



UNIVERSITE SULTAN MOULAY SLIMANE
Faculté des Sciences et Techniques
Béni-Mellal



N° d'ordre : 103 / 2016

Centre d'Études Doctorales : Sciences et Techniques
Formation Doctorale : Ressources Naturelles, Environnement et Santé

THESE

Présentée par

Meriem EL HARFI

Pour l'obtention du grade de :

Docteur

Spécialité : Biochimie Appliquée

Option : Agronomie

**Analyse de la diversité Agromorphologique, Biochimique et
Moléculaire d'une collection d'accessions de sésame (*Sesamum
indicum* L.) Marocain**

Soutenue publiquement le 26 Novembre 2016 devant le Jury :

Pr Hassan LATRACHE	Faculté des Sciences et Techniques, USMS, Béni Mellal	Président
Pr Abderrahim JAOUAD	Faculté des Sciences Semlalia, UCAM, Marrakech	Rapporteur
Pr Abdelmajid HADDIOUI	Faculté des Sciences et Techniques, USMS, Béni Mellal	Rapporteur
Pr Mohammed EL HANSALI	Faculté des Sciences et Techniques, USMS, Béni Mellal	Rapporteur
Pr Mostapha ELLOUALI	Faculté des Sciences et Techniques, USMS, Béni Mellal	Examineur
Pr Hafida HANINE	Faculté des Sciences et Techniques, USMS, Béni Mellal	Directeur de thèse
Dr Abdelghani NABLOUSSI	Institut National de la Recherche Agronomique, Meknès	Co-directeur de thèse
Dr Jamal CHARAFI	Institut National de la Recherche Agronomique, Meknès	Invité

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

A la mémoire de mon père.

A la mémoire de mes grands parents.

A ma très chère maman

Honorable, aimable : vous représentez pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Votre prière et votre bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

Aucune dédicace ne saurait être assez parlante pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me donner depuis ma naissance. vous avez fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études.

J'espère que j'étais et je serais toujours à la hauteur de la confiance que vous avez placé en moi.

Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond amour et mon grand respect.

A toute ma famille.

Spécialement à ma sœur Houda, Sara, Nadira, Ihssane et à mon oncle Mohamed

A mes tantes et à mes oncles.

A chaque cousins et cousines.

Respect, amour, reconnaissance sont les moindres sentiments que je peux vous témoigner

A mes Encadrants

A tous mes enseignants tout au long de mes études

A mes amis

A tous ceux qui m'ont encouragé, ne m'ont jamais oublié, qu'ils trouvent ici un signe de grandes amitiés

A

Tous ceux qui ont contribué à l'élaboration de ce travail, qui m'ont soutenu et surtout qui m'ont supporté. Je ne serais qu'à leur exprimer ma grande reconnaissance.

Remerciements

A Dieu tout puissant qui m'a armé de foi, de courage et de tant de patience tout au long de ma carrière universitaire.

Ce travail de recherche a été effectué au sein du Laboratoire Bioprocédés et Biointerfaces à la FST de Béni Mellal, de l'Unité de Recherche Amélioration des Plantes et Conservation des Ressources Phytogénétiques CRRRA Meknès et du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Afourar. A cet effet, je remercie vivement Monsieur **LATRACHE Hassan**, Directeur du Laboratoire de Bioprocédés et Biointerfaces à la FST de Béni Mellal ; Mr **NABLOUSSI Abdelghani**, Coordinateur de l'Unité de recherche Amélioration des Plantes et Conservation des Ressources Phytogénétiques et Monsieur **JBILOU Marouane**, Directeur du Centre Régional de la Recherche Agronomique de Béni Mellal pour m'avoir accueillie dans leurs Laboratoires et pour la confiance qu'ils m'ont accordée.

Je tiens à remercier vivement ma directrice de thèse Professeur **Hafida HANINE**, et à elle exprimer toute ma profonde reconnaissance pour sa rigueur scientifique et sa disponibilité absolue. Ses conseils, ses remarques et ses encouragements m'ont permis de mener à bien ce travail. Qu'elle trouve ici l'expression de toute ma gratitude.

J'adresse mes sincères remerciements à mon co-directeur de thèse, Docteur **Abdelghani NABLOUSSI**. Son expérience et sa profonde connaissance, les conseils qu'il m'a prodigués tout au long de ce travail m'ont permis de mener à bien cette étude. Je voudrais lui exprimer toute ma profonde estime.

Je remercie également Docteur **Jamal CHARAFI**, de m'avoir accueillie dans son laboratoire de Biotechnologie de l'Unité de Recherche Amélioration des Plantes et Conservation des Ressources Phytogénétiques, pour ses conseils et ses appuis scientifiques.