NH_4^+ provoque une interaction compétitive entre Ca^{2+} et Mg^{2+} , et la racine a plus d'affinité pour le Ca^{2+} que le Mg^{2+} . En plus, Zeng *et al.* (2012) ont rapporté que NH_4^+ diminue le pH de la rhizosphère et entraîne par conséquent une génération d'énergie par la H^+ -ATPase qui stimule l'absorption du Phosphore. En conséquence, il semble que la fertilisation azotée contribue directement à une modification des équilibres d'absorption des éléments nutritifs.

Pour la composition phénolique, et conformément aux données de la littérature (Solis *et al.*, 2013 et Hirano *et al.*, 2005), une forte diminution de la teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes a été enregistrée à la suite d'une fertilisation azotée excessive; Cassman *et al.* (1989) ont montré que la concentration des protéines et celle des composés phénoliques sont corrélées négativement. En effet, dans ces conditions, la phénylalanine, qui est une substance clé dans la synthèse des phénols, est préférentiellement appliquée à la synthèse des protéines plutôt qu'aux composés phénoliques (Allen *et al.*, 2007).

En réponse à l'élévation de la fertilisation, le pouvoir antioxydant de l'extrait des graines de sésame, qui sont d'ailleurs connues pour leur puissante activité antioxydante (Sheikh et Ishak, 2016), a été ralenti. Ces résultats sont en accord avec d'autres études qui ont rapporté une corrélation forte et positive entre la quantité de composés phénoliques et l'activité antioxydante (Lasa *et al.*, 2000 ; Tyler, 2004 ; Hoopen *et al.*, 2010). Ainsi, une réduction des

composés phénoliques pourrait réduire la capacité antioxydante des plantes, comme révélé dans notre étude.

C. ETUDE DE L'EFFET DU DECORTICAGE DES GRAINES DE SESAME SUR LEUR QUALITE BIOCHIMIQUE ET PHYTOCHIMIQUE

Au Maroc, le secteur agroalimentaire occupe la 2^{ème} place dans le PIB industriel, marquant ainsi des résultats qui évoluent de plus en plus. En effet, selon les déclarations de la Fédération Nationale de l'Agroalimentaire, la filière agroalimentaire représente le tiers du tissu industriel national, avec un chiffre d'affaires de près de 115 milliards de DH. L'industrie alimentaire comporte une série de procédés allant de la réception de la matière première et la formulation jusqu'au conditionnement des produits destinés à l'alimentation humaine. Dans la filière des oléagineuses, pour préparer des produits dérivés des graines de sésame, qui subissent d'ailleurs les effets d'une concurrence externe exacerbée, celles-ci passent par plusieurs phases, dont on trouve le décortiquage et la torréfaction, et ce afin d'élaborer un produit final qui répond aux exigences de qualité demandées par le consommateur. Le décortiquage est un procédé qui permet non seulement d'augmenter les caractéristiques organoleptiques et nutritionnelles des graines, mais aussi d'éliminer des anti-nutriments, comme les oxalates, concentrés essentiellement au niveau du tégument. Par ailleurs, il apparaît que l'analyse de l'impact du processus de décortiquage aurait un double avantage ; d'une part, elle permet de caractériser qualitativement les graines de sésame décortiquées, étant donné leur implication par la suite dans les étapes de transformation alimentaire (notamment la torréfaction). D'autre part, elle permet d'ouvrir des pistes de valorisation de la partie "enveloppe" qui est considérée comme un déchet agroalimentaire.

Dans ce sens, la démarche développée dans cet axe, consiste à faire appel à des analyses quantitatives et qualitatives, ainsi qu'un screening des activités biologiques, afin de caractériser le profil alimentaire et phytochimique des graines décortiquées et leurs enveloppes.

1 Caractérisation du matériel végétal utilisé

1.1 Caractérisation biochimique

Le profil biochimique des graines de sésame utilisées dans cette partie de thèse est présenté dans le tableau 25. Les valeurs sont exprimées par rapport au poids sec des graines entières. En effet, la teneur en huile, en protéines et en sucres est estimée à 40,5%, 16,41% et 11,69 % respectivement. Les résultats relatifs aux éléments minéraux montrent que le calcium est l'élément le plus présent avec un taux qui atteint 797mg/100g

Tableau 26: Composition biochimique des graines de sésame utilisées

		Graines de sésame
Huile %		40,5
Protéines %		16,41
Sucres %		11,69
Eléments Minéraux (mg/100g)	Calcium	797
	Potassium	528
	Magnésium	298,36
	Sodium	40
	Phosphore	625

1.2 Caractérisation microscopique

Pour caractériser le tégument des graines de sésame, il était important à nos yeux de réaliser une observation microscopique des graines étudiées avant de passer aux étapes de transformation. Par ailleurs, l'étude microscopique a montré que les graines ne dépassent pas une taille de 3 mm de longueur et 2 mm de largeur (figure 50), avec une enveloppe externe qui montre un tissu brun, constitué d'une couche de « cellules d'abeille » recouvrant la surface du cotylédon, comme illustré sur la figure 51.



Figure 50: Graines entières de sésame

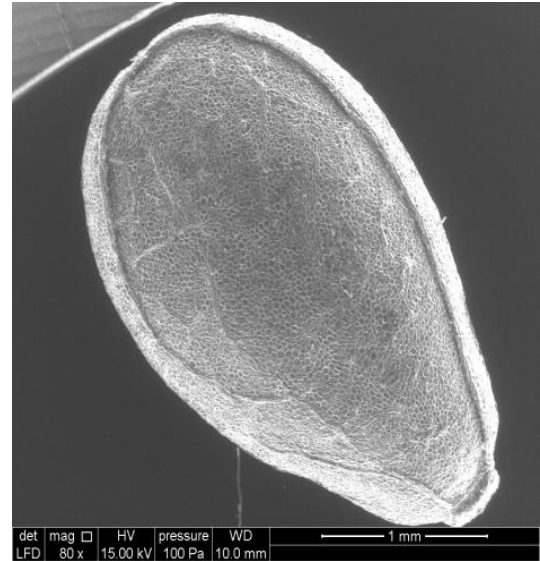


Figure 51: observation microscopique des graines de sésame (Gx80)

La visualisation microscopique a permis également de mettre en évidence la présence des formes octaèdres de grandes tailles, qui peuvent être des oxalates de calcium (figure 52).

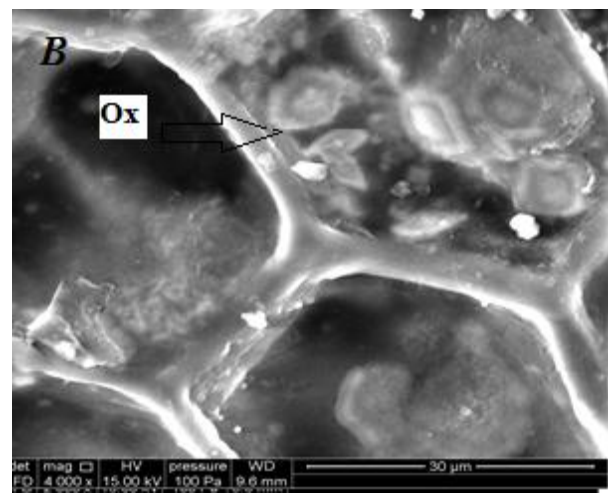
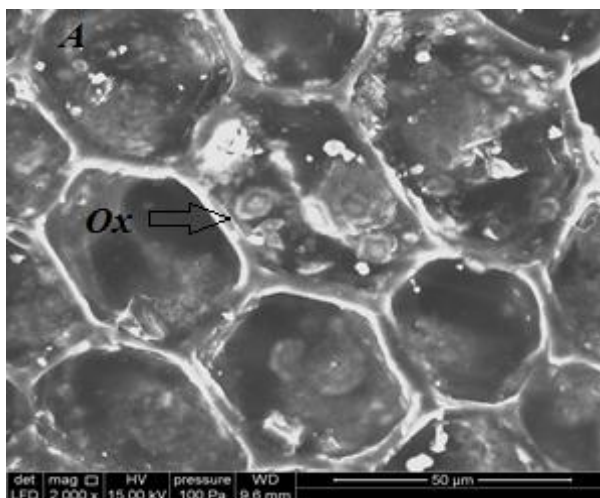


Figure 52: Observation microscopique des graines de sésame ; A : (Gx2000), B : (Gx4000), Ox : Cristaux d'oxalates

2 Effet du trempage dans une solution NaHCO_3 sur le tégument

Compte tenu du fait que le premier contact entre la solution de trempage et les graines de sésame se déroule au niveau de leur tissu externe, nous avons cherché leur action au niveau de ce tissu. Cette action s'est traduite à travers les clichés obtenus au microscope électronique

à balayage par des modifications morphologiques et structurales (figure 53). En effet, en comparaison avec les photos C et D qui illustrent la surface des graines trempées dans l'eau, les photos A et B des graines traitées par NaHCO_3 montrent des altérations qui se manifestent par une déformation des cellules.

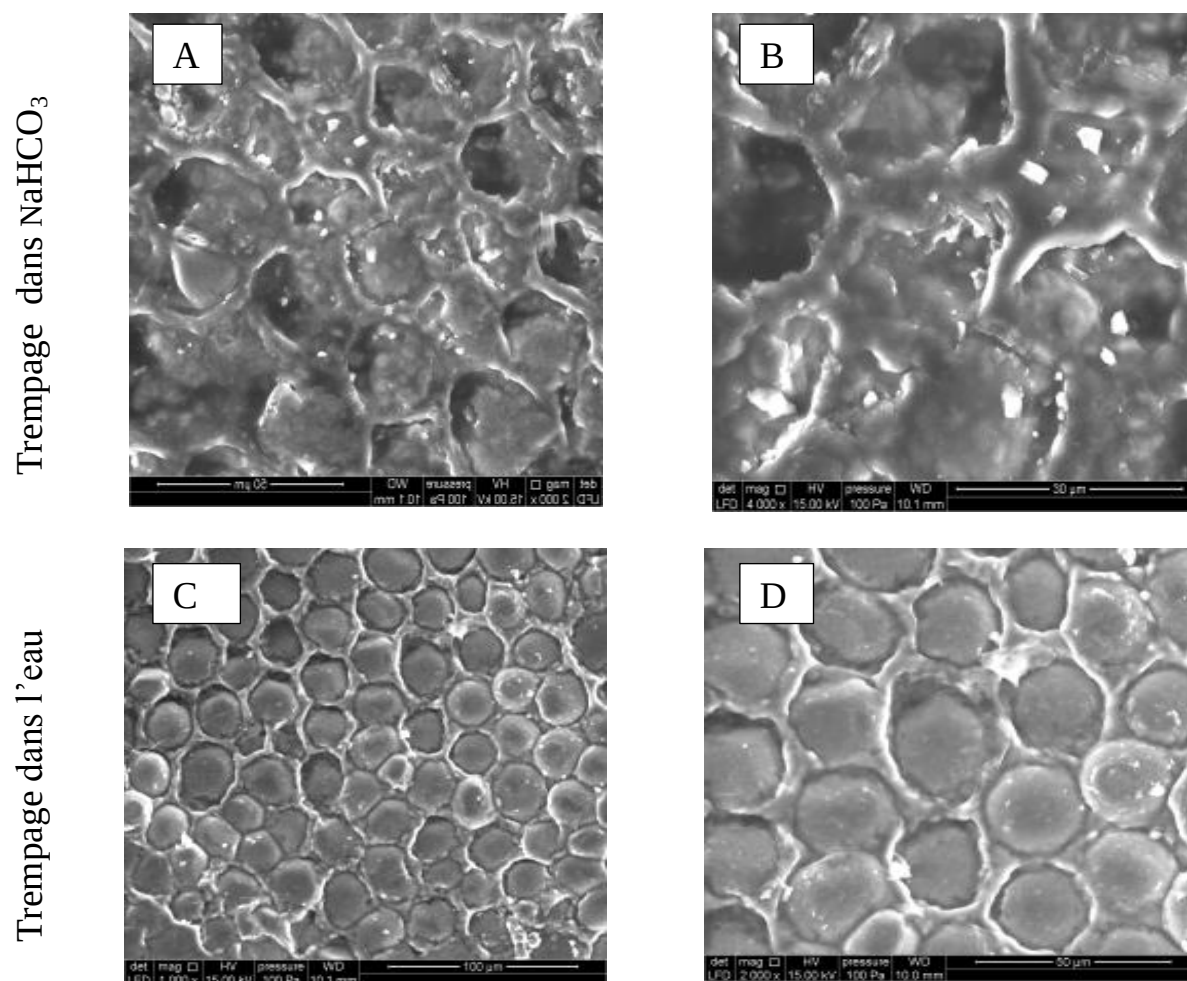


Figure 53 : Microscopie électronique à balayage des graines de sésame trempées dans une solution de NaHCO_3 à 5% (A : (Gx2000), B : (Gx4000)) et dans l'eau (C : (Gx2000), D : (Gx4000))

3 Composition biochimique des graines décortiquées et leurs enveloppes

La composition biochimique de DS et SC est illustrée dans le tableau 26. Les valeurs les plus importantes des protéines, de l'huile et des sucres ont été rapportées au niveau de DS et ont atteint 47,27%, 18,84 % et 9,18% respectivement. La teneur minérale, quant à elle, a montré d'importantes variations. En effet, le phosphore, le potassium et le magnésium sont hautement concentrés au DS avec 576,23±2,1, 414,6± 4,56 et 239±3,2 mg/100g respectivement, en comparaison avec SC (76,41±1,8, 140,48±3,2, 178,51±2,5 mg/100g respectivement). Il se trouve que le calcium est cinq fois plus concentré au niveau de SC que DS. La même remarque a été rapportée pour le sodium dont la valeur a été 43,9% supérieure dans SC. L'oxalate, de sa part, a été montré concentré au niveau de SC que DS avec 216µg/g.

Tableau 27: Composition biochimique des graines décortiquées (DS) et leurs enveloppes (SC)

		DS	SC
Huile %		47,27±0,12a	5,34±0,07b
Proteines %		18,84±0,02a	7,57±0,05b
Sucres solubles %		9,18±0,05a	0,75±0,02b
Minéraux (mg/100g)	Calcium	166,28±1,5b	831,11±1,32a
	Potassium	414,6±4,56a	140,48±3,2a
	Magnesium	239,4±3,21a	178,58±2,5a
	Sodium	14,09±1,28a	25,12±2,67b
	Phosphore	576,23±2,1a	76,41±1,81b
Oxalates		98,23±1,84b	216±2,11a

4 Caractérisation des molécules bioactives

4.1 Criblage phytochimique

Les examens phytochimiques de l'extrait de DS et SC ont révélé la présence des indicateurs (coloration, précipité, floculation...) qui permettent la caractérisation de certaines molécules bioactives. Le tableau 27 montre les familles présentes ou absentes dans les deux extraits étudiés.

Ainsi, le test phytochimique réalisé a permis la mise en évidence de l'existence des coumarines, oses, holosides, tanins et flavonoïdes dans les deux fractions, contrairement aux quinones et alcaloïdes qui y ont été absents. Les glycosides cardiaques et les mucilages ont été retrouvés uniquement au niveau de DS.

Tableau 28: Résultats des tests phytochimiques de l'extrait hydro-methanolique

Familles chimiques	DS	SC
Tanins	+	++
Flavonoïdes	+	+++
Coumarine	+	+
Alcaloïdes	-	-
Glycosides cardiaque	+	-
Quinones	-	-
Mucilages	++	-
Oses et holosides	+++	++

- : absence; + : faible teneur; ++ : teneur moyenne ; +++ : teneur importante

4.2 Dosage des polyphénols et des flavonoïdes totaux

Les dosages quantitatifs des polyphénols totaux et des flavonoïdes sont déterminés à partir des équations de la régression linéaire de chaque courbe d'étalonnage. Ainsi, l'extrait de SC a montré des valeurs qui sont nettement supérieures avec 37,4% et 67,54% pour les polyphénols totaux et les flavonoïdes respectivement, en comparaison avec les valeurs enregistrées pour (DS) (tableau 28).

Tableau 29: Taux des flavonoïdes par rapport aux polyphénols totaux

flavonoïdes totaux /polyphénols totaux	
DS	8,84%
SC	32,45%

5 Evaluation des activités biologiques

5.1 Evaluation de l'activité antioxydante

5.1.1 Capacité de piégeage du DPPH

D'après la figure ci-dessous, l'extrait hydro-methanolique de SC présente une capacité anti-radicalaire supérieure à celle de l'extrait de DS. Par contre, on remarque que les profils des deux extraits présentent une activité dose dépendante. En outre, le pourcentage d'inhibition du radical libre des deux extraits est inférieur à celui du standard (acide ascorbique), pour toutes les concentrations testées. En effet, le pourcentage d'inhibition pour (DS) est de 23%, 51% et 59% pour les concentrations 5, 10 et 15 mg/ml respectivement, en comparaison avec celui de l'acide ascorbique qui est de 62%, 88% et 99%, pour les mêmes concentrations. Quant à l'extrait hydromethanolique de SC, le pourcentage d'inhibition de DPPH est de 37%, 72% et 85%.

En comparant les IC₅₀ des deux extraits testés par rapport à celles du standard, on a remarqué une importante activité antioxydante affectée à l'extrait SC, avec une valeur de l'IC₅₀ de 2,12 mg/l, qui reste supérieure à celle de l'extrait DS, dont l'IC₅₀ n'a enregistré qu'une valeur de 2,39 mg/ml (figure 54).

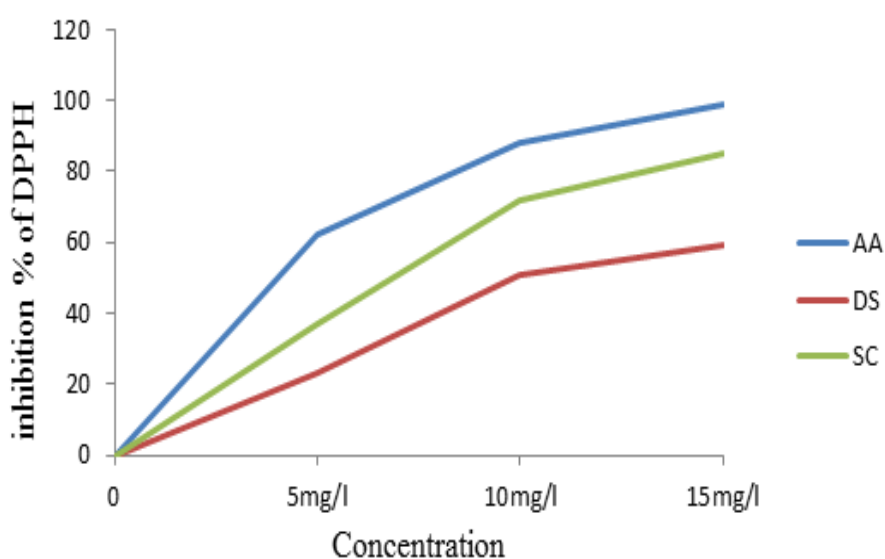


Figure 54: Piégeage du radical DPPH de l'extrait hydro-méthanolique des graines décortiquées et leurs enveloppes. AA: acide ascorbique, DS: graines décortiquées, SC: teguments

5.1.2 Capacité antioxydante totale

Les résultats obtenus ont montré que l'extrait hydro-méthanolique de SC révèle une meilleure activité antioxydante totale par rapport à l'extrait hydro-méthanolique des graines décortiquées (Figure 55). La valeur TAC pour l'extrait de SC est de 95,5 µg/ml EAA à 100 µg/ml. Cette valeur a diminué de 43% pour l'extrait hydro-méthanolique de DS.

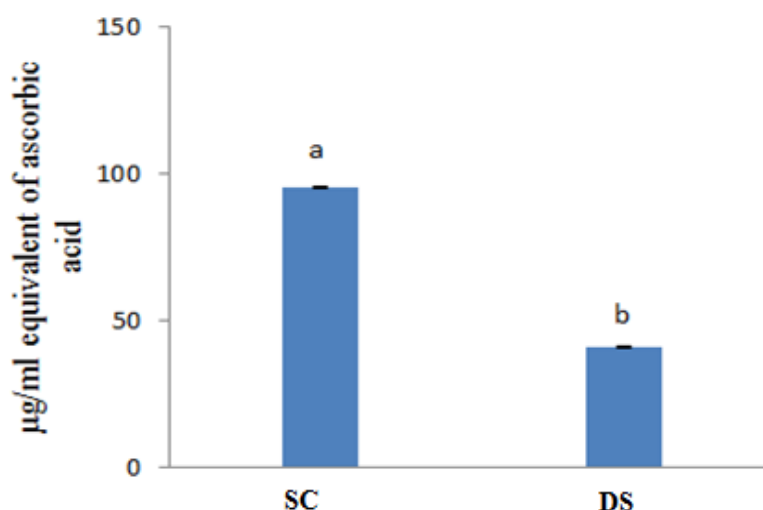


Figure 55: Capacité antioxydante totale des extraits hydro-méthanoliques de DS (graines décortiquées) et SC (téguments)

5.2 Évaluation de l'activité anti-inflammatoire

L'effet des extraits hydro-méthanoliques issus de DS et SC à deux concentrations (5 et 10 %) sur la circonférence de l'œdème a été présenté sur la figure 56. À ce titre, l'extrait hydro-méthanolique de SC a montré une inhibition significative de l'œdème, après 6h d'injection de la carragénine, avec une efficacité maximale (85,56%) plus importante que celle du diclofénac (78,9%) pour la concentration 10%.

Par contre, l'activité anti-inflammatoire de l'extrait de DS a montré la plus faible valeur, après 6h d'injection de la carragénine, ne dépassant pas 58,17% pour 10%.

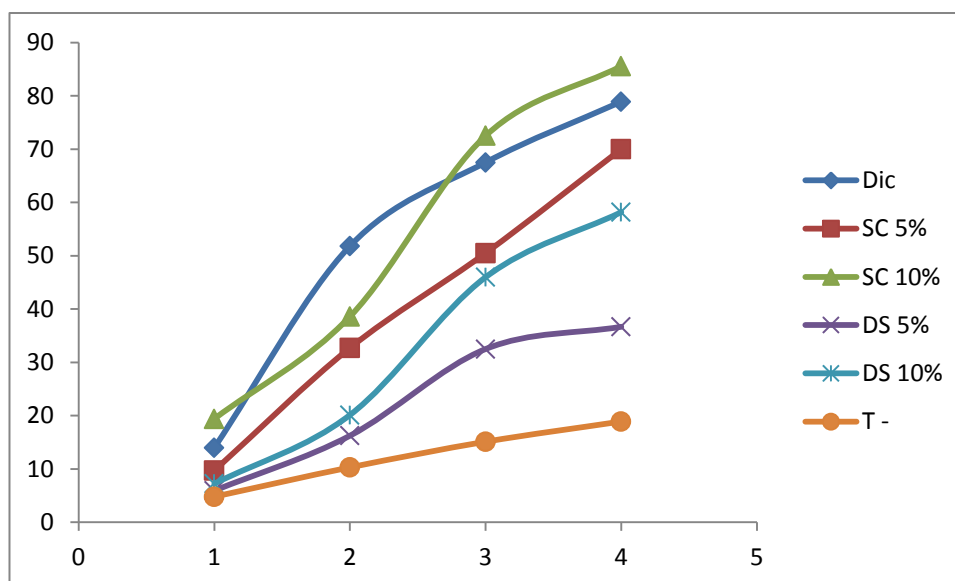


Figure 56: Activité anti-inflammatoire des extraits hydro-méthanoliques de DS et SC. Dic: Diclofénac 1% , T- : témoin négatif

5.3 Evaluation de l'activité cicatrisante

Comparer la surface des plaies des lots montre l'effet cicatrisant des extraits étudiés. Les résultats obtenus ont montré, de plus, que tous les traitements utilisés contribuent à la réduction de la surface des brûlures, avec une certaine variation liée principalement à la nature de chaque traitement.

On peut dire que les extraits de DS et SC possèdent une activité cicatrisante de manière dose-dépendante, puisque les réductions des surfaces et les pourcentages de contraction enregistrés au niveau des plaies traitées par l'extrait 10% dépassent celles traitées par l'extrait 5%.

A cet égard, pendant les deux premiers jours, tous les lots n'ont enregistré aucune efficacité significative ($P > 0,05$). Durant les jours post brûlures (de 2j à J8), les rats ayant reçu le traitement à base de l'extrait de SC à 10% ont réagi positivement en termes de réduction de surfaces de brûlures, en enregistrant les valeurs les plus importantes allant de 161 mm² à 50mm², avec un pourcentage de contraction de 68,94 % (figure 57). Par contre, les applications à base de l'extrait DS 5% ont montré les niveaux les plus bas de la réduction de la surface des brûlures, allant de 135,3 jusqu'à 98,6 mm², accompagnés d'un faible pourcentage de contraction (26 ,9%) (figure 58).

La comparaison de l'effet cicatrisant de l'extrait SC 10% avec celui du témoin positif, montre son effet significativement meilleur ($P < 0,05$) par rapport au traitement conventionnel durant les 12 premiers jours, où les surfaces des brûlures ont été réduites à 15mm² pour le lot traité par l'extrait SC 10% contre 35mm² pour le lot traité par SA.

Tous les lots ont montré une série de réductions successives de la surface des brûlures, jusqu'à leur cicatrisation totale marquée le 21^{ème} jour pour l'extrait SC 10% et le témoin positif, et le 24^{ème} jour pour SC 5% (figure 58). Par contre, le témoin négatif, les extraits DS 5% et 10% présentaient encore des surfaces moyennes de 12,84, 15,47 et 8,9 mm² respectivement et un pourcentage de contraction de 90,59, 93,6 et 88,9% (figure 59) respectivement.

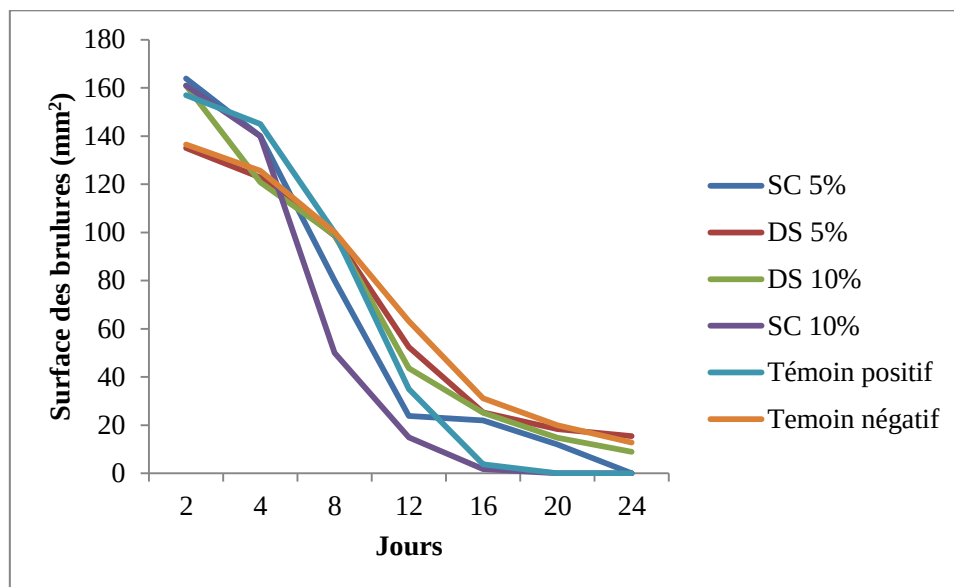


Figure 57: Variation de la surface moyenne des brûlures provoquées chez les rats

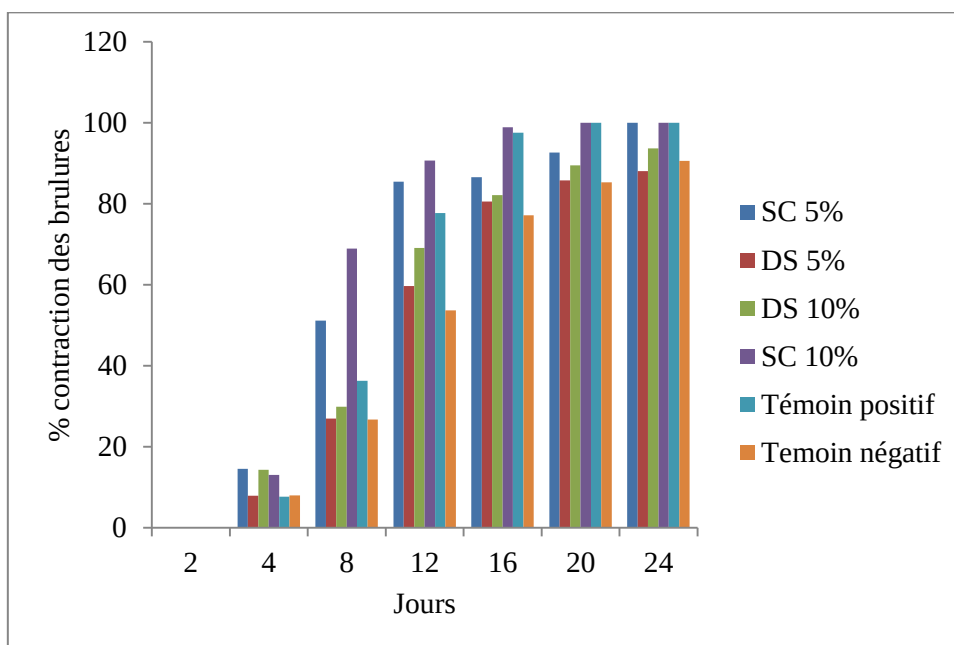


Figure 58: Evolution du pourcentage de contraction des brûlures des rats

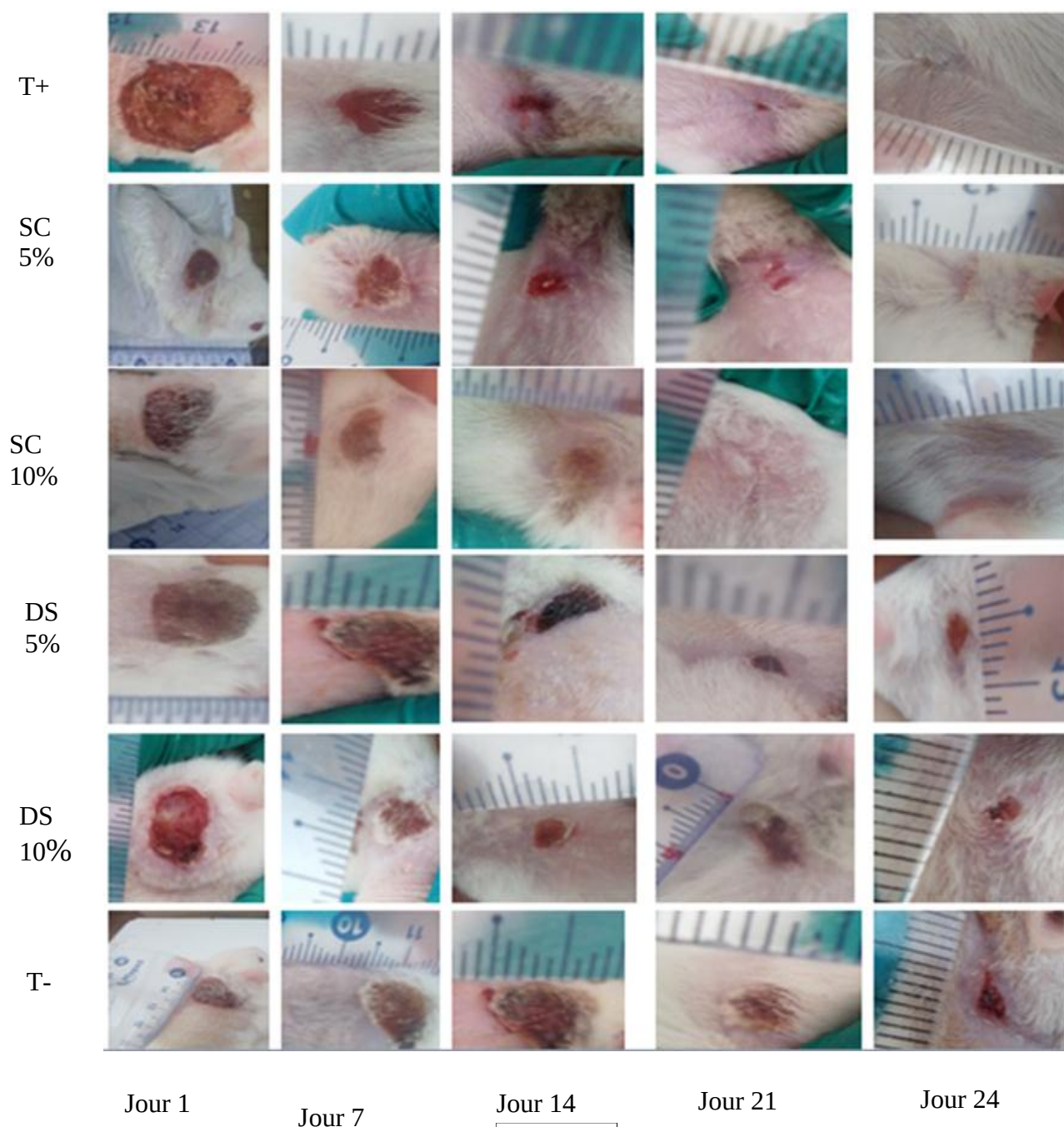


Figure 59: Aspects des brûlures chez les différents rats traités du 1er au 24 ème jour

5.4 Etude toxicologique

5.4.1 Effet sur la croissance normale des rats

Le suivi du poids des rats traités pendant 14jours a montré que leur croissance n'a pas été perturbée. Ainsi, une application par voie topique des crèmes à la dose 10% semble ne pas

être toxique. Au cours de ce test, aucun cas de mortalité, ni de toxicité n'a été enregistré, et le poids corporel a resté presque stable (figure 60).

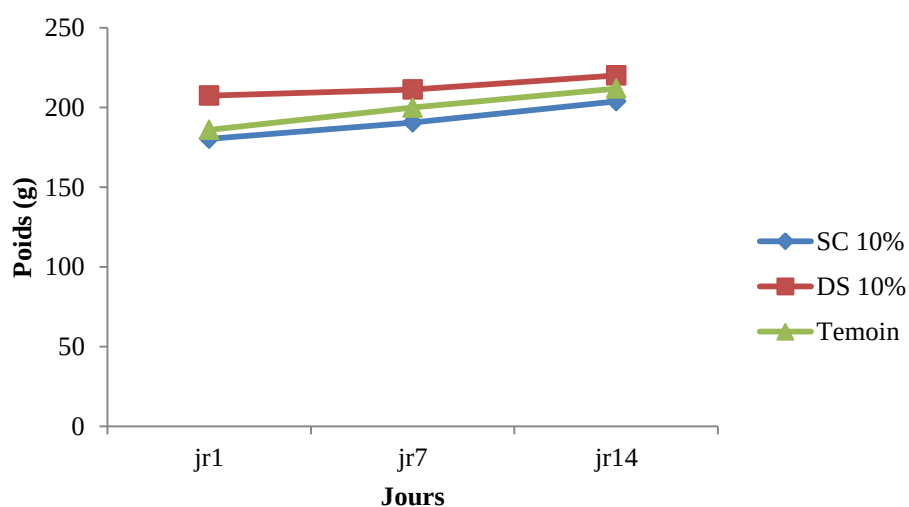


Figure 60: Evolution du poids corporel des rats traités

5.4.2 Poids relatif des organes

Les résultats rapportés sur le tableau 29 montrent qu'à la suite d'une application topique des deux types de crèmes à la dose 10%, le poids relatif des organes n'a pas changé.

Tableau 30: Effet de la crème à 10% sur le poids relatif des organes

	Reins(g)	Foie (g)	Rate (g)
DS 10%	5,86	45,12	2,3
SC 10%	6,94	48,37	2,84
Témoin	5,7	44,07	2,2

Discussion

Le sésame, communément appelé « Simsim » dans le monde arabe ou « Jenjlan » localement au Maroc, représente l'une des plantes les plus connues dans le secteur des oléagineux. Traditionnellement, les graines sont largement utilisées dans la cuisine. Contrairement à la coque qui reste indésirable, les graines de sésame décortiquées, sont utilisées dans l'industrie alimentaire. En effet, elles sont considérées comme un ingrédient principal pour la préparation de plusieurs produits alimentaires.

Dans un but de réduire les coûts et limiter le temps des processus de transformation, le recours à un prétraitement est largement utilisé dans l'industrie agroalimentaire (Ogier *et al.* 1999).

En effet, il était intéressant de se pencher sur des travaux de recherche qui s'intéressent au prétraitement du substrat végétal pour faciliter le processus de décortilage, afin d'en déduire le mode de fonctionnement des produits utilisés. Par ailleurs plusieurs techniques, au niveau de la revue bibliographique, ont été proposées par voie chimique, physique ou encore biologique. Un point commun entre ces différentes méthodes est la lyse des cellules lignocellulosiques qui forment l'unité de base du tégument des graines.

Dans cette étude, le choix de l'utilisation de NaHCO_3 (5%) réside principalement dans le fait qu'il ne génère aucune dégradation du contenu nutritionnel des graines de sésame (Ahmadian *et al.*, 2014). Afin d'évaluer l'efficacité de la solution de bicarbonate de sodium utilisée, nous avons observé les échantillons traités sur le microscope à balayage. Cette solution provoque des déformations au niveau des cellules de l'enveloppe externe des graines. D'après Sun et Cheng (2002), un prétraitement en présence d'un acide dilué permet l'hydrolyse de la lignine et l'hémicellulose par rupture des liaisons « lignine-xylane ». Le temps de contact doit être réduit néanmoins, pour ne pas attaquer les sucres qui sont solubles dans les milieux acides.

Ensuite, elle a été réalisée une analyse comparative entre les graines décortiquées et leurs enveloppes, comportant la composition biochimique, le potentiel phytochimique, l'effet antioxydant, l'activité anti-inflammatoire, l'activité cicatrisante. Ainsi, les résultats révèlent que le processus de décortilage a augmenté la teneur en protéines, en huile et en sucres solubles dans les graines décortiquées par rapport au tégument. Cette différence est probablement due à la localisation de ces éléments dans les couches internes d'endosperme de sésame, comme a été montré par El-Adawy et Mansour (2000).

En outre, l'un des anti-nutriments les plus répandus dans le règne végétal est l'oxalate. Dans notre étude, il a été relevé que le décortilage a permis de réduire significativement cet élément dans les graines décortiquées. Des résultats similaires ont été rapportés par Toma (1979) qui a souligné que ce procédé permet l'élimination de quelques anti-nutriments, comme l'oxalate.

Sur le plan nutritionnel, le modèle de caractérisation biochimique utilisé s'est penché sur une identification des éléments minéraux les plus prépondérants dans les graines de sésame. À ce titre, la répartition de cinq minéraux entre le tégument et l'endosperme a été mise en évidence ; le magnésium (cation intracellulaire) et le potassium (cation extracellulaire), connus par leur rôle préventif dans la pression artérielle et les problèmes cardiaques (Swaminathan, 2003 ; Weaver, 2013) et le phosphore dont l'importance tient à son rôle pour

le maintien du tissu osseux. Un autre élément identifié est le calcium. Ce dernier intervient non seulement dans les réactions physiologiques, notamment la contraction vasculaire, mais aussi comme facteur de prévention contre l'ostéoporose (Park *et al.*, 2011).

D'après les résultats obtenus dans ce travail, le phosphore est fortement concentré dans les graines décortiquées, contrairement au sodium et calcium qui l'ont été plutôt dans le tégument des graines de sésame. Ces résultats confirment les observations rapportées par Wang *et al.* (2009). Chang et ses collaborateurs (2002) ont abordé la question de la formation d'un complexe d'oxalate de calcium, au niveau des cellules épidermiques externes de la graine de sésame. Effectivement, l'oxalate se lie intimement au calcium pour former ce type de cristal. Selon Namiki (1995), le calcium nutritionnellement biodisponible a été estimé à moins de 25% du calcium total des graines de sésame.

De surcroît, l'identification des molécules bioactives à partir des résidus industriels des plantes a fait l'objet de nombreuses études. Il s'avère intéressant, ainsi, d'étudier les pistes de valorisation scientifique de la coque de plusieurs fruits et légumes. Dans ce sens, notre travail porte sur la caractérisation phytochimique des déchets du décorticage des graines de sésame. Ainsi, selon nos résultats, l'extrait hydro-méthanolique du tégument a montré une teneur plus élevée en polyphénols totaux et en flavonoïdes que l'extrait hydro-méthanolique des graines décortiquées. L'équipe d'Elleuch (2007) explique dans une recherche que les polyphénols sont extrêmement associés à des fibres tégumentaires de la graine de sésame. La même observation a été rapportée pour la coque de nombreux fruits comme l'arachide (Yen et Duh, 1994), le blé (Ohta *et al.*, 1994), le haricot (Rodríguez *et al.*, 1994) et le pois chiche (Watanabe *et al.*, 1997).

De même, des réflexions et des expérimentations ont mené les scientifiques à considérer les composés phénoliques comme des antioxydants naturels parmi les plus répandus pour la prévention du stress oxydatif (Abaza *et al.*, 2002 ; Abushouk 2017 ; Uddin *et al.*, 2018).

Ce travail vise également l'évaluation du pouvoir antioxydant des extraits hydro-méthanoliques des graines décortiquées et du tégument de sésame via deux méthodes spectrométriques complémentaires. La première permet de calculer le pouvoir de piégeage du radical libre (DPPH). Quant à la deuxième méthode, elle permet d'estimer l'activité antioxydante totale basée sur la formation d'un complexe de phosphomolybdène vert, lors d'une réduction de Mo (V) en Mo (VI), à pH acide.

Sur la base de nos résultats, les deux méthodes utilisées ont enregistré les valeurs les plus élevées dans le cas de l'extrait hydro-méthanolique du tégument. Ce fait peut être expliqué par la capacité de cet extrait à agir en tant que donneur d'atomes d'hydrogène. Cela confirme

les apports précédents de Chang et al. (2002), qui ont montré que le tégument de soja avait une activité antioxydante supérieure à celle de la graine décortiquée. De leur côté, Shahidi et ses collaborateurs (2006) ont constaté que la fraction externe du sésame noir avait un effet significatif sur l'oxydation du cholestérol des lipoprotéines, ainsi que sur la capacité de chélation des ions ferreux. Les expériences menées par Balasundram et al. (2006) ont montré que l'activité antioxydante des composés phénoliques est principalement due à la création d'un radical phénoxy. D'autres recherches ont été mobilisées pour la mise en évidence de la relation de corrélation positive entre la quantité des composés phénoliques et l'effet antioxydant (Das 1990 ; Prieto *et al.*, 1999 ; Liu *et al.*, 2009)

En outre de l'effet antioxydant, une activité anti-inflammatoire significative a été observée dans l'extrait hydro-méthanolique du tégument. Les résultats obtenus édifient nos conclusions concernant les teneurs importantes en composés phénoliques totaux au niveau dudit extrait. Divers rapports et notamment ceux de Geronikaki et Gavalas (2006) ont révélé l'implication directe des composés antioxydants dans l'activité anti-inflammatoire. Il est connu, en effet, que la quantité des composés phénoliques et l'activité anti-inflammatoire sont positivement corrélées (Kong *et al.*, 2000 ; Wiseman *et al.*, 2001).

D'après la littérature, plusieurs molécules sont synthétisées au cours de l'inflammation selon trois phases : i- plusieurs médiateurs sont sécrétés suite à l'injection de la carragénine (mucopolysaccharide sulfaté, déclencheur de l'inflammation). ii- l'histamine et la sérotonine sont les premiers à être libérés, après une marge temporelle (1,5–3 heures), la bradykinine est ensuite libérée. iii- Quant à la prostaglandine, elle n'est sécrétée qu'en dernier lieu (après 3h) (Wantana *et al.*, 2009).

Compte tenu de ces indications et du profil phytochimique de notre plante, l'effet observé dans les résultats peut être lié à la capacité de l'extrait du tégument à bloquer la voie de la cyclooxygénase, ce qui inhibe par la suite la synthèse des prostaglandines.

L'effet des flavonoïdes par rapport à l'activité anti-inflammatoire fait partie d'un large champ d'investigation au niveau des publications scientifiques. Touitou Yvan (1993) explique que les flavonoïdes ont la capacité d'inhiber les enzymes de régulation tels que la lipooxygénase, la cyclooxygénase et la phospholipase A2. Middleton et al. (2000) montrent que même les kinases peuvent être inhibées par les flavonoïdes.

Dans un même registre, la capacité cicatrisante des extraits étudiés a été mise en évidence, et ce grâce aux résultats intéressants obtenus pour l'extrait du tégument. D'après Platon (1997), lors d'une brûlure de 2^{ème} degré, le tissu épidermique supérieur (barrière physique et

chimique) est endommagé, ce qui laisse pénétrer des micro-organismes, causant une infection. Egalement, Gopinath et al. (2004) ont indiqué que les brûlures de la peau sont généralement accompagnées d'une inflammation locale et d'une surproduction des radicaux libres. Par ailleurs, l'efficacité d'une opération de cicatrisation est liée à la mobilisation d'un arsenal qui rassemble plusieurs intervenants, d'ordre antioxydant, antimicrobien et anti-inflammatoire. Les résultats trouvés dans notre étude peuvent être attribués à la diversité phytochimique de l'extrait tégumentaire, comme on a mis en avant au niveau du criblage phytochimique. L'équipe de Sahib et al. (2015) mentionne que, grâce au pouvoir de ces composés, le stress oxydatif au niveau du site de brûlure est réduit en entraînant une diminution du temps de guérison. Pareillement, d'après Ammar et al. (2015) et akkol et al. (2015), les fibroblastes sont favorisés au cours de la cicatrisation. Un autre travail a mis le focus sur le rôle des polysaccharides dans l'activation des macrophages et des lymphocytes B et T qui sont connus pour leur rôle dans le processus de défense immunitaire (Togola *et al.*, 2007). Enfin, la richesse des graines décortiquées en mucilages peut expliquer son potentiel cicatrisant. L'étude de Bruneton (1993) a permis de constater, effectivement, que les mucilages sont caractérisés par une forte activité cicatrisante.

En conclusion, l'extrait hydro-méthanolique du tégument s'est montré riche en polyphénols totaux et en flavonoïdes et a enregistré des capacités biologiques intéressantes. De bons résultats ont été obtenus pour le piégeage du radical libre DPPH, l'activité antioxydante totale, l'activité anti-inflammatoire et l'activité cicatrisante. Ce qui laisse penser au fait qu'il pourrait être exploité pour des fins thérapeutiques.

Aussi, d'après les données obtenus, on peut déduire que les graines décortiquées concentrent les composés d'intérêt nutritionnel les plus importants, ce qui laisse penser à les intégrer dans une formulation alimentaire. Mais avant d'en parler (axe : Caractérisation sensorielle d'un produit alimentaire à base des graines de sésame transformées), une question se pose : Qu'advient-il à ces composés nutritionnels lors d'un processus de torréfaction ?

Pour apporter une réponse, la réalisation d'une étude relative à l'effet de la torréfaction sur la composition des graines décortiquées s'impose avec acuité. Dans cette perspective, on s'attardera sur les éléments concernant la torréfaction dans l'axe suivant.

D. ETUDE DE L'EFFET DE LA TORREFACTION DES GRAINES DE SESAME SUR LEUR QUALITE BIOCHIMIQUE ET PHYTOCHIMIQUE

Les graines de sésame sont parmi les oléagineuses qui représentent plusieurs atouts sur le plan nutritif, en effet leur richesse en acides gras insaturés, en protéines et en molécules bioactives a été largement rapportée. D'autre part, la transformation des denrées alimentaires est une pratique industrielle qui peut être définie comme une sorte de conversion de matières premières agricoles en produits alimentaires qui assurent des caractéristiques souhaitées. Certes, le traitement thermique est l'un des procédés clés de la transformation des graines oléagineuses, en effet la torréfaction vise à favoriser significativement le développement de la couleur et la flaveur des graines pour un produit final bien apprécié par le consommateur. D'après la littérature, il a été largement rapporté que ce procédé fait intervenir un ensemble complexe de réactions qui peuvent impacter le produit final. Il nous semble donc judicieux de rechercher une combinaison temps/température qui permet la préservation au mieux des propriétés nutritionnelles des graines de sésame torréfiées. Ainsi afin d'y répondre, cette partie de thèse s'appuie sur les résultats des analyses biochimiques et phyto-chimiques des graines torréfiées aux différents barèmes (Temps/Température) utilisés.

1 Composition biochimique

1.1 Teneur en huile

Les valeurs de la teneur en huile en fonction de la durée et la température de traitement thermique sont illustrées dans la figure 61. On peut constater que la teneur en huile augmente significativement avec le temps, dès la première température (130°C) jusqu'à atteindre une valeur maximale de 52,4%, contre le témoin (graines non torréfiées) qui ne représente que 47,2%. Cette valeur reste presque constante pour les traitements suivants.

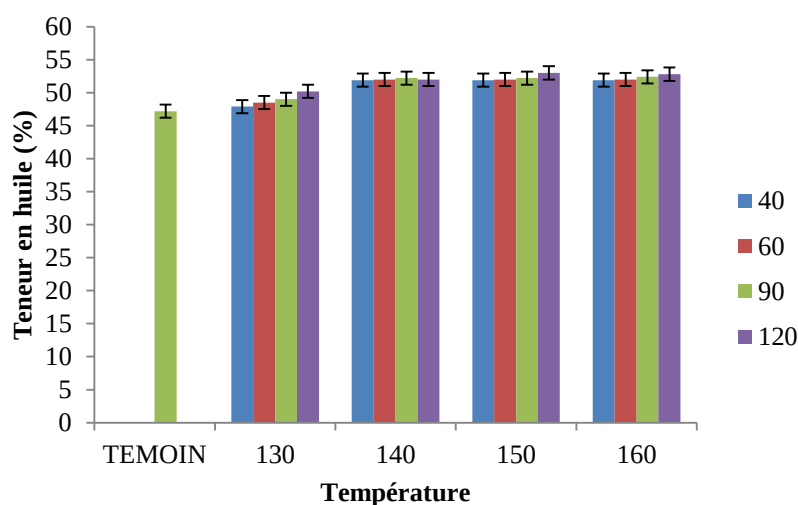


Figure 61: Effet de la température et la durée de torréfaction sur la teneur en huile

1.2 Test de stabilité de l'huile

1.2.1 Couleur de l'huile

Il ressort des résultats obtenus (figure 62) que le barème temps/température augmente significativement la couleur ($P=0,01$). En effet, la couleur de l'échantillon modifie aussi de façon importante l'intensité de l'absorbance mesurée. L'absorption des échantillons clairs est moins importante que celle des échantillons foncés qui absorbent fortement la lumière incidente, cela est notamment remarqué au niveau des températures élevées (150 °C et 160°C).

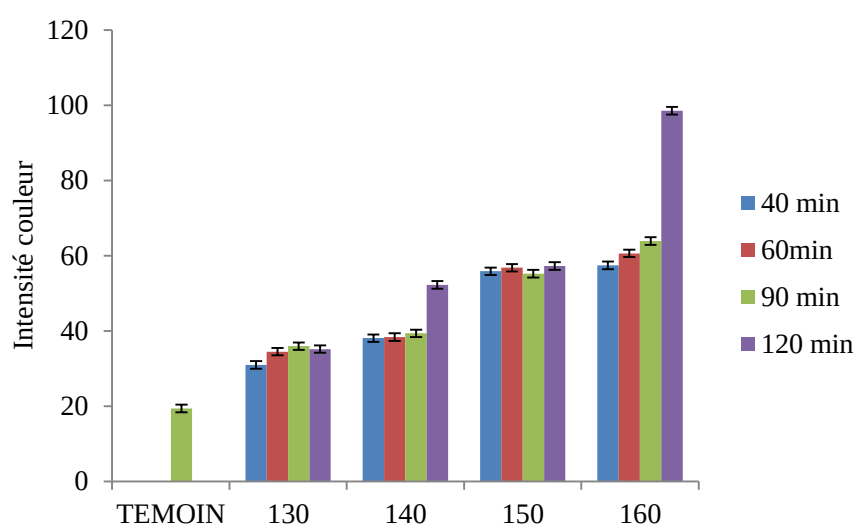


Figure 62: Effet de la température et la durée de torréfaction sur la couleur de l'huile

1.2.2 Indice de peroxyde

L'indice de peroxyde présente une sensibilité envers les conditions externes qui peuvent détériorer la qualité physicochimique de l'huile causant ainsi son altération oxydative. Dans notre étude, la valeur de cet indice avant tout traitement thermique était de 2,48 méq O_2 /Kg d'huile. Cependant cette valeur augmente progressivement avec la température pour aller jusqu'à 20,77 pour le couple (160/120) (figure 63).

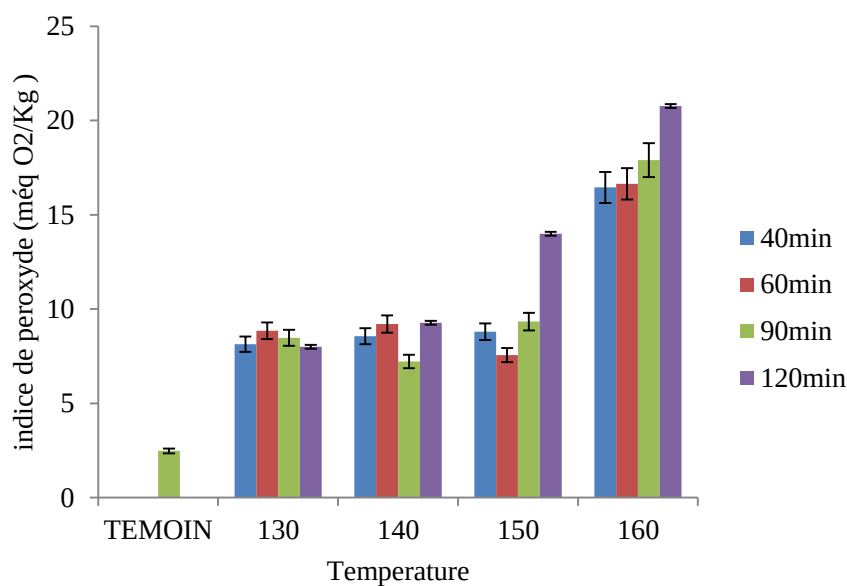


Figure 63: Effet de la température et la durée de torréfaction sur l'indice de peroxyde

1.2.3 Indice d'iode

L'indice d'iode nous donne une idée sur le degré d'insaturation de l'huile étudiée, en effet plus l'indice d'iode d'une huile est élevé plus elle est insaturée. D'après les résultats illustrés dans la figure 64, on remarque qu'une variation non significative ($p < 0,05$) est montrée pour les premiers niveaux de températures étudiés. L'effet du traitement thermique n'est enregistré qu'à partir de la température 160°C et ce pour les couples (160/60, 160/90 et 160/120) qui ont montré d'ailleurs une diminution au niveau de l'indice d'iode jusqu'à 97,8 g de $I_2/100g$.

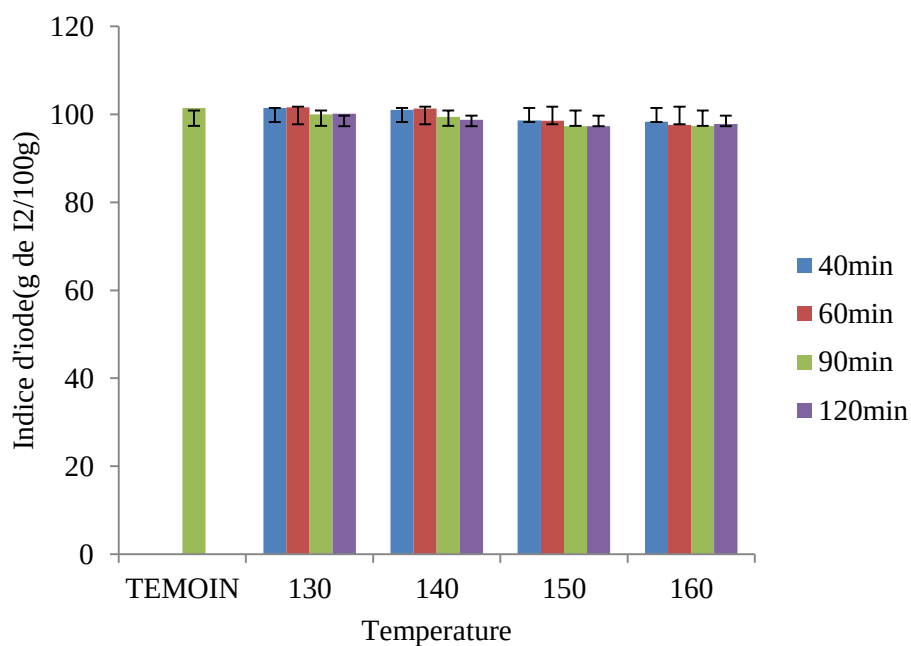


Figure 64: Effet de la température et la durée de torréfaction sur l'indice d'iode

1.3 Teneur en protéines

La figure 65 montre une variation remarquable entre les différents traitements appliqués par rapport à la teneur en protéines. Une augmentation progressive du taux de protéines des graines torréfiées a été enregistrée, pour atteindre un maximum de 20,95% au niveau du couple 40min/ 140°C, ensuite le taux des protéines commence à diminuer jusqu'à une valeur de 17,03% enregistrée notamment chez la combinaison 120min/ 160°C.

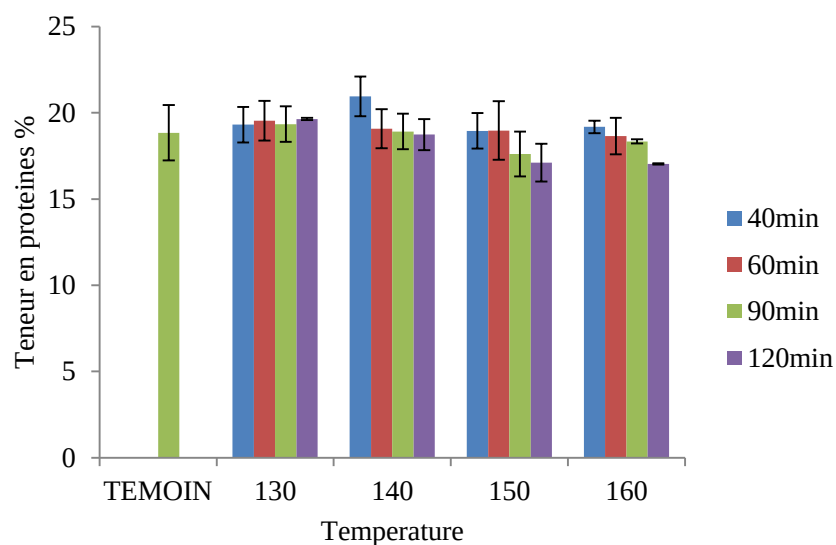


Figure 65: Effet de la température et la durée de torréfaction sur la teneur en protéines

1.4 Teneur en sucres totaux

A partir de la figure 66, l'analyse des résultats montre une augmentation de la teneur en sucres avec l'augmentation de la durée et la température appliquées sur les graines de sésame. En effet, une augmentation importante de 29,62% a été enregistrée au niveau de la combinaison 140°C/40min. La teneur en sucres a ensuite chuté jusqu'à une réduction de 67,32% pour les graines torréfiées à 160°C pendant 120min.

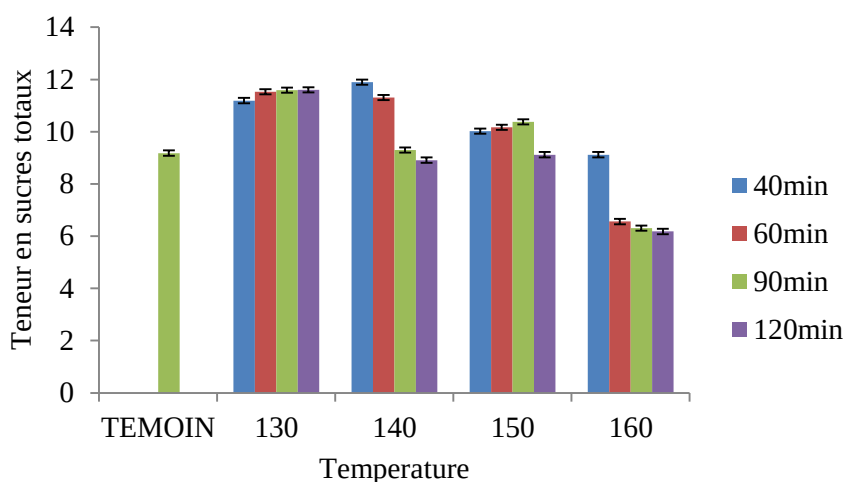


Figure 66: Effet de la température et la durée de torréfaction sur la teneur en sucres totaux

1.5 Teneur en polyphénols

Les résultats obtenus ont montré que le traitement thermique a un effet marquant sur la teneur en polyphénols (Figure 67). En effet, quelle que soit la température, plus la durée de torréfaction des graines est élevée plus la teneur en polyphénols diminue. La plus grande valeur a été enregistrée avec le niveau thermique 140°C, il s'agit d'une augmentation de 7,89% et 5,04% pour 40min et 60min respectivement. Quant à la valeur la plus faible, elle a été notée au niveau de la combinaison 160°C/120min avec une diminution de 35,39%.

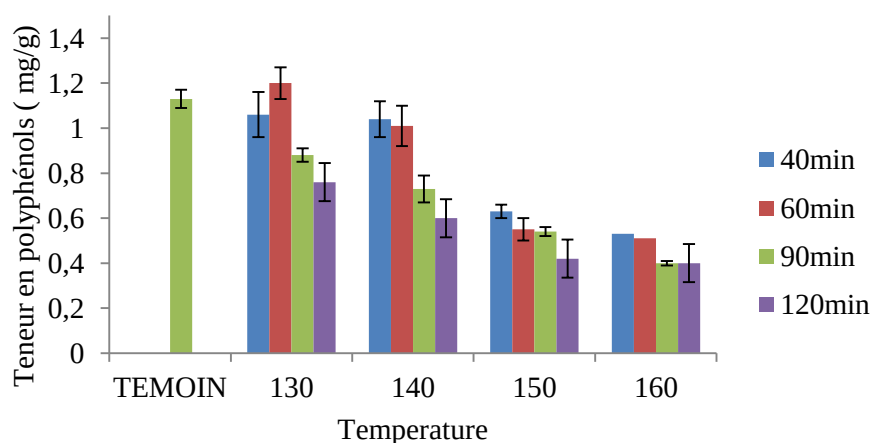


Figure 67: Effet de la température et la durée de torréfaction sur les polyphénols totaux

1.6 Teneur en flavonoïdes

Il ressort de la figure 68 que généralement la durée d'exposition des graines au traitement thermique peut réduire la teneur en flavonoïdes jusqu'à 30%, cette valeur minimale a été enregistrée après 120min de torréfaction à une température de 160°C. Par contre, une courte durée de traitement (40min) donne les valeurs les plus importantes avec une augmentation de 16,66% pour 140°C.

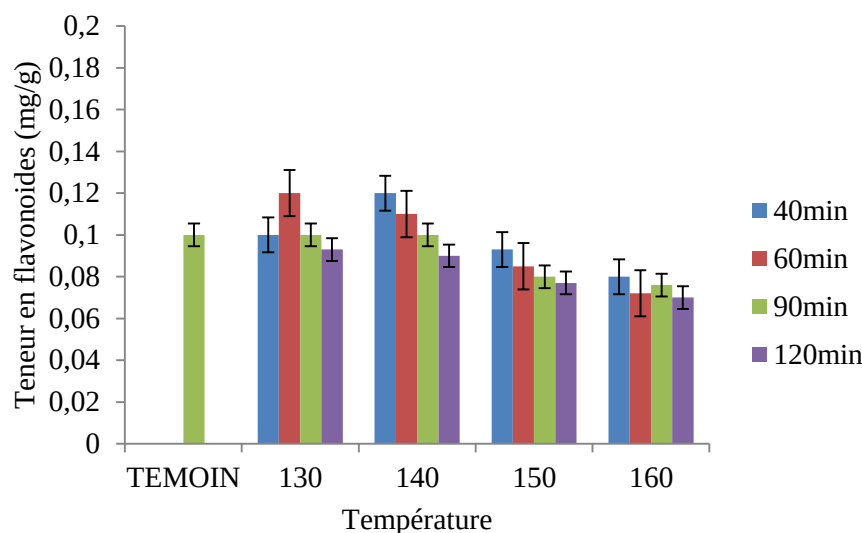


Figure 68: Effet de la température et la durée de torréfaction sur les flavonoïdes totaux

2 Activité antioxydante totale

La figure 69 montre l'impact du traitement thermique à différentes durées sur l'activité antioxydante. En effet, le niveau de l'activité antioxydante totale a diminué pour tous les traitements choisis sauf pour les températures 130°C et 140°C, qui ont connu respectivement une augmentation de 12,95% et 11,82% par rapport aux graines non torréfiées.

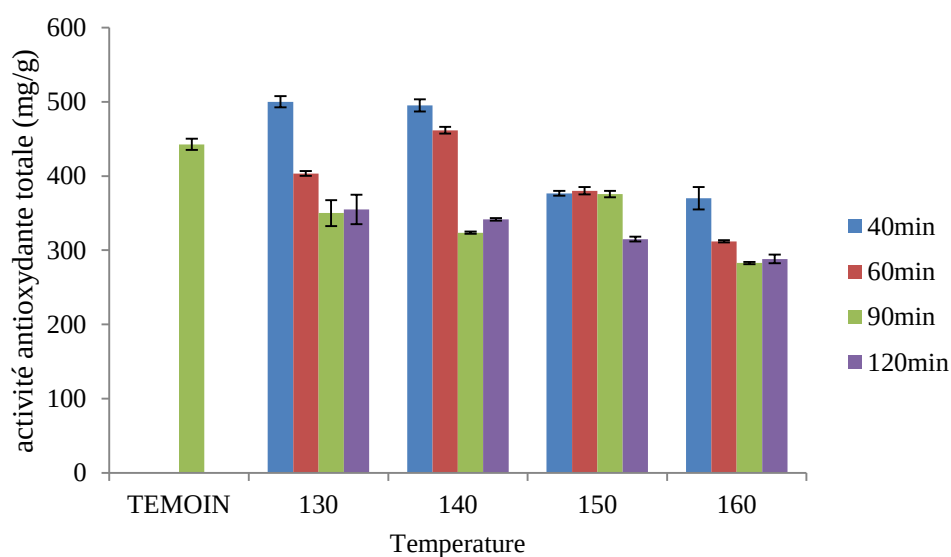


Figure 69: Effet de la température et la durée de torréfaction sur l'activité antioxydante

3 Test hedonique

La figure 70 représente les notes d'appréciation obtenues après la réalisation du test d'acceptabilité, ces notes sont incluses entre 2 et 9 pour les descripteurs étudiés. L'analyse de la variance a montré une différence significative ($p < 0,05$) entre les 12 catégories des graines torréfiées. D'après les résultats, les caractères sensorielles étudiés sont tous accentués lors d'une torréfaction modérée et moins prononcées dans le cas d'une torréfaction poussée ou légère. En effet, l'arôme est ressentie plus intense dans les traitements E et F avec une note de 7,67, et moins intense dans les temps et température de torréfaction très élevés ou encore très bas. Pour la structure des graines, les panelistes ont préféré les échantillons : D, E, F, G, H, I, J, où la meilleure valeur a enregistré une note de 8,67 (pour E). Au-delà de cet intervalle les graines torréfiées sont moins appréciées. En ce qui concerne l'odeur et la couleur, ces deux paramètres ont été bien appréciés au niveau du traitement E avec une note de 6,67 et 8 respectivement.

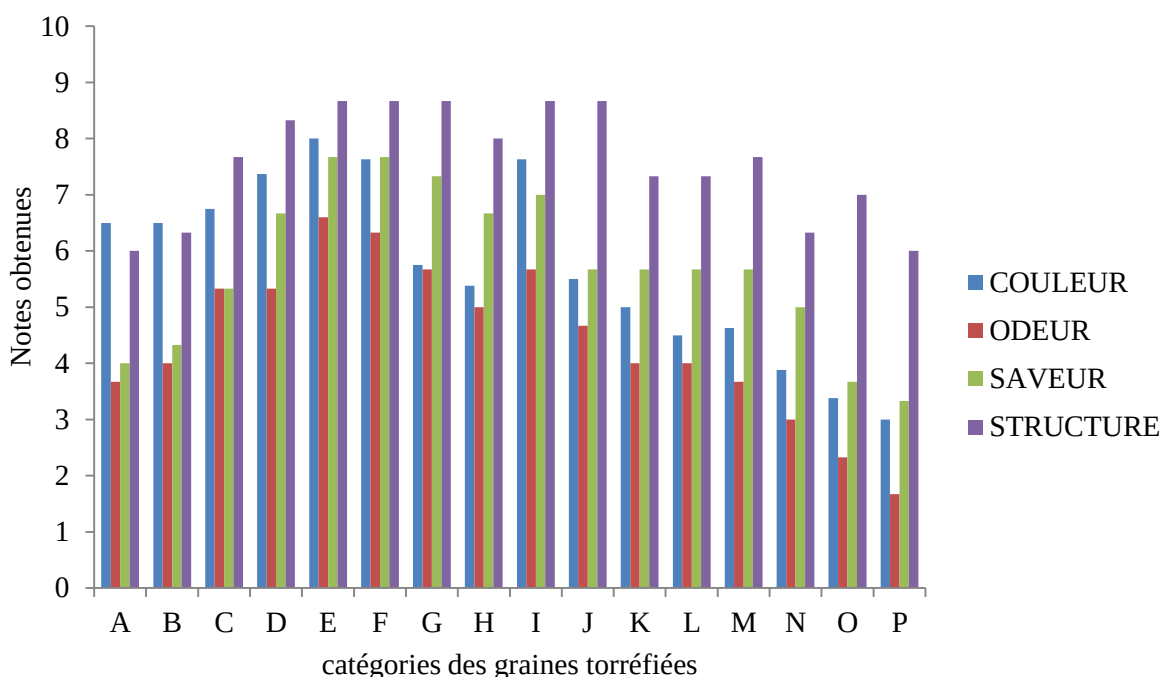


Figure 70: Représentation des notes données par le jury pour chaque échantillon

Discussion

Après avoir abordé la question relative au procédé de décorticage, il devient intéressant de se pencher sur l'étape de torréfaction et les changements biochimiques qu'ils l'accompagnent. Par ailleurs, d'après les résultats obtenus, l'augmentation du barème (Temps /Température) a

fait augmenter progressivement la qualité nutritive des graines de sésames. Mais, au-delà du couple (140°C/40min) une diminution importante des concentrations des protéines, sucres, flavonoïdes, polyphénols et également de l'activité antioxydante a été enregistrée.

Ces résultats sont en concordance avec ceux de rizki et al. (2015) qui ont trouvé que le contenu protéique augmente dans les premiers temps de torréfaction avant de marquer une diminution dans les températures les plus élevées. Yoshida et Takagi (2001) expliquent que l'eau et les molécules volatiles, en s'évaporant dans les premières températures de torréfaction, entraînent une diminution du poids des graines sur lequel le taux des protéines et sucres sera rapporté. Jinap et al. (2005) expliquent que les protéines peuvent être dégradées après une longue torréfaction, ce qui provoque une baisse au niveau de la qualité nutritionnelle. L'effet du traitement thermique sur les protéines a été largement rapporté dans plusieurs travaux de recherche (Thapon et Bourgeois, 1994 ; Sanchez et Frémont, 2003).

Egalement, la diminution des sucres avec les températures les plus élevées peut être expliquée par leur implication dans les réactions de Maillard, qui sont un ensemble de réactions non enzymatiques entre des sucres réducteurs et des acides aminés et qui conduit finalement au développement de la coloration brune des graines et la génération d'arômes (Maillard, 1912). Les sucres sont aussi impliqués dans le processus de caramélisation qui s'amorce à plus de 110°C pour le fructose et 160°C pour le glucose, produisant ainsi des composés volatils intermédiaires comme les cétones et l'acide acétique qui, après cyclisation, donnent lieu à de nouveaux composés aromatiques (comme le 2-2-hydroxyacétyl-furane et le Maltol) responsables de l'arôme ressenti dans les graines torréfiées. Le processus de ces réactions finit par une condensation de ces molécules générant par ailleurs des composés bruns dont la masse moléculaire est élevée (Jiang *et al.*, 2008).

De même, la teneur en huile a augmenté significativement avec le traitement thermique. Frankel (1980) explique que, si la torréfaction inhibe la lipoxygénase (enzyme responsable de l'hydrolyse enzymatique des lipides) ; elle favorise, par contre, leur auto-oxydation aboutissant à la formation des hydroperoxydes qui vont entrer, par la suite, dans des réactions pour production des composés aromatiques comme les furanes et les cétones, responsables de l'odeur. Frankel (1983) montre que l'acide linoléique donne lieu à un aldéhyde insaturé ((E,E)-nona-2,4- diénal), après exposition au forte degré de température.

Durant cette étude, la qualité de l'huile des graines torréfiées a été étudiée. En effet, l'indice de peroxyde est un paramètre qui nous renseigne sur le degré d'oxydation de l'huile. D'après les résultats, cet indice augmente avec les niveaux de traitement les plus élevés, cela corrobore avec les résultats d'Ozdemir et al. (2001) qui ont travaillé sur la torréfaction des

noisettes. L'indice d'iode est un autre indicateur étudié qui informe aussi sur le degré d'instabilité des huiles. En effet, l'oxydation des lipides est une série de réactions biochimiques caractérisées par le réarrangement des doubles liaisons des acides gras insaturés et la fixation de l'oxygène ce qui permet la formation de composés oxygénés (alcools aldéhydes) à odeur. Les lipides sont normalement préservés dans des compartiments cellulaires (oléosomes) protégés par une couche phospholipidique contre l'oxydation lipidique causée par pénétration d'oxygène à l'intérieur. Après un traitement thermique à des niveaux élevés, la paroi et les jonctions intercellulaires sont dégradées et les oléosomes sont déstructurés (Saklar *et al.*, 2003). Par conséquent l'oxygène peut facilement y pénétrer et perturber la stabilité oxydative de la matière lipidique (Perren *et al.*, 2007). D'autre part, on note que la couleur des échantillons est particulièrement favorisée au cours de la torréfaction, en effet plus on augmente la température plus la couleur de l'huile devient plus foncée. Cela peut être dû aux réactions de brunissement non enzymatique des substances qui résultent de la réaction de Maillard (Özdemir *et al.*, 2000).

D'autre part, on assiste à une augmentation du taux des polyphénols et des flavonoïdes pour les températures les plus légères (130°C et 140°C) pour diminuer ensuite avec les températures et les temps les plus élevés. L'augmentation de la production des composés phénoliques pendant la torréfaction peut être due à la production d'autres composés phénoliques comme le sésamol (Fukuda *et al.*, 2007). Ces résultats concordent avec l'équipe de Wang (2009) qui a trouvé que le taux des polyphénols est élevé en cas d'extraction à partir des graines torréfiées à températures modérées ; mais selon la même étude, la torréfaction à haute température pendant une longue période peut provoquer une réduction des composés phénoliques. Ces résultats suggèrent que le contenu phénolique présent dans les graines de sésame pourrait être thermolabile (Yoshida et Takagi, 1999).

Par rapport à l'activité antioxydante totale, une augmentation significative a été enregistrée en comparaison avec les graines non torréfiées. En effet, de nombreux auteurs ont démontré une corrélation positive entre le contenu phénolique total et l'activité antioxydante (Das, 1990 ; Wang *et al.*, 2009 ; Liu *et al.*, 2009)

D'un autre côté, l'analyse sensorielle est un outil pour compléter les résultats relatifs à la composition nutritive suite au processus d'optimisation de la torréfaction des graines décortiquées du sésame. Cette évaluation est encadrée par des normes établies par l'association française de normalisation. Un nombre conséquent de recherches dans la littérature a été mené pour comprendre les différents changements sensoriels (physiques, chimiques et structuraux) subis au cours d'une torréfaction "light", "medium" ou "dark".

Dans notre étude, les graines torréfiées à différents barèmes temps/température ont été présentées à un groupe des panelistes pour donner une note d'appréciation par rapport aux quatre descripteurs relatifs à la couleur, l'arôme, la structure et l'odeur. Les résultats attestent que les torréfactions modérées sont les plus appréciées. Ces résultats sont en accord avec les travaux rapportés par Czerny et ses collaborateurs (1999) qui ont travaillé sur l'optimisation de la torréfaction des grains de café, pour eux les caractéristiques sensorielles augmentent significativement avec le niveau de torréfaction. Dans le même champ, il est connu que la torréfaction influence aussi la couleur ; selon Varlet (2007) le grain de café passe du vert au marron après un traitement thermique. Cela s'inscrit dans la même ligne des travaux de Shenker et ses collaborateurs (2000) qui ont montré que la structure des grains est également touchée par la température; une graine peut perdre jusqu'à 20% de son poids initial donnant ainsi une structure croquante.

E. CARACTERISATION SENSORIELLE D'UN PRODUIT ALIMENTAIRE A BASE DES GRAINES DE SESAME TRANSFORMEES

Malgré la demande extrêmement croissante au Maroc, la filière de transformation des graines oléagineuses reste fragile. Selon le rapport réalisé en 2016 par l'organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, l'activité de transformation est «au point mort», surtout avec la libéralisation des échanges commerciaux. Néanmoins, ce secteur alimentaire doit se renforcer au sein de l'industrie de transformation marocaine, tout en assumant les exigences nutritionnelles et sensorielles demandées par les consommateurs. Il apparaît donc nécessaire de réfléchir à des pistes d'amélioration de la filière, en alimentant le marché agro-alimentaire par des produits à forte valeur ajoutée, spécialement pour le cas du sésame dont les graines sont douées de forts atouts et valeurs. Actuellement, aucun profilage biochimique des produits alimentaires marocains à base des graines de sésame n'a été référencé dans la bibliographie. En outre, selon Schorsch (2000), la formulation est « la science des mélanges ». En effet, une formule est en effet basée sur des matières principales et d'autres auxiliaires. Les travaux précédents dans ce mémoire ont permis d'analyser l'impact de deux procédés de transformation (le décorticage et la torréfaction) sur la composition biochimique de la graine de sésame. Dans ce chapitre, nous cherchons à présenter une étude sensorielle qui vise la caractérisation de quelques produits formulés à base des graines de sésame transformées.

1 Test descriptif

Pour classer les produits formulés, en se basant sur l'intensité des descripteurs générés, une analyse sensorielle a été réalisée. Ainsi, le profil sensoriel est présenté dans la figure 71. Les descripteurs salé, acide, lisse et nappant ne sont pas considérés comme significativement différents ($p > 0,05$), sauf pour le cas du produit « F » qui avait une note différente pour le descripteur « lisse ». Par contre une différence significative a été marquée chez les autres descripteurs, et ce pour tous les produits. D'ailleurs, la pâte brute du sésame a été décrite par la saveur amère et astringente. A l'inverse, les descripteurs liés à la saveur sucrée et l'aspect épais sont intenses dans les produits additionnés du miel et du sirop des dattes, notamment avec le niveau 10%.

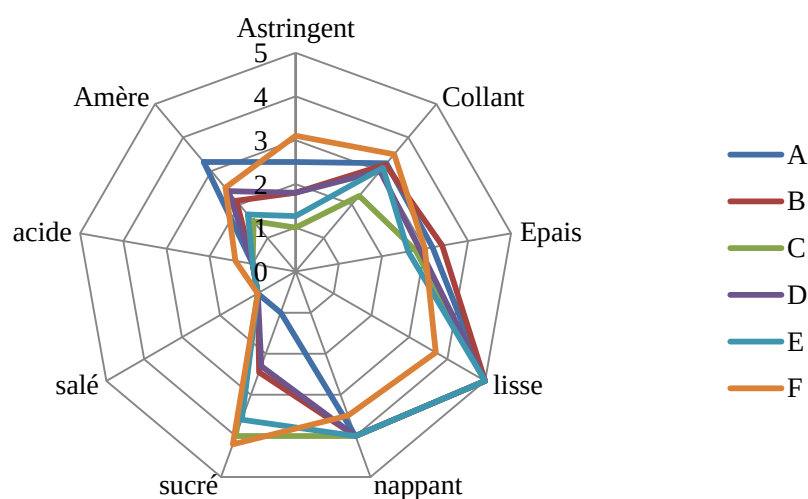


Figure 71: Représentation en radar de l'intensité moyenne pour chaque descripteur

La corrélation entre les différentes notes affectées à chaque descripteur a été analysée. Les coefficients de Pearson (r) sont rapportés dans le tableau 30. Ainsi, les descripteurs astringent-salé, astringent- amère et collant-nappant sont fortement corrélés (coefficients r est égal à 0,96, 0,98 et 0,97 respectivement). Egalement, il existe peu de corrélation significative entre les descripteurs astringent-épais, collant-amère, nappant-amère, acide-amère ($r= 0,68$, $r=0,64$, $r=0,71$ et $r=0,66$ respectivement). En revanche, une corrélation significativement négative a été enregistrée entre les descripteurs astringent-sucré, sucré-salé et sucré-amère ($r=-0,98$, $r= -0,92$ et $r= -0,97$ respectivement).

Tableau 31: Résultats des corrélations de Pearson entre les descripteurs étudiés

	<i>Astringent</i>	<i>Collant</i>	<i>Epais</i>	<i>lisse</i>	<i>nappant</i>	<i>sucré</i>	<i>salé</i>	<i>acide</i>	<i>Amère</i>
<i>Astringent</i>	1,00								
<i>Collant</i>	0,63	1,00							
<i>Epais</i>	0,68	0,42	1,00						
<i>lisse</i>	-0,49	0,27	-0,36	1,00					
<i>nappant</i>	0,67	0,97	0,30	0,24	1,00				
<i>sucré</i>	-0,98	-0,75	-0,68	0,33	-0,78	1,00			
<i>salé</i>	0,96	0,57	0,56	-0,62	0,62	-0,92	1,00		
<i>acide</i>	0,56	0,11	-0,05	-0,30	0,31	-0,53	0,54	1,00	
<i>Amère</i>	0,98	0,64	0,55	-0,46	0,71	-0,97	0,97	0,66	1

2 Test d'acceptabilité

Pour bien comprendre les paramètres sensorielles qui motivent la préférence des consommateurs pour choisir un produit qu'autre, une cartographie des préférences est utilisée (Naes et Risvik, 1996). D'après la présentation graphique (figure 72), le panel s'accorde pour souligner une couleur très appréciable pour les cinq produits testés. Il apprécie particulièrement la saveur et la texture du produit C. En revanche, tous les produits sont décrits par une odeur appréciable marquée par d'importantes notes moyennes, toutefois une diminution a été enregistrée pour le produit F. En termes d'appréciation générale, le produit additionné du miel à 10% est très apprécié par rapport aux autres produits. Ainsi, On peut déduire que le gout sucré est un facteur qui favorise la préférence des produits proposés.

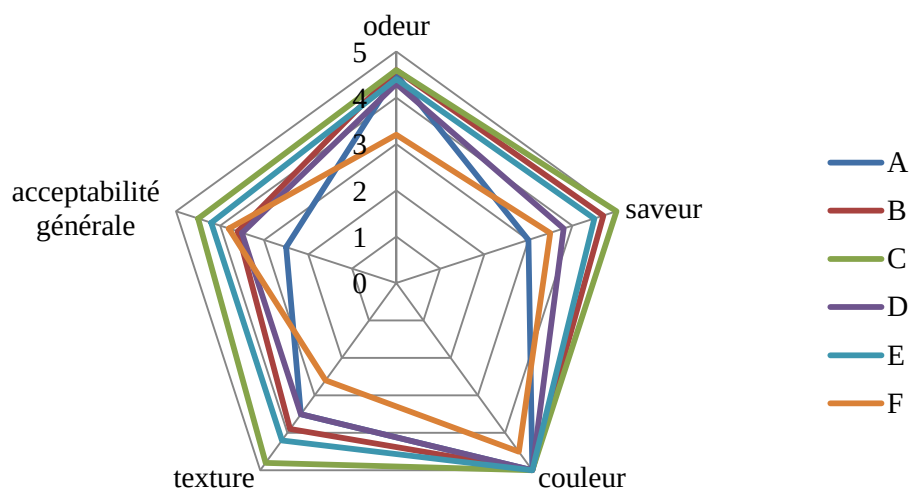


Figure 72: Profil sensoriel pour chaque produit testé

3 Test de stabilité

3.1 Contrôle organoleptique

Pour tester la stabilité organoleptique pendant la période d'essai de différents produits préparés, nous avons surveillé la couleur, l'odeur et la texture. D'ailleurs, la stabilité a été remarquable, puisqu'il n'y avait aucun changement dans ces caractères organoleptiques, sauf pour le produit constitué de la pâte brute de sésame qui a été légèrement biphasée, en effet la fraction huileuse avait tendance à flotter vers le haut.

3.2 Contrôle microbiologique

Un produit alimentaire doit représenter une stricte qualité microbiologique au cours de sa chaîne de transformation jusqu'à son arrivée au consommateur. Dans notre cas, un contrôle *in vitro* a été réalisé à différentes températures de 37 ± 2 °C, 25 ± 2 °C et 4 ± 2 °C et a montré d'ailleurs une bonne qualité microbiologique de tous les produits testés. Par ailleurs le dénombrement de bactéries et des champignons n'a pas été trouvé au-delà des recommandations de la norme NF ISO 4833:2003.

Discussion

L'analyse sensorielle est l'une des outils qui permet de dégager les caractéristiques des produits en se basant sur les préférences d'un jury entraîné sur plusieurs descripteurs (Husson *et al.*, 2009). Le but de cette partie de thèse est de proposer une formulation alimentaire à base de sésame, riche de point de vue nutritionnel et acceptable de point de vue sensoriel, afin

d'encourager la consommation de ces graines réputées pour leurs atouts nutritionnels. Pour ce faire, nous avons choisi des ingrédients ordinaires, qui engendrent un sentiment de familiarité chez le consommateur marocain pour favoriser l'acceptation du produit final, à savoir : le miel et les dattes. Par ailleurs, on s'est servi d'un groupe volontaire de panelistes pour la réalisation des tests de dégustation qui permettent d'identifier certaines spécificités des produits étudiés. L'objectif réside dans l'élaboration d'une carte sensorielle au moyen de descripteurs spécifiques basés sur la norme NF ISO 13299.

D'après les résultats, la pâte brute de sésame a enregistré les notes les plus élevées des descripteurs « astringent » et « amère ». Après l'ajustement avec du miel ou sirop des dattes, ces notes ont été diminuées avec une augmentation de la note accordée au descripteur « sucré ». D'après Kudou et al. (1991), les isoflavones sont parmi les composés responsables de l'amertume des graines oléagineuses. Alpaslan et Hayta (2002) ont aussi rapporté l'effet positif de l'ajout d'un édulcorant sur l'acceptabilité globale de la pâte de sésame. D'autre part, la corrélation négative montrée dans nos résultats entre l'amertume et la saveur sucrée pourrait être expliquée par la confusion des consommateurs entre l'amertume et l'insuffisance de la saveur sucrée. Par ailleurs, dans une étude réalisée par Namiki (1995), plusieurs composés olfactifs ont été trouvés responsables de la saveur qui caractérise les graines de sésame, comme par exemple 2-furfurylthiol, 2-methoxyphenol et 2-phenylethylthiol. Toutefois, les travaux effectués par Schieberle (1996) ont montré la présence de plus de 41 composés volatils responsables de l'odeur ressentie dans les graines de sésame torréfiées. Schiffman et al. (1998) ont soulevé la possibilité d'existence d'un récepteur capable de détecter le caractère gras des aliments. A ce titre, plusieurs auteurs proposent des phénomènes d'interaction entre la texture, la saveur, l'odorat et la couleur. Selon Baines et Morris (1987), la viscosité des produits gras peut influencer la perception sucrée. Cook et ses collaborateurs (2003) expliquent également le rôle de la texture sur la perception des saveurs en général. Holley, dans son livre « Le cerveau gourmand », rapporte que les composants alimentaires volatils migrent directement vers l'épithélium sensoriel de la cavité nasale pour réagir avec les récepteurs olfactifs. Selon lui, l'odorat contribue avec 70% dans l'identification des aliments (Holley, 2006). Par contre, certains auteurs se contentent de proposer que les considérations socio-culturelles sont parmi les facteurs qui influencent la préférence alimentaire (Rozin, 1988 ; Wansink, 2002).

La stabilité des produits formulés est un critère très important sur lequel l'industrie alimentaire se base pour commercialiser ses produits. Durant cette étude, tous les produits

formulés ont montré une stabilité organoleptique sauf la pâte brute de sésame où l'huile a migré vers le haut suite au phénomène de décantation. En revanche, la stabilité des produits formulés à base du miel, sirop des dattes ou encore la pâte des dattes peut être due au caractère émulsifiant des sucres et des fibres qui composent ces additifs. Cela rejoint les résultats rapportés dans la revue bibliographique (Maskan *et al.*, 2000 ; Alpaslan et Hayta, 2002 ; Akbulut *et al.*, 2008).

D'autre part, l'effet relatif à la stabilité microbiologique durant la période d'essai peut être lié à la diversité des graines de sésame par rapport aux composés polyphénoliques, comme ça était montré dans cette même étude, ou encore sa richesse en d'autres composés doués d'activités biologiques comme les lignanes (Hemalatha *et al.*, 2004).

Certes, le niveau d'acceptabilité diffère d'un consommateur à autre, selon plusieurs facteurs. Cela reste une question de goût ! En perspectives, il serait nécessaire de confronter d'autres approches olfactives, dégustatives et physiologiques pour découvrir plus de détails relatifs aux caractères organoleptiques de ces produits. De même, il serait intéressant d'étaler la gamme des sujets panelistes en intégrant des enfants et d'élargir la gamme des produits formulés à base de sésame.

CONCLUSION GENERALE ET PERCPECTIVES

Certes, au cours de ce travail plusieurs approches ont été utilisées permettant d'associer des expérimentations culturelles, des dosages biochimiques et des applications thérapeutiques et ce dans une logique de valorisation des graines de sésame "du champ à l'assiette".

Pratiquement, on a commencé notre étude par la réalisation d'une enquête auprès des agriculteurs de la région de Bénimelal-Khénifra, avec un but de comprendre et s'appropriier le contexte de la culture du sésame et de déterminer l'ensemble des conditions agro-environnementales qui favorisent le développement de cette plante, considérée d'ailleurs comme une culture spécifique de cette région. Le modèle agricole conçu à partir de cette enquête nous a permis d'avoir un « background » pour performer les futurs essais qui se sont déroulés soit en milieu naturel soit en milieu contrôlé.

D'autre part, il est connu que l'absorption de l'eau est un facteur déterminant qui agit directement sur la germination des semences. Ainsi, afin d'estimer la réponse des graines de sésame envers différents niveaux d'eau pendant la phase de germination, une expérimentation sous contrainte hydrique a été menée. Par la suite, le taux de germination, la moyenne journalière de germination, le temps à 50% de germination et le poids sec des graines germées

ont été tous évalués. L'analyse de la variance n'a pas montré de différence significative entre les graines soumises à des conditions hydriques non limitantes (témoin) et celles germées dans des conditions de déficit hydrique faible et modéré (-0,1 et -1MPa). Par contre, un stress hydrique accentué (-1,6MPa) a montré un effet significatif sur les paramètres de germination étudiés.

De plus, la nutrition azotée est parmi les facteurs limitant la croissance des plantes. Cependant, une utilisation non contrôlée des doses apportées pour le réajustement des sols peut causer des effets néfastes pour les systèmes écologiques avec ses différentes composantes. Afin de contribuer à une rationalisation de la fertilisation de la plante étudiée, une expérience a été menée dans différentes conditions expérimentales, en utilisant plusieurs niveaux de fertilisant azoté (Urée). Les paramètres de croissance, la composition biochimique et l'activité antioxydante ont été évalués. Ainsi, la fertilisation a permis d'augmenter la longueur des plantes, le nombre de capsules par plante, la longueur des capsules, le nombre de grains par capsule et le poids de 1000 grains. De plus, en termes de qualité biochimique, les taux d'azote élevés ont favorisé l'accumulation des protéines au détriment de la teneur en huile et en sucres. La fertilisation azotée a également perturbé l'absorption de tous les nutriments étudiés, la production des polyphénols totaux et des flavonoïdes ainsi que le pouvoir antioxydant.

En outre, cette thèse a présenté une opportunité pour mettre la lumière sur les procédés de transformation des graines de sésame. Par ailleurs, deux étapes de la chaîne de production ont été étudiées : le décorticage et la torréfaction. Il ressort des résultats de la première étape que le profil biochimique des graines décortiquées s'est montré majoritairement concentré en sucres solubles totaux, en protéines et en huile. Contrairement aux minéraux qui ont été retrouvés répartis entre la fraction interne (cotylédone) et externe (tégument). De plus, l'extrait hydro-méthanolique du tégument s'est montré riche en polyphénols totaux et flavonoïdes et a enregistré des capacités biologiques intéressantes. En effet, des résultats significatifs ont été obtenus pour le piégeage du radical libre DPPH, l'activité antioxydante totale, l'activité anti-inflammatoire et l'activité cicatrisante.

Durant la deuxième étape de transformation, on a mis l'accent sur l'effet de différents niveaux de torréfaction sur la qualité de la graine de sésame. Ainsi, il semble se dégager d'importants résultats relatifs à l'effet du temps et de la température sur la composition biochimique des graines décortiquées. En effet, parmi toutes les combinaisons utilisées, le couple (140°C/40min) semble présenter le meilleur choix pour augmenter la qualité nutritive

des graines de sésame, en effet la teneur en protéines, en huile, en sucres, en polyphénols et en flavonoïdes a été augmentée de 27,95% , 10,3% , 29,62% , 7,89% et 13,56% respectivement. Ce choix a été validé également par le test de dégustation où tous les enquêtés ont opté pour le même couple (temps/température).

Finalement, une dernière partie qui vise étudier les voies de valorisation des graines de sésame nous a paru nécessaire pour compléter les résultats trouvés dans les autres axes.

Par ailleurs, une caractérisation sensorielle nous a permis de caractériser différents produits formulés à base de sésame. Ainsi, une purée brute de sésame ajustée avec du miel à 10% a enregistré les notes des descripteurs les plus élevées. A ce titre, les produits préparés peuvent être très intéressants, de point de vue nutritionnel, sur le plan commercial.

Les résultats de ce travail ont permis de révéler les atouts nutritionnels et thérapeutiques du *Sesamum indicum*. En perspectives, il serait intéressant :

- De valider les résultats relatifs liés à l'effet de la fertilisation azotée en utilisant un modèle culturale basé sur des interactions génotype* conduite culturale, et réfléchir à d'autres alternatives de fertilisation, notamment la bio-fertilisation.
- D'étendre l'éventail des groupes de molécules naturelles douées d'activités biologiques afin de contribuer à la découverte de nouveaux composés bioactifs d'intérêt.
- D'élargir l'étude sur la transformation des graines de sésame en intégrant d'autres procédés, et d'autres indicateurs de qualité organoleptique et nutritive.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- Abaza, L., Msallem, M., Daoud, D., Zarrouk, M. 2002.** Caractérisation des huiles de sept variétés d'olivier tunisiennes. OCL. 9(2): 174-179.
- Abrol, Y. P., Chatterjee, S. R., Kumar, P. A., & Jain, V. 1999.** Improvement in nitrogen use efficiency: physiological and molecular approaches. Current Science-Bangalore. 76: 1357-1364.
- Abushouk, A. I., Abdo Salem, A. M., Abdel-Daim, M. M. 2017.** Berberis vulgaris for cardiovascular disorders: A scoping literature review. Iran J Basic Med Sci. 20: 503-510.
- Achouri, A., Nail, V., & Boye, J. I. 2012.** Sesame protein isolate: Fractionation, secondary structure and functional properties. Food research international. 46(1): 360-369.
- Aguirrezabal, L., Lavaud, Y., Dosio, G. A. A., Izquierdo, N. G., Andrade, F. H., et Gonzalez. L. M. 2003.** Intercepted solar radiation during seed filling determines sunflower weight per seed and oil concentration. Crop Science. 43:1, 152-161.
- Ahmadian-Kouchaksaraei, Z., Varidi, M., Varidi, M. J., & Pourazarang, H. 2014.** Influence of processing conditions on the physicochemical and sensory properties of sesame milk: A novel nutritional beverage. LWT-Food Science and Technology. 57(1): 299-305.
- Akbulut, M., Coklar, H., Ozen, G. 2008.** Rheological characteristics of Juniperus drupacea fruit juice (pekmez) concentrated by boiling. Food Science and Technology International. 14(4): 321–328.
- Akkol, E. K., Süntar, I., Keleş, H., Sezik, E., & Gürler, G. 2015.** Bioassay-Guided Isolation and Characterization of Wound Healer Compounds from Morus nigra L.(Moraceae). Records of Natural Products. 9(4).
- Alkurd A., Hamed TR., Al-Sayyed H. 2008.** Tanins Contents of Selected Plants Used in Jordan. Jordan Journal of Agricultural Sciences. 4: 265 - 274.
- Allen, V., Barker, G., Bryson, M. 2007.** Handbook of Plant Nutrition. CRC Press, Taylor and Francis Group, New York. 183-238.

Almeida, G., Brito, J. O., & Perré, P. 2010. Alterations in energy properties of eucalyptus wood and bark subjected to torrefaction: the potential of mass loss as a synthetic indicator. *Bioresource technology*. 101(24): 9778-9784.

Alpaslan, M., Hayta, M. 2002. Rheological and sensory properties of pekmez (grape molasses)/ tahin (sesame paste) blends. *Journal of Food Engineering*. 54(1) : 89–93.

Ammar, I., Bardaa, S., Mzid, M., Sahnoun, Z., Rebaii, T., Attia, H., & Ennouri, M. 2015. Antioxidant, antibacterial and in vivo dermal wound healing effects of *Opuntia* flower extracts. *International journal of biological macromolecules*. 81: 483-490.

Amorati, R., Foti, M. C., Valgimigli, L. 2013. Antioxidant activity of essential oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61: 10835–10847.

Andrews, M. 1986. The partitioning of nitrate assimilation between root and shoot of higher plants. *Plant Cell Environ*. 9: 511-519.

B

Baines, Z. V., Morris, E. R. 1987. Flavour/taste perception in thickened systems: the effect of guar gum Columbia. *Review of Agricultural Economics*. 24: 353-365.

Baker, C. J. L. 1954. The determination of oxalates in fresh plant materials. *Analyst*. 77: 340–344.

Balasundram , N., Sundram , K., Samman, S. 2006. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food chem*. 99(1): 191-203.

Banchereau, J., Briere, F., Caux, C., Davoust, J., Lebecque, S., Liu, Y.J., Pulendran, B., Palucka, K. 2000. Immunobiology of dendritic cells. *Annu Rev Immunol*. 18 : 767-811.
Marieb, E.N. 2008. *Biologie humaine : principes d'anatomie et de physiologie*. 8^{ème} édition (Traduit par René Lachaine). ERPI éditions. 631.

Bange, M. P., Hammer, G. L., Rickert, K. G. 1997. Environmental control of potential yield of sunflower in the subtropics. *Australian Journal of Agricultural Research*. 48(2) :231-240.

- Barthes, L., deleens, E., bousser, A., Hoarau, J., prioul, J. L.** 1996. Nitrate use and xylem exudation in detopped wheat seedlings an early diagnosis for predicting difference varietal in nitrogen utilisation. *Ast J plant physiol.* 23: 33 44
- Bedigian, D.,** Harlan J.R. 1986. Evidence for cultivation of sesame in the Ancient World. *Econ. Bot.*, 40(2): 137–54.
- Benbrook, C.M.** 2005. Accroître la teneur en antioxydants des aliments grâce à l’agriculture et à la transformation alimentaire biologiques. Rapport sur l’état des connaissances scientifiques. The Organic Center for Education and Promotion. 45.
- Benjelloun, M., Rais, C., Wahid, N., EL Ghadraoui, L., Mhamdi, M. A.** 2013. Evaluation de la tolérance de *Myrtus communis* L. au stress hydrique au stade germinatif. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie.* 35 : 19-26.
- Bessout, R.** 2012. Traitement des lésions colorectales radio-induites par injection de Cellules Stromales Mésenchymateuses (CSM) : Implication du processus inflammatoire.
- Blanchet, R., Gelfi, N., Dufourcq, D., Hernandez, M., et Decau, J.** 1986. Nitrogen nutrition and yield production in sunflowers (*Helianthus annuus* L.). *Agrochimica.* 30 (6): 481-489.
- Boiteau. P., Boiteau. M., Allorge. L.** 1999. Dictionnaire des noms malgaches des végétaux. Paris: Alzieu. 4 : 338.
- Bossokpi, I.P.L.** 2002. Etude des activités biologiques de *Fagara xanthoxyloides* LAM (Rutaceae). Thèse de pharmacie, Bamako. 133.
- Botia, P., Carvajal, M., Cerda, A., Martinez, V.** 1998. Response of eight *Cucumis melo* cultivars to salinity during germination and early vegetative growth, *Agronomie*, 18: 503-513.
- Brentrup, F., Lammel. J.** 2011. LCA to assess the environmental impact of different fertilisers and agricultural systems. *Proceedings of the International Fertiliser Society*, Colchester, U.K. 687
- Brito, O. J. and NÚÑEZ, N.** 1910. Evaluation of sesame flour as a complementary protein source for combinations with soy and corn flours. *Journal of Food Science.* 47(2): 457-460.

Bruneton, J. 1993. Composés phénoliques: Shikimate-acétates. In: "Pharmacognosie: Phytochimie; Plantes médicinales". Technique et Documentation- Lavoisier (Paris). Chap.3. 199-383.

Bruneton, J. 1999. Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes Médicinales. 3e édition, Technique & Documentation, Paris, pp. 274, 654-655.

Bruneton, J. 2009. Pharmacognosie-Phytochimie, plantes médicinales. 4ème édition. Paris: Edition Tec & Doc. Edition médicales internationales. 1292.

Buckholz, J.R, L. L., Daun, H., Stier, E., & Trout, R. 1980. Influence of roasting time on sensory attributes of fresh roasted peanuts. Journal of Food Science. 45(3): 547-554.

C

Cassman, K. G., Kerby, T. A., Roberts, B. A., Bryant, D. C., Brouder, S. M. 1989. Differential response of two cotton cultivars to fertilizer and soil potassium. Agronomy Journal. 81: 870-876.

Cassman, K. G., Dobermann, A., & Walters, D. T. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. AMBIO: A Journal of the Human Environment. 31(2) : 132-141.

Catala, M., André, J.-M., Katsanis, G., Poirier J. 2007. La peau et les phanères. In : Histologie : organes, systèmes et appareils. Cours niveau PCEM2 - DCEM1, Service d’Histologie – Embryologie. Faculté de médecine Pierre et Marie Curie, France.59-73.

Chang, L. W, Yen, W. J, Huang, S. C, Duh, P. D. 2002. Antioxidant activity of sesame coat. Food chem. 78(3): 347-354.

Charles, N.S., Peter, A.W., Derek, W.G. 2010. Fundamentals of Inflammation. Cambridge University Press. 2-3.

Chavali, S.R., T. Utsunomiya, R.A. Forse. 2001. Increased survival after cecalligation and puncture in mice consuming diets enriched with sesame seed oil. Crit Care Med. 29(1):140-3.

Cheema M. A., M. A. Malik, A. Hussain, S. H. Shah, S. M. A. Basra. 2001. Effects of time and rate of nitrogen and phosphorus application on the growth and the seed and oil yields of canola (*Brassica napus* L.). Journal of Agronomy and Crop Science. 186 (2): 103-110.

Chen, J., Huang, Y., Caldwell, R. D. 2001. Best management practices for minimizing nitrate leaching from container-grown nurseries. *The Scientific World Journal*. 1: 96-102.

Chung, K. T., Wei, C.I., Johnson, M.G. 1998. Are tanins a double-edged sword in biology and health. *Trends Food Sci. Techn.* 9: 168-175.

Ciampitti, I. A., Vyn, T. J. 2011. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. *Field Crops Res.* 121: 2-18.

Côme. D., Corbineau F. 1998. Semences et germination. In: *Physiologie végétale II: Croissance et développement*, ed.Hermann and P.Mazliak. 185-313.

Conrad, J., Vogler, B., Klaiber, I., Roos, G., Walter, U., Kraus, W. 1998. Two triterpene esters from *Terminalia macroptera* bark. *Phytochemistry*. 48: 647 - 650.

Cook, D. J., Hollowood, T. A., Linfoth, R. S., & Taylor, A. J. 2003. Oral shear stress predicts flavour perception in viscous solutions. *Chemical Senses*. 28(1), 11-23.

Cooney R. V., Custer L. J., Okinaka L., Frunk A. A. 2001. Effects of dietary seeds on plasma tocopherol levels. *Nutr Cancer*. 39: 66-71

Cox, G. M., Mukherjee. J., Cole, G. T., Casadevall. A., Perfect, J. R. 2000. Urease as a virulence factor in experimental cryptococcosis. *Infection and Immunity*. 68 : 443-448.

Crickx, B. 2005. Histologie et histophysiologie de la peau et de ses annexes. In *comprendre la peau*. *Ann Dermatol Venereol*. 132: 8S5 – 48.

Czerny, M., Mayer, F., Grosch, W. 1999. Sensory study on the character impact odorants of roasted *Arabica* coffee. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47: 695-699.

D

Das, N.P, Pereira, T. A. 1990. Effects of flavonoids on thermal autoxidation of palm oil: structure-activity relationships. *J Am Oil Chem Soc*. 67(4): 255-258.

Debete, J. M. 2005. Etude phytochimique et pharmacologique de *Cassia nigricans Vahl* (Caesalpiniaceae) utilisé dans le traitement des dermatoses au Tchad. Thèse de doctorat de l'université de Bamako. 136-140.

Desmoulière, A. 1995. Factors influencing myofibroblast differentiation during wound healing and fibrosis. *Cell Biology International*. 19:471-476.

Di Carlo, G., Mascolo, N., Izzo, A. A., Capasso, F. 1999. Flavonoids: Old and New Aspects of Class of Natural Therapeutic Drugs. *Life Sci.* 65 (4) : 337-353.

Diallo, A. 2005. Etude de la phytochimie et des activités biologiques de *Syzygium guineense* WILLD.(MYRTACEAE). Thèse de Doctorat en Pharmacie. Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie de Bamako, Mali.

Dohou, N., Yamni, K., Tahrouch, S., Idrissi Hassani, L. M., Badoc, A., Gmira, N. 2003. Screening phytochimique d'une endémique Ibéro-Marocaine, *Thymelaea lythroides*. *Bull. Soc. Pharm. Bordeaux*. 142 : 61–78.

Dordas, C., Sioulas, C. 2009. Dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and retranslocation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as affected by nitrogen fertilization. *Field Crops Res.* 110: 35–43.

Dosio, G. A. A., Aguirrezabal, L. A. N., Andrade, F. H., et Pereyra V. R. 2000. Solar Radiation Intercepted during Seed Filling and Oil Production in Two Sunflower Hybrids. *Crop Science*. 40: 1637-1644.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*. 28(3) : 350-356.

Dupond, J. 2003. Inflammation et anti-inflammatoires : pour la pratique. *Rev Prat*. 53: 520-2.

Důračková, Z. 2008. Oxidants, antioxidants and oxidative stress. In: *Mitochondrial medicine*. Springer Science and Business Media. 19-54

E

Eisenbeiß, W., Marotz, J., & Schrade, J. P. 1999. Reflection-optical multispectral imaging method for objective determination of burn depth. *Burns*. 25(8), 697-704.

El-Adawy, T.A, Mansour, E.H. 2000. Nutritional and physicochemical evaluations of tahina (sesame butter) prepared from heat-treatment sesame seeds. *Journal Sci Food Agri*. 80(14): 2005-2011.

Elicoh-Middleton, J., Chithan, K., Theoharis, C. 2000. Effect of plant flavonoids on mammalian cells: implications for inflammation, heart diseases and cancer. *Pharmacology and Experimental therapeutics*. 4(52): 673-751.

Elleuch, M., Besbes, S., Roiseux, O., Blecker, C., Attia, H. 2007. Quality characteristics of sesame seeds and by-products. *Food chem*. 103(2): 641-650.

Evans, J. R. 1983. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiol*. 72: 297–302

E

Fagnäs, L., Brammer, J., Wilén, C., Lauer, M., & Verhoeff, F. 2010. Drying of biomass for second generation synfuel production. *Biomass and Bioenergy*. 34(9): 1267-1277.

FAO. 2012. Current world fertilizer trends and outlook to 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Ferraq, Y. 2007. Développement d'un modèle de cicatrisation épidermique après une désépidermisation laser. Thèse pour obtenir le grade de docteur en ingénierie médicale et biologique. Université Toulouse III (France). 153.

Forde, B. G., & Clarkson, D. T. 1999. Nitrate and ammonium nutrition of plants: physiological and molecular perspectives. In *Advances in botanical research*. 30: 1-90. Academic Press.

Forde, B.G. 2000. Nitrate transporters in plants: structure, function and regulation. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1465 : 219-235.

Forkmann, G., Martens, S. 2001. Metabolic engineering and applications of flavonoids. *Current Opinions in Biotechnology*. 12 :155–160.

Frankel, E. N. 1980. Lipid Oxidation. *Progress in lipid research*. 19:1-22.

Frankel, E. N. 1983. Volatile lipid oxidation products. *Progress in lipid research*. 22, 1-23.

Frankel, E. N. 1984. Chemistry of free radical and singlet oxidation of lipids. *Progress in lipid research*. 23(4):197-221.

Fujikawa, T., Kanada, N., Shimada, A., Ogata, M., Suzuki, I., Hayashi, I., & Nakashima, K. 2005. Effect of Sesamin in *Acanthopanax senticosus* H ARMS on Behavioral Dysfunction in Rotenone-Induced Parkinsonian Rats. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*. 28(1), 169-172.

Fukuda, Y., Osawa, T., Kawakishi, S., Namiki, M. 1988. Oxidative stability of foods fried with sesame oil. *Nippon Shokuhin kagaku kogaku Naishi*. 35 : 25-32.

G

Gaouji, A. 1999. Contribution à l'amélioration de la productivité et de la qualité technologique de la betterave sucrière du Tadla. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences Semlalia

Gazzarini, S., Lejay, L., Gojon, A., Ninnemann, O., Frommer, W-B. 1999. Three functional transporters for constitutive, diurnally regulated and starvation-induced uptake of ammonium into *Arabidopsis* roots. *Plant Cell*. 11: 937-947.

Geronikaki, A. A., Gavalas, A. M. 2006. Antioxidants and anti-inflammatory diseases: synthetic and natural antioxidants with anti-inflammatory activity. *Comb. Chem. High Throughput Screen*. 9(4): 425–442.

Ghezzi, P., Bonetto, V., & Fratelli, M. 2005. Thiol–disulfide balance: from the concept of oxidative stress to that of redox regulation. *Antioxidants & redox signaling*. 7(7-8), 964-972.

Gill, P. K., Sharma, A. D., Singh, P., Bhullar, S. S. 2001. Effect of various abiotic stresses on the growth, soluble sugars and water relations of sorghum seedlings grown in light and darkness. *Bulg. Journal of Plant Physiology* .27: 72–84.

Glass, A. D. M., Siddiqi, M. Y. 1995. Nitrogen Absorption by Plant Roots; In H. S. Srivastava and R. P. Singh (ed.): *Nitrogen Nutrition in Higher Plants*. Associated Pub. Co. New Delhi. 21-56.

Glibert P-M., Harrisson J., Heil C., Seizinger S. 2006. Escalating worldwide use of urea, a global change contributing to coastal eutrophication. *Biogeochemistry*. 77:441-463.

Gopinath, D., Ahmed, M. R., Gomathi, K., Chitra, K., Sehgal, P. K., & Jayakumar, R. 2004. Dermal wound healing processes with curcumin incorporated collagen films. *Biomaterials*. 25(10): 1911-1917.

Guerra, M. J, Jalf, W. G and Sangronis, E. 1984. Recovery of protein fractions from commercial sesame seed cake, J. Nutr. 34: 477–81.

Guthrie, N., Gapor, A., Chambers, A. F., Carroll, K. K. 1997. Inhibition of proliferation of estrogen receptor-negative MDA-MB-435 and -positive MCF-7 human breast cancer cells by palm oil tocotrienols and tamoxifen, alone and in combination. The Journal of Nutrition. 127(3): 544S.

H

Hagerman AE., Riedl KM., Alexander JG., Sovik KN., Ritchard NT., Hartzfeld PW., and Riechel TL. 1998. High Molecular Weight Plant Polyphenolics (Tannins) as Biological Antioxidants. J. Agric. Food Chem. 46 (5): 1887–1892.

Halliwell, B., Gutteridge. J. M. 1984. Lipid peroxidation, oxygen radicals, cell damage, and antioxidant therapy. Lancet. 1:1396-1397.

Halliwell, B., Gutteridge, J. M. 1995. The definition and measurement of antioxidants in biological systems. Free Radic Biol Med. 18:125-126.

Hamdi Pacha, Y., Belkhiri, A., Benazzouz, M., Benhamza, L., & Bensegueni, L. 2002. Evaluation de l'activité cicatrisante suite à des brûlures expérimentales de quelques plantes algériennes. Revue Méd. Pharm. Afri. 16, 1-7.

Han, A. R., Kim, H. J., Shin, M., Hong, M., Kim, Y. S., & Bae, H. 2008. Constituents of *Asarum sieboldii* with inhibitory activity on lipopolysaccharide (LPS)-induced NO production in BV-2 microglial cells. Chemistry & biodiversity. 5(2): 346-351.

Hasan A. F., Furumoto T., Begum S., Fukui H. 2001. Hydroxysesamone and 2,3 epoxysesamone from roots of *Sesamum indicum*. Photochem. 58(8): 1225-1228

Hashim, L., Chaveron, H. 1996. Use of methylpyrazine ratios to monitor the coffee roasting. Food Research International. 28: 619-623.

Hassanzadeh, M., Ebadi, A., Panahyan-e-Kivi, I.M, Jarnaati-e-Somarin, S.H, Saeidi M, Gholipouri. A. 2009. Investigation of Water Stress on Yield and Yield Components of Sesame (*Sesamum indicum* L.) in Moghan Region. Research Journal of Environmental Sciences. 3 (2): 239-244.

Hé, D. 2006. Bilan des connaissances actuelles sur la cicatrisation des plaies cutanées chez le chien et le chat. Thèse pour obtenir le grade de docteur vétérinaire. Université Paul-Sabatier de Toulouse (France). 221.

Heller R, R. Esnault & C. Lance, 1990. Abrégés de physiologie végétale. Masson, Paris, 2, 266 p.

Hemalatha, S., M. 2004. Raghunath, and Ghafoorunissa, Dietary sesame oils inhibits iron-induced oxidative stress in rats. correctedj. Br J Nutr., 92(4): 581-7.

Henzen, C. 2003. Traitement aux glucocorticoïdes: risques et effets secondaires. Forum médical suisse. 19: 442-446.

Hernandez, Pérez, J. A. 2002. Etude de la torréfaction: modélisation et détermination du degré de torréfaction du café en temps réel. Thèse de doctorat. École nationale supérieure des industries agricoles et alimentaires (Massy, Essonne). Nancy.

Hirano, T., Saito, Y., Ushimaru, H, Michiyama, H. 2005. The effect of the amount of nitrogen fertilizer on starch metabolism in leaf sheath of Japonica and Indica rice varieties during the heading period. Plant Prod. Sci. 8: 122–130

Hirata F., Fujita K., Ishikura Y. 1996. Hypocholesterolemic effect of sesame lignan in humans. Atheroscler. 122(1): 135-36

Hirayama, C., M. Sugimura, M., Saito, H. 2000. Purification and properties of urease from the leaf of mulberry, *Morus alba*. Phytochemistry. 53, 325-330.

Hirose, N., Inoue, T., Nishihara, K., Sugano, M., Akimoto, K., Shimizu, S. 1991. Inhibition of cholesterol absorption and synthesis in rats by sesamin. J Lipid Res. 32:629- 38.

Hitchon, C.A., El-Gabalawy, H.S. 2004. Oxidation in rheumatoid arthritis, Arthritis Res. Ther. 6: 265e278.

Hocking, P. J, Pinkerton, A. 1991. Response of growth and yield components of linseed to the onset or relief of nitrogen stress at several stages of crop development. Field Crops Res. 27: 83–102.

Holley, A. 2006. Le cerveau gourmand. Ed. Odile Jacob.

Hou, R. C. W., Huang, H. M., Tzen, J. T., & Jeng, K. C. G. 2003. Protective effects of sesamin and sesamol on hypoxic neuronal and PC12 cells. *Journal of neuroscience research*. 74(1) : 123-133.

Houessou, J. K. (2007). Les hydrocarbures aromatiques polycycliques dans le café: mise au point de méthodes analytiques et étude de l'étape de torréfaction. Thèse de doctorat , AgroParisTech, Paris).

Hsu, D. Z., & Liu, M. Y. 2002. Sesame oil attenuates multiple organ failure and increases survival rate during endotoxemia in rats. *Critical care medicine*. 30(8): 1859-1862.

Huang, M. T., Ho, C. T., Lee, C. Y. 1992. (Eds). Phenolic compounds in foods and their effects on human health. II: Antioxidants and cancer prevention. American Chemical Society, Washington DC. ACS Symposium Series. 507.

Husson, F., Pagès, J. 2009. Senso Miner dans Evaluation sensorielle – Manuel méthodologique, 3ème éd. Lavoisier. 23:16

I

Iqbal, S, Bhanger, M. I., Anwar, F. 2005. Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan. *Food Chemistry*. 93: 265-272.

Ishii, Y., & Takiyama, K. 1994. Extraction of calcium, oxalate and calcium oxalate crystals from sesame seeds. *Bunseki Kagaku-Japan Analyst*. 43(2) : 151-156.

J

Jacques, B., and André, R. 2004. Biochimie métabolique Ed ellipses .Paris: 217-219- 220-223-225.

Jean, B. 2009. Séméiologie clinique. Elsevier Masson. 8ème Edition.430-43

Jeng, K.C., Hou, R.C. 2005. Sesamin and sesamol: Nature's therapeutic ligands, *Curr Enzyme Inhib*. 1: 11–20.

Jiang, Q., Ames, B. N. 2003. Gamma-tocopherol, but not alpha-tocopherol, decreases proinflammatory eicosanoids and inflammation damage in rats. *The FASEB Journal*. 17(8): 816–822.

Jinap, S., Jamilah, B., & Nazamid, S. 2005. Changes in polyphenol ability to produce astringency during roasting of *cocoa liquor*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 85(6): 917-924.

Jung, Y. D., Ellis L. M. 2001. Inhibition of tumour evasion and angiogenesis by epigallocatechin gallate (EGCG), a major component of green tea. Int. J. Exp. Path. 82, 309-316.

Justes, E., B. Mary, J.-M. Meynard, J.-M. Machet, and L. Thelier-Huche. 1994. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. Ann. Bot. 74:397–407.

K

Kahyaoglu, T., & Kaya, S. 2006. Modeling of moisture, color and texture changes in sesame seeds during the conventional roasting. Journal of Food Engineering. 75(2): 167-177.

Kanitakis, J. 2002. Anatomy, histology and immunohistochemistry of normal human skin. Eur J Dermatol. 12 (4): 390-401.

Karleskind, A. 1992. Manuel des corps gras Tome II, Ed. Tec et doc. Paris. 1(5): 1-1565.

Khalid, E. K, Babiker, E. E, EL Tinay, A.H. 2003. Solubility and functional properties of sesame seed proteins as influenced by pH and/or salt concentration. Food Chemistry. 82: 361–366.

Khidir, M. O. 1997. Oil crop in Sudan. Khartoum University Press.

Kobayashi, T., Kinoshita, M., Hattori, S., Ogawa, T., Tsuboi, Y., Ishida, M., Ogawa, S. Saito, H. 1990. Development of the sesame metallic fuel performance code. Nucl. Technol. 89(2): 183-193.

Koh, E. T. 1987. Comparison of hypolipemic effects of corn oil, sesame oil, and soybean oil in rats. Nutr Rep Int. 36: 903-917.

Kohen, R., Nyska, A. 2002. Oxidation of biological systems: Oxidative stress phenomena, antioxidants, redox reactions and methods for their quantification. Toxicolo Pathol. 30: 620-650.

Kong, A. N., Yu. R., Chen, C., Mandlekar, S., Primiano, T. 2000. Signal transduction events elicited by natural products: role of MAPK and caspase pathways in homeostatic response and induction of apoptosis. *Arch Pharm Res.* 23(1):1-16.

Koornneef, M., Bentsink, L., & Hilhorst, H. 2002. Seed dormancy and germination. *Current opinion in plant biology.* 5(1): 33-36.

Kotak, B. G., Kenefick, S. L., Fritz, D. L., Rousseaux, C. G., Prepas, E. E., Hrudey, S. E. 1993. Occurrence and toxicological evaluation of cyanobacterial toxins in Alberta lakes and farm dugouts. *Water Res.* 27: 495–506.

Kudou, S., Fleury, Y., Welti, D. H., Magnolato, D., Uchida, T., Kitamura, K., Okubo, K. 1991. Malonyl isoflavone molasses/tahin (sesame paste) blends. *Journal of Food Engineering.* 54: 89–93.

Kumar, C. M., Singh, S. A. 2015. Bioactive lignans from sesame (*Sesamum indicum* L.): evaluation of their antioxidant and antibacterial effects for food applications. *Journal of food science and technology.* 52(5): 2934-2941.

L

Lahouel, M., Amedah, S., Zellagui, A., Touil, A., Rhouati, S., Benayache, F., Leghouchi, E., et Bousseboua, H. 2006. The interaction of new plant flavonoids with rat liver mitochondria: relation between the antiand prooxydant effect and flavonoids concentration. *Thérapie.* 61(4): 347-355.

Lasa, B., Frechilla, S., Aleu, M. 2000. Effects of low and high levels of magnesium on the response of sunflower plants grown with ammonium and nitrate. *Plant Soil.* 225: 167–174.

Lawlor, D. W., Kontturi, M., Young, A. T. 1989. Photosynthesis by flag leaves of wheat in relation to protein, ribulose bis phosphate carboxylase activity and nitrogen supply. *Journal of Experimental Botany.* 40: 43-52

Leduc, V., Moneret-Vautrin, D.A., Tzen, J.T.C., Morisset, M., Guerin, L. & Kanny, G. 2006. Identification of oleosins as major allergens in sesame seed allergic patients. *Allergy* 61(3), 349-356.

Lesuffleur, F. 2007. Rhizdépôt à court terme de l'azote et exsudation racinaire des acides aminés par le tréfle blanc (*Trifolium repense* L.). 17-37.

Liu, S. C, Lin, J. T, Wang, C. K, Chen, H. Y, Yang, D. J. 2009. Antioxidant properties of various solvent extracts from lychee (*Litchi chinenesis* Sonn.) flowers. Food Chem. 114: 577–581.

Liu, Z., Saarinen, N. M., Lilian. U., Thompson. U. 2006. Sesamin is one of the major precursors of mammalian lignans in Sesame Seed (*Sesamum indicum*) as observed in Vitro and in Rats, J. Nutr. 136: 906–912.

Lopez Pereira, M., Trápani, N., Piñeir, G., et Hall, A. 2004. Responses of sunflower to stand

Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A.R., Randall, R.J. 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. J. Biol. Chem. 193: 265-275.

Lyon, C. K. 1972. Sesame, current knowledge of composition and use, J. Am. Oil Chem. Soc. 49: 245–9.

M

Maillard, L. C. 1912. Action des acides aminés sur les sucres : formation des mélanoidines par voie méthodique. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. 154, 66-68.

Male, D. 2005. Immunologie: aide-mémoire illustré. 4ème éd, De Boeck, Bruxelles. 79-83.

Marschner, H. 2011. Marschner's mineral nutrition of higher plants. Academic press.

Marschner, P., Rengel, Z. 2012. Nutrient availability in soils. In Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition).315-330

Martinez-Cayuela M. 1995. Oxygen free radicals and human disease. Biochem.77: 147-161.

Martinoia, E., Heck, U., & Wiemken, A. 1981. Vacuoles as storage compartments for nitrate in barley leaves. Nature. 289(5795), 292.

Maskan, M., Göğüş, F. 2000. Effect of sugar on the rheological properties of sunflower oil-water emulsion. Journal of Food Engineering. 43: 173–177.

- Mason, M. E., Johnson, B., Hamming, M.** 1966. Flavor components of roasted peanuts. Some low molecular weight pyrazines and a pyrrole. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 14: 454-460.
- Mayer, F., Czerny, M., Grosch, W.** 2000. Sensory study of the character impact aroma compounds of a coffee beverage. *Euro Food Res. Technol.* 211: 272–276
- Mazliak, P.** 1982. *Physiologie végétale II, croissance et développement*. Collection Méthodes des Herman, Paris. 465.
- Michel B. E. et Kaufman R. M.** 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant. Physiol.*, 51, 914-916.
- Miossec, P.** 2003. Physiopathologie de l'inflammation. *La revue du praticien*. 53, 1-7.
- Miyawaki, T., Aono, H., Toyoda-Ono, Y., Maeda, H., Kiso, Y., & Moriyama, K.** 2009. Antihypertensive effects of sesamin in humans. *Journal of nutritional science and vitaminology*. 55(1), 87-91.
- Moazzami, A. A., Haese, S. L., & Kamal-Eldin, A.** 2007. Lignan contents in sesame seeds and products. *European*
- Molyneux, P.** 2004. Use of DPPH to estimate antioxidant activity. *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 26 (2): 212.
- Mosier, A. R., Duxbury, J. M., Freney J. R., Heinemeyer, O., Minami, K.** 1996. Nitrous oxide emissions from agricultural fields: Assessment, measurement, and mitigation. *Plant and Soil*. 181, 95-108.
- Moss, J. R., Otten, L. A.** 1989. Relationship between color development and moisture content during roasting of peanut. *Canadian Institute of Food Science and Technology journal*. 22: 34-39.
- Mun FY., Lee FA., Omar ZA., Ibrahim MS., Hesham AA., Mohd ZA.** 2009. Anti-inflammatory and Analgesic Effects of *Elephantopus tomentosus* Ethanolic Extract. *J Acupunct Meridian Stud.* 2(4): 280–287.

N

Nagaraju, V. D., Murthy, C. T., Ramalakshmi, K., Rao, P. N. S. 1997. Studies on roasting of coffee beans in a spouted bed. *Journal of Food Engineering*. 31 : 263-270.

Namiki, M. 1995. The chemistry and physiological functions of sesame. *Food Rev Int*. 11(2) 281-329.

Nathan, C. 2002. Points of control in inflammation. *Nature*. 420, 846-852.

Njus D., Kelley P.M., 1991. Vitamins C and E donate single hydrogen atoms in vivo. *FEBS Letters*. 284 (2): 147-151.

Noguchi, T., Ikeda, K., Sasaki, Y., Yamamoto, J., Seki, J., Yamagata, K., ... & Yamori, Y. 2001. Effects of vitamin E and sesamin on hypertension and cerebral thrombogenesis in stroke-prone spontaneously hypertensive rats. *Hypertension Research*. 24(6) : 735-742.

Norme NF ISO 4833:2003. Microbiologie des aliments-Méthode horizontale pour le dénombrement des micro-organismes-Technique de comptage des colonies à 30°C.

Novelli F., Allione A., Bernabei P., Rigamonti L., Forni G., 1997. Antitumor chemotherapy drugs up-modulate interferon-gamma receptor expression on human malignant T cells. *Cancer Detect Prev*. 1997, 21(2):191-5

Nzikou, J. M., Mvoula-Tsiéri, M., Ndangui, C. B., Pambou-Tobi, N. P. G., Kimbonguila, A., Loumouamou, B., ... & Desobry, S. 2010. Characterization of seeds and oil of sesame (*Sesamum indicum* L.) and the kinetics of degradation of the oil during heating. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 2(3): 227-232.

O

Ogier, J., Ballerin, D., Leygue, J., Pourquoié, L. R. J. 1999. Production d 'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique. 54:67-94.

Ohta, T., Yamasaki, S., Egashira, Y., Sanada, H. 1994. Anti-oxidative activity of corn bran hemicellulose fragments. *J Agri Food Chem*. 42(3): 653-656

ONU ,Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 2006

Oplinger E.S., Putnam D.H., Kaminski A.R., Hanson C.V., Oelke E.A., E.A. Schulte E.A., et Doll J.D. 1990. Sesame. *Grain Crop Production and Management. A University of Wisconsin Short Course*. 1-6.

Ordoněz, A. A. L, Gomez, J. D, Vattuone, M. A, Isla, M. I. 2006. Antioxidant Activities of Sechiumedule (Jacp), Swartz extracts. Food Chemistry. 97: 452-458

Ozdemir, M.; Seyhan, F. G.; Bakan, A. K.; Ilter, S.; Ozay, G.; Devres, O. 2001. Analysis of internal browning of roasted hazelnuts. Food Chem. 73: 191-196.

Özdemir, M., & Devres, O. 2000. Kinetics of color changes of hazelnuts during roasting. Journal of Food Engineering. 44(1), 31-38.

P

Perren, R., Escher, F. 2007. Nut roasting - technology and product quality. Manufacturing Confectionary. 87 (6): 65–75.

Platon, J.F. 1997. Les lipides en cosmétologie. Oléagineux, Corps Gras, Lipides. Volume 4, Numéro 4, 275-81, Dossier : Lipides et cosmétologie.

Plietz, P., Drescher, B., Damaschun, G. 1988. Structure and evolution of the 11S globulins: conclusion from comparative evaluation of aminoacid sequences and X-ray scattering data,

Pokorny, J., Yanishlieva, N., Gordon, M. 2001. Antioxydants in food, Practical applications. Woolhead Publishing Limited. ISBN. 185573-463X.

Poljsak, B., Suput, D., Milisav, I. 2013. Achieving the balance between ROS and antioxidants: when to use the synthetic antioxidants, Oxid. Med. Cell. Longev. 2013

Poneros-schneier, A. G., Erdman, J.W. 1989. Bioavailability of calcium from sesame seeds, almond powder, whole wheat bread, spinach and non-fat dry milk in rats, J. Food Sci. 54: 150–53.

Prabakaran, A.J., Rangasamy S.R. 1995. Observations on interspecific hybrids between *Sesamum indicum* and *S. malabaricum* L., Sesame and Safflower Newsletter, 10: 6–10.

Prieto, P, Pineda, M, Aguilar, M. 1999. Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. Analytical Biochemistry. 269: 337–341

R

Rahal, A., Kumar, A., Singh, V., Yadav, B., Tiwari, R., Chakraborty, S., Dhama, K. 2014. Oxidative stress, prooxidants and antioxidants: the interplay. *BioMed Research International*. 2014: 1-14.

Rains, K. C., Bledsoe, C. S. 2007. Rapid uptake of ^{15}N -ammonium and glycine- ^{13}C , ^{15}N by arbuscular and ericoid mycorrhizal plants native to a Northern California coastal pygmy forest. *Soil Biology and Biochemistry*. 39: 1078-1086.

Rajendran, S., Prakash, V. 1988. Isolation and characterisation of β -globulin low molecular weight protein fraction from sesame seed (*Sesamum indicum* L.), *J. Agric. Food Chem.*, 36: 269–75.

Ramadan, A., Soliman, G., Mahmoud, S. S., Nofal S.M. Abdel-Rahman, R. F. 2012. Evaluation of the safety and antioxidant activities of *Crocus sativus* and Propolis ethanolic extracts. *J. Saudi Chem. Soc.* 16: 13-21.

Rathke, G. W., Christen, O., Diepenbrock, W. 2005. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. *Field Crops Res.* 94: 103-113.

Raven, J.A., Smith, F. A. 1976. Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants cost and benefits relation to efficiency of use of water energy and nitrogen. *New phytol.* 101:25-77

Regnault Roger, C., Philogene, B.J.R, Vincent, C. 2008. Bio-pesticides d'origine végétale. Ed. TEC & DOC, Paris, 51-60.

Rémond, R., Passard, J., & Perré, P. 2007. The effect of temperature and moisture content on the mechanical behaviour of wood: a comprehensive model applied to drying and bending. *European Journal of Mechanics-A/Solids*. 26(3), 558-572.

Richelle, M., Tavazzi, I., Offord. E. 2001. Comparison of the antioxidant activity of commonly beverages (coffee, cacao, and tea) prepared per cup serving. *J. Agric. Food Chem.* 49: 3438-3442.

Rizki, H., Kzaiber, F., Elharfi, M., Nablousi, A., Ennahli, S., et Hanine, H. 2015. Assessment of Antioxidant Capacity of 16 Cultivars of Sesame (*Sesamum indicum*. L) from Different Areas. 1(11) :148-155.

Robert A.S. 1999. Considerations in using common Asian protein meals. American Soybean Association Technical Bulletin Vol AN21.

Robinson, D. S. 1987. Food Biochemistry and Nutritional Value, Longman, Harlow.

Rodríguez D de Sotillo., Hadley, M., Holm, E. T. 1994. Potato peel waste, stability and antioxidant activity of a freeze-dried extract. J Food Sci. 59(5): 1031-1033

Rozin, P. 1988. Cultural approaches to human food preferences. Nutritional modulation of neural function. 137-153.

Russo-Marie, F., Peltier, A., Polla, B.S. 1998. L'inflammation. John Libbey Eurotext. 565.

Ryu, S. N., HO, C. T., & Osawa, T. 1998. High performance liquid chromatographic determination of antioxidant lignan glycosides in some varieties of sesame. Journal of Food Lipids. 5(1): 17-28.

S

Saab, B. R., Pashayan, N., El-Chemaly, S., & Sabra, R. 2006. Sesame oil use in ameliorating cough in children: a randomised controlled trial. Complementary therapies in medicine. 14(2): 92-99.

Sahib, A. S., Al-Jawad, F. H. et Alkaisy, A. A. 2015. Effect of antioxidants on the incidence of wound infection in burn patients and burns fire disasters. 23(4): 199-205.

Saklar, S. 2003. Optimization of hazelnut roasting process by using response surface methodology, 213 p. PhD thesis, Metu, Ankara.

Salvayre, R., Auge, N., Nègre-Salvayre, A. 2003. Rôle de l'oxydation dans la genèse et la progression de l'athérosclérose. L'athérosclérose: Physiopathologie, Diagnostics, Thérapeutiques. 14 : 269-290.

Sanchez, C., Frémont, S. 2003. Conséquences des traitements thermiques et de la formulation sur la structure et l'allergénicité des protéines alimentaires, Science Direct 43 :13-20.

Sani, I., Sule, F. A., Warra, A. A., Bello, F., Fakai, I. M., & Abdulhamid, A. 2013. Phytochemicals and mineral elements composition of white *Sesamum indicum* L. seed oil. International Journal of Traditional and Natural Medicines. 2(2): 118-130.

- Sankar, D.**, 2004. Impact of sesame oil on nifedipine in modulating oxidative stress and electrolytes in hypertensive patients. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. 13: S107.
- Sauvageo, F.**1998. Les épreuves .In : « Evaluation sensorielle " manuelle méthodologique" ».
- Schieberle, P.** 1996. Odour-active compounds in moderately roasted sesame. *Food chemistry*. 55:(2): 145-152.
- Schiffman, S.S., Graha, B.G., Sattely-Miller, E.A., Warwick, Z.S.** 1998. Orosensory perception of dietary fat. *Current Directions in Psychological Science*. 7(5): 137-143.
- Seegeler, C. J. P** (1983) *Oil Plants in Ethiopia: Their Taxonomy and Agricultural Significance*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation Wageningen.
- Senet, P.** 2007. *Physiologie de la cicatrisation cutanée- EMC. Dermatologie*. 98-040-A-10.
- Shahidi, F., Liyana-Pathirana C. M., SWall, D.** 2006. Antioxidant activity of white and black sesame seeds and their hull fractions. *Food Chem*. 99(5): 478-483.
- Sheikh, S., Ishak, C. F.** 2016. Effect of nitrogen fertilization on antioxidant activity of Mas cotek (*Ficus deltoidea* Jack). *Journal of Medicinal Plants Studies*. 4: 208-214.
- Shenker, S., Handshin, S., Frey, B., Perren, R., Escher F.** 2000. Pore structure of coffee beans affected by roasting conditions. *Journal of Food Science*. 65: 452-457.
- Shimoda, M., Nakada, Y., Nakashima, M., Osijima, Y.** 1997. Quantitative comparison of volatile flavor compounds in deep-roasted and light roasted sesame seed oil. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 45: 3193-3196.
- Simon, J. C., Le Corre, L.** 1992. Fertilisation annuelle et lessivage de l'azote nitrique. *Fourrages*. 129, 3-10.
- Solis, A., Vidal, I., Paulino, L., Johnson, B. L., Berti, M.T.** 2013. Camelina seed yield response to nitrogen, sulfur, and phosphorus fertilizer in South Central Chile. *Industrial crops and products*. 44: 132-138
- Solomonson, L.P., barber, M.J.** 1990. assimilatory nitrate reductase functional properties and regulation. *Annu rev. plant physiol plant mol boil*. 41:225-253

Soriano, M.A., Orgaz, F., Villalobos , F. J., Fereres. E. 2004. Efficiency of water use of early plantings of sunflower. *European Journal of Agronomy*. 21: 465-476.

Speek, A. J., Schrijver, J., & Schreurs, W. H. P. 1985. Composition of some Seed Oils as Determinated by High-Performance Liquid Chromatography with Fluorometric Detection. *J Food Sci*. 50, 122.

Steer, B.T., Hocking, P.J. 1984. Nitrogen nutrition of sunflower (*Helianthus annuus* L.): Acquisition and partitioning of dry matter and nitrogen by vegetative organs and their relationship to seed yield. *Field Crops Research*. 9: 237-251.

Stephan, S., Florian, L. 2001. Atlas de poche de Physiopathologie. Edition Médecine-Sciences Flammarion. 365.

Suja, K.P., Jayalekshmy, A., Arumughan, C. 2004, Free radical scavenging behavior of antioxidant compounds of sesame (*sesamum indicum* L.) in DPPH (*) system. *J Agric Food Chem*. 52(4): 912-5.

Sun, Y., Cheng, J. 2002. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresour Technol* 83:1–11

Sung, Ch-Ch, Hsu, Y.-Ch, Chen, Ch-Ch., Lin, Y.-F, Wu, Ch-Ch. 2013. Oxidative stress and nucleic acid oxidation in patients with chronic kidney disease, *Oxid. Med.Cell. Longev*. 2013

Swaminathan, R. 2003. Magnesium metabolism and its disorders. *Clin Biochem Rev*. 24, 47-66.

T

Tantawy, M. M, Ouda, S. A, Khalil, F. A. 2007. Irrigatio Optimization for Different Sesame Varieties Grown onder Water Stress Conditions. *Journal of Applied Sciences Research*. 3(1) : 7 12

Ten Hoopen., F, Cuin, T., A, Pedas, P. 2010. Competition between uptake of ammonium and potassium in barley and Arabidopsis roots: Molecular mechanisms and physiological consequences. *J. Exp. Bot*. 61: 2303–2315

Thapon, J. L, Bourgeois, J. C. 1994.L'oeuf et les ovoproducts .In : collection science et techniques agroalimentaires. Edition : technique et documentation, Lavoisier. ISBN : 2852069032. 1-344.

Togola, A., Inngjerdingen, M., Diallo, D., Barsett, H., Rolstad, B., Michaelsen, T. E., & Paulsen, B. S. 2008. Polysaccharides with complement fixing and macrophage stimulation activity from *Opilia celtidifolia*, isolation and partial characterisation. Journal of ethnopharmacology. 115: 423-431.

Toma, R. B., Tabekhia, M. M., & Williams, J. D. 1979. Phytate and oxalate contents in sesame seed (*Sesamum indicum* L). Nutrition Reports International (USA).

Touitou Yvan. 1993. Pharmacologie Diplôme d'Etat d'Infirmier (e), 7eme édition Paris. 407.

Touraine, B., Grignon, N., Grignon, C. 1988. Charge balance in NO₃--fed soybean. Estimation of K⁺ and carboxylate recirculation. Plant Physiol. 88: 605-612.

Tyler, G. 2004. Rare earth elements in soil and plant systems-A review. Plant Soil. 267:191–206.

U

Uddin, M. S, Hossain, M. S, Kabir, M. T, Rahman, I, Tewari, D, Jamiruddin, M. R. 2018. Phytochemical screening and antioxidant profile of *Syngonium podophyllum* Schott Stems: a fecund phytopharmakon. J Pharm Nutr Sci. 8(3):120-128

Umezawa, T. 2003. Diversity in lignan biosynthesis, Phytochem Rev. 2: 371–390.

Utsunomiya, T., Chavali, S. R., Zhong, W. W., & Forse, R. A. 2000. Effects of sesamin-supplemented dietary fat emulsions on the ex vivo production of lipopolysaccharide-induced prostanoids and tumor necrosis factor α in rats. The American journal of clinical nutrition. 72(3): 804-808.

V

Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M.T., Mazur, M., Telser, J. 2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. Int J Biochem Cell Biol. 39(1): 44-84.

Van Rheenen, H. A. 1973. Major problems of growing sesame (*Sesamum indicum* L.) in Nigeria. Wageningen. Netherlands. 73: (12) 13 .

Vignon-Pennamen, M. D., Juillard, C., Rybojad, M., Wallach, D., Daniel, M. T., Morel, P., ... & Janin, A. 2006. Chronic recurrent lymphocytic Sweet syndrome as a predictive marker of myelodysplasia: a report of 9 cases. Archives of dermatology. 142(9) : 1170-1176.

Vishwanath, H. S., Anilakumar, K. R., Harsha, S. N., Khanum, F., & Bawa, A. S. 2012. In vitro antioxidant activity of *Sesamum indicum* seeds. Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research. 5: 56-60.

W

Wagner, J.G., Roth, R.A. 2000. Neutrophil migration mechanisms, with an emphasis on the pulmonary vasculature. Pharmacological Reviews. 52 : 349-374.

Wang, N., Hatcher, D. W., Gawalko, E. J. 2009. Effect of variety and processing on nutrients and certain anti-nutrients in field peas (*Pisum sativum*). Food Chem. 111(1): 132-138.

Wang, R., Liu, D., Crawford, N.M. 1998. The Arabidopsis CHL1 protein plays a major role in high-affinity nitrate uptake. Proc. Natl. Acad. Sci. 95: 15134–15139

Wansink, B., Sonka, S. T., & Cheney, M. M. 2002. A cultural hedonic framework for increasing the consumption of unfamiliar foods: soy acceptance in Russia and Colombia. Review of Agricultural Economics, 24(2), 353-365.

Wantana, R., Tassanee, N., Subhadhirasakul, S. 2009. Antinociceptive, antipyretic, and anti-inflammatory activities of *Putranjiva roxburghii* Wall. leaf extract in experimental animals. J Nat Med. 63: 290–296

Watanabe, M., Ohshita, Y., Tsushida, T. 1997. Antioxidant compounds from buckwheat (*Fagopyrum Esculentum*) hulls. J Agri Food Chem. 45(4): 1039-1044

Weaver, C. M. 2013. Potassium and health. Adv Nutr. 4, 368S-377S.

Weiss, E. A. 1983. Oilseed Crops, Longman, London and New York, 660.

Winter, C. A., Risley, E.A., Nuss, G.W. 1962. Carrageenin-induced edema in hind paw of the rat as an assay for antiinflammatory drugs. Exp. Biol. Med. 111: 544-547.

Wiseman, S., Mulder, T., Rietveld, A. 2001. Tea flavonoids: bioavailability in vivo and effects on cell signaling pathways in vitro. *Antioxid Redox Signal*. 3(6):1009-1021.

Wollgast, J., Anklam, E. 2000. Review on polyphenols in *Theobroma cacao*: changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. *Food Research International*. 33: 423-447.

Wysocki, A. B. 1999. Skin anatomy, physiology, and pathophysiology. *Nurs Clin North Am*. 34 (4): 777-797.

X

Ju, X. T., Kou, C. L., Zhang, F. S., Christie, P. 2006. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: Comparison among three intensive cropping systems on the North China”, *Plain. Environ. Pollut*. 143(1): 117–125.

Xia, T., Apse, M.P., Aharon, G.S., & Blumwald, E. 2002. Identification and characterization of a NaCl-inducible vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter in *Beta vulgaris*. *Physiologia plantarum*. 116(2), 206-212.

Y

Yaacoub, R. 2009. Impact nutritionnel et sanitaire de la torréfaction des fruits et graines oléagineux: intérêt de la fluorescence comme outil de contrôle des composés néoformés (Doctoral dissertation, Paris, AgroParisTech).

Yamaguchi, K., Honda, M., Ikigai, H., Hara, Y., Shimamura T. 2002. Inhibitory effects of -epigallocatechin gallate on the life cycle of human immunodeficiency virus type 1(HIV-1). *Antiviral Res*. 53: 19-34.

Yehia, G. M., Hussein, O. A., & Yaldes, I. A. 2019. Wet decortication of sesame seeds by new methods. 2002.

Yen, G. C., Duh, P. D. 1994. Scavenging effect of methanolic extracts of peanut hulls on free-radical and active-oxygen species. *J Agri Food Chem*. 42(3): 629-632.

Yen, G. C., Shyu S. L., Lin J. S. 1986. Studies on protein and oil composition of sesame seeds, *J. Agric. Forest*. 35: 177–81.

Yeramanos, D.M, Hemstreet S, Saleeb W, Huszar CK. 1980. Oil content and composition of the seed in the world collection of Sesame introductions. J. Am. Oil. Chem. Soc. 49: 20-23.

Yingxian, Z., & Ming, C. 1990. Cytogenetic studies in sesame (*Sesamum indicum* L.) III. A new taxonomic system. Acta Agriculturae Universitatis Pekinensis (China).

Yon .J. 1969. Structure et dynamique conformationnelle des protéines .Editions : Herman, Paris. 1-313.

Yoshida, H., Takagi, S. 1999. Antioxidative effects of sesamol and tocopherols at various concentrations in oils during microwave heating. Journal of the Science of Food and Agriculture. 79, 220–226.

Yoshida, H., Takagi, S. 2001. Effect of roasting temperature and time on the quality characteristics of sesame (*Sesame indicum* L.) oil. J. Sci. Food Agric. 1997(75)s: 19-26.

Z

Zeng, H., Liu, G., Kinoshita, T. 2012. Stimulation of phosphorus uptake by ammonium nutrition involves plasma membrane H⁺ ATPase in rice roots. Plant Soil. 357: 205-214.

Zhao, F. J, McGrath, S. P, Crosland, A. R. 1994. Comparison of three wet digestion methods for the determination of plant sulfur by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). Commun Soil Sci. Plant Anal, 25: 407–41

ANNEXES

Annexe I

QUESTIONNAIRE

N° de la fiche :

Région :

Age	
Sexe	femme ☐ homme ☐
Profession	

✓ **Préparation du sol ; profondeur travaillée :**

<20cm / < 20-35 / < 35-40 / < 40 – 45 / > 45cm

✓ **Fertilisation**

-type de fertilisant :

- dose apportée :

✓ **Date d'apport :**

✓ **Mode de semis :**

✓ **Date de semis :**

✓ **Irrigation :**

-Source :

-Nombre :

-Nombre de jours entre la dernière irrigation et la récolte :

✓ **Traitement phytosanitaire :**

- Parasites :

- Produits utilisés :

✓ **Récolte :**

- Date début :

- Date fin :

✓ **Mode de stockage des graines après récolte**

Annexe II

Questionnaire d'évaluation sensorielle des graines de sésame torréfiées

Afin de mener une évaluation hédonique des graines de sésame torréfiées selon un gradient croissant, 12 échantillons codés (A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L,M,N,O,P) vous sont présentés. Vous êtes demandé à les examiner et déguster successivement, avant de remplir le questionnaire ci-dessous.

NB : A la fin de chaque dégustation, rincez la bouche avant de passer à l'échantillon suivant

Parmi les échantillons examinés, attribuez une note de 1 à 10 pour chaque échantillon selon votre préférence de goût, odeur, couleur et structure. Sachant que le numéro 1 correspond à l'échantillon le moins préféré et le numéro 10 à celui le plus préférez.

Ech	notes	Ech	notes	Ech	notes	Ech	notes
A	Saveur Odeur Couleur Structure	E	Saveur Odeur Couleur Structure	I	Saveur Odeur Couleur Structure	M	Saveur Odeur Couleur Structure
B	Saveur Odeur Couleur Structure	F	Saveur Odeur Couleur Structure	G	Saveur Odeur Couleur Structure	N	Saveur Odeur Couleur Structure
C	Saveur Odeur Couleur Structure	G	Saveur Odeur Couleur Structure	K	Saveur Odeur Couleur Structure	O	Saveur Odeur Couleur Structure
D	Saveur Odeur Couleur Structure	H	Saveur Odeur Couleur Structure	L	Saveur Odeur Couleur Structure	P	Saveur Odeur Couleur Structure

Annexe III

Questionnaire d'évaluation sensorielle

1- Afin de mener une évaluation sensorielle de six produits à base des graines de sésame, six échantillons codés (A,B,C,D,E et F) vous sont présentés. Vous êtes demandé à les examiner et déguster successivement, avant de remplir le questionnaire ci-dessous.

NB : A la fin de chaque dégustation rincez la bouche avant de passer à l'échantillon suivant

Descripteurs	Définition	Produit	Note (1-5)
Astringent	Caractère râpeux du produit évalué par frottements entre la langue et le palais	A	
		B	
		C	
		D	
		E	
		F	
Collant	Force nécessaire pour décoller le produit adhérent aux surfaces de la bouche (langue, palais, dents) pendant la mastication	A	
		B	
		C	
		D	
		E	
		F	
Epais	Résistance du produit à s'écouler, évaluée en écrasant le produit entre la langue et le palais	A	
		B	
		C	
		D	
		E	
		F	
lisse	Absence de particules solides.	A	
		B	
		C	
		D	
		E	
		F	
nappant	Capacité du produit à former un film tapissant la bouche	A	
		B	

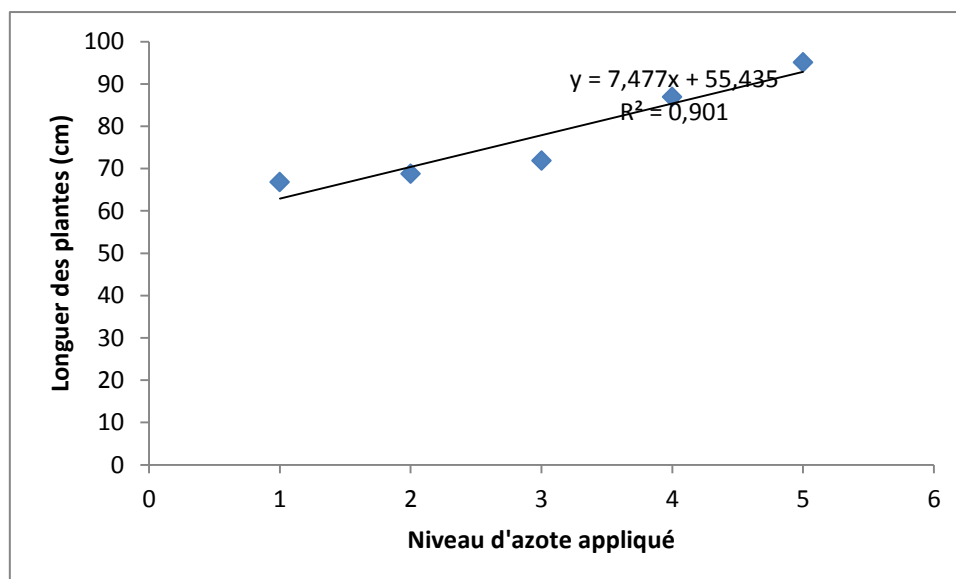
		C	
		D	
		E	
		F	
sucré	Saveur sucrée basique	A	
		B	
		C	
		D	
		E	
		F	
salé	Saveur salée basique	A	
		B	
		C	
		D	
		E	
		F	
acide	Saveur acide basique	A	
		B	
		C	
		D	
		E	
		F	
Amère	Référence à la caféine pure	A	
		B	
		C	
		D	
		E	
		F	

2- Parmi les échantillons examinés, que préférez-vous ? Attribuez une note de 1 à 5 pour chaque échantillon selon votre préférence de couleur saveur odeur et texture.

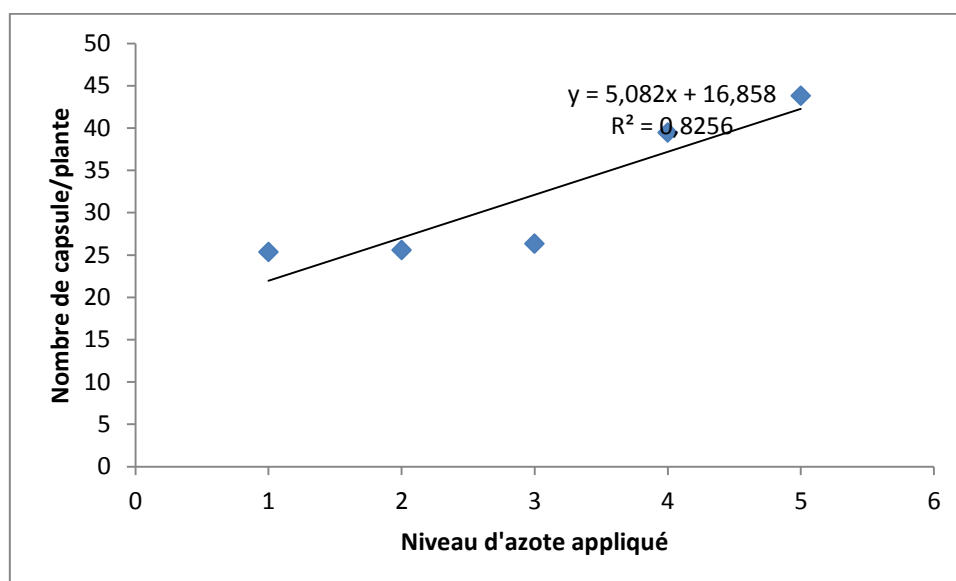
Produits	Paramètres	Note
Produit (A)	couleur	
	saveur	
	odeur	
	texture	
	Acceptabilité générale	
Produit (B)	couleur	
	saveur	
	odeur	
	texture	
	Acceptabilité générale	
Produit (C)	couleur	
	saveur	
	odeur	
	texture	
	Acceptabilité générale	
Produit (D)	couleur	
	saveur	
	odeur	
	texture	
	Acceptabilité générale	
Produit (E)	couleur	
	saveur	
	odeur	
	texture	
	Acceptabilité générale	
Produit (F)	couleur	
	saveur	
	odeur	
	texture	
	Acceptabilité générale	

Annexe IV

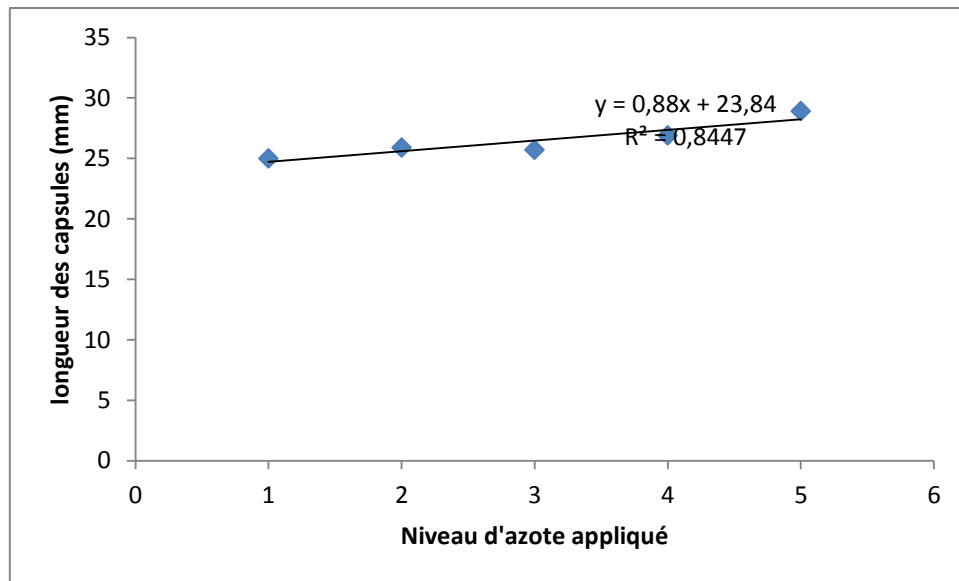
Régressions linéaires



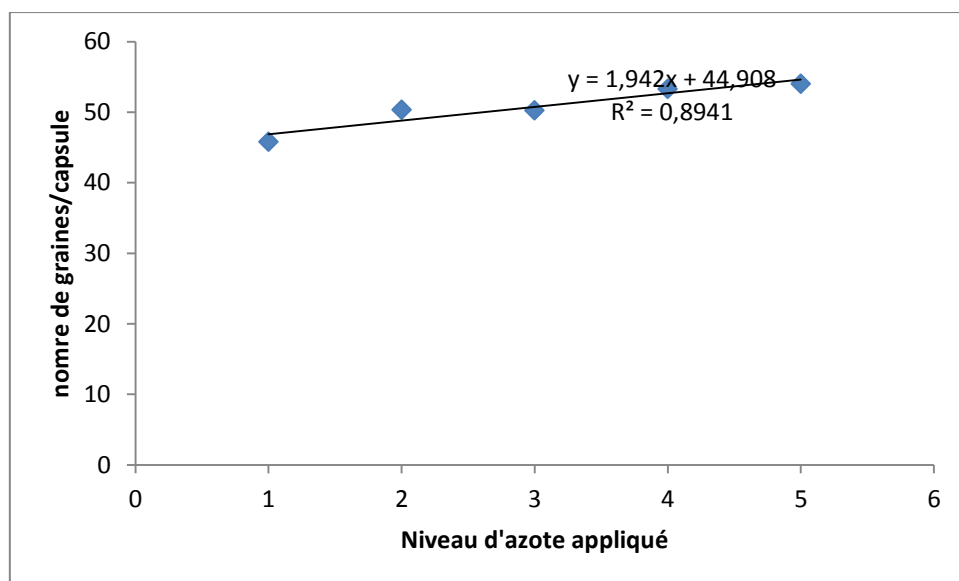
Régression linéaire relative à la longueur des plantes soumises à différents niveaux de fertilisation azotée



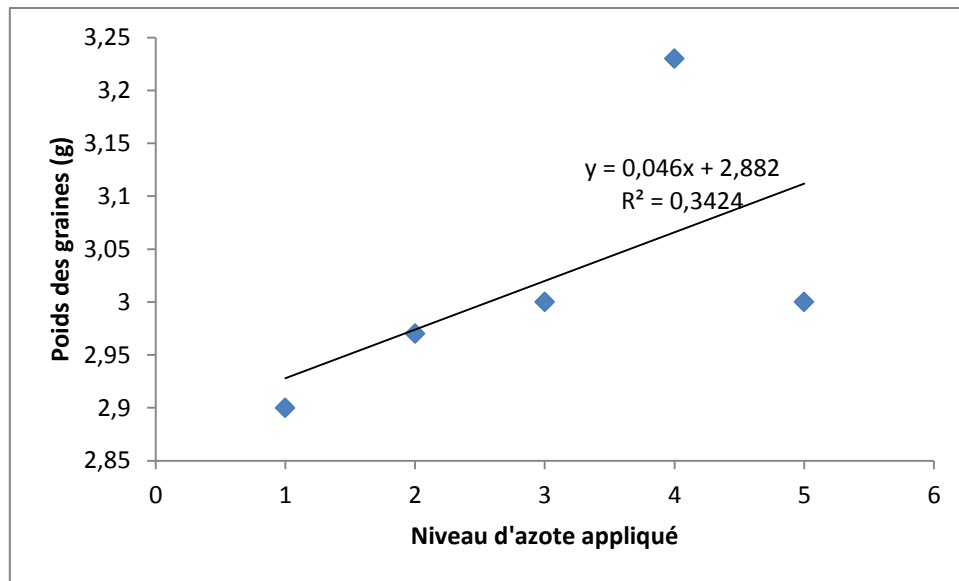
Régression linéaire relative au nombre de capsules par plante soumise à différents niveaux de fertilisation azotée



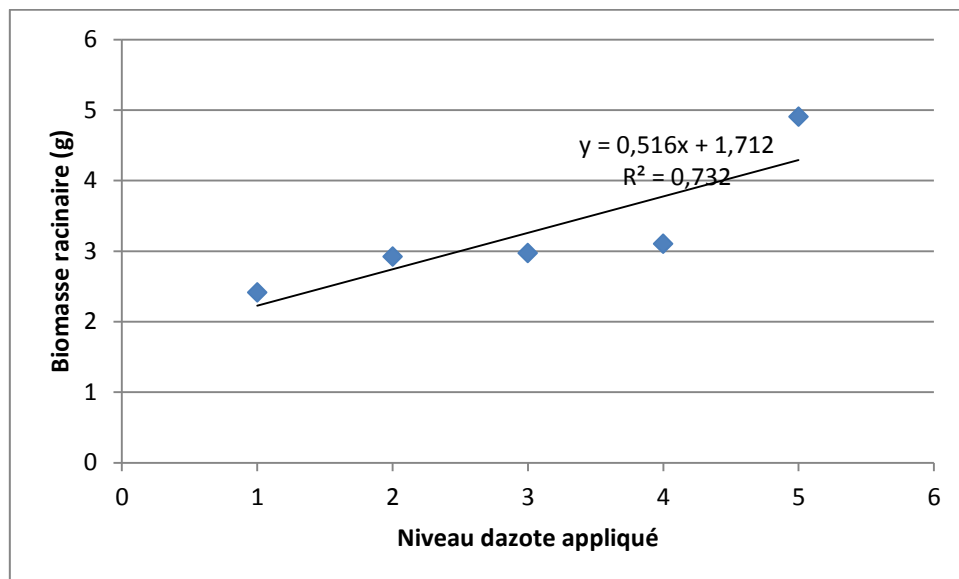
Régression linéaire relative Nombre de capsules par plante soumise à différents niveaux de fertilisation azotée



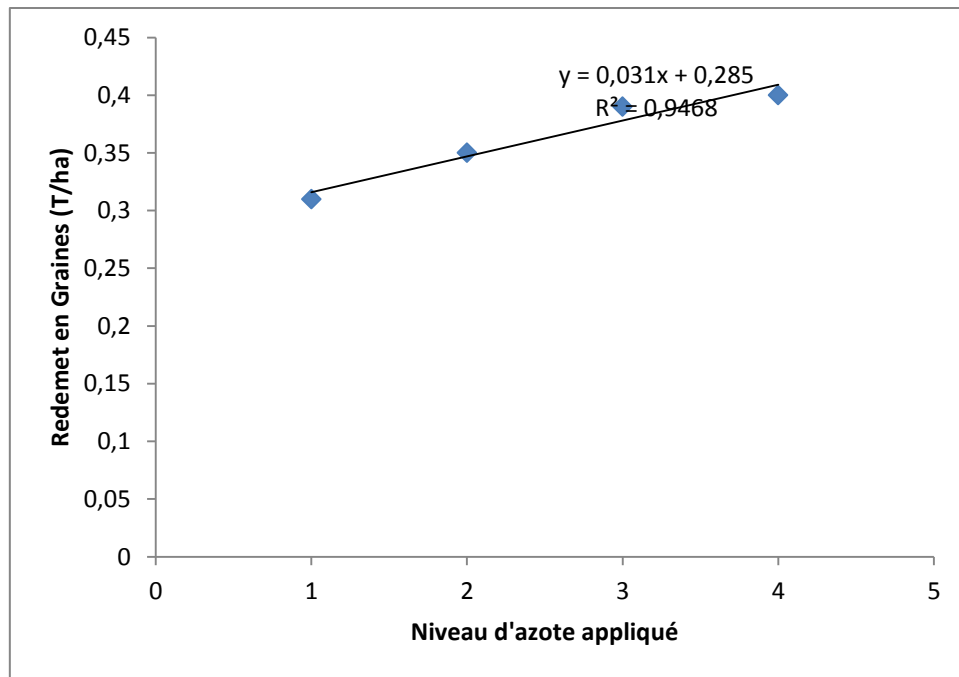
Régression linéaire relative au nombre de graines par capsules soumises à différents niveaux de fertilisation azotée



Régression linéaire relative au poids des graines des plantes soumises à différents niveaux de fertilisation azotée



Régression linéaire relative à la biomasse racinaire des plantes soumises à différents niveaux de fertilisation azotée



Régression linéaire relative au rendement en graines des plantes soumises à différents niveaux de fertilisation azotée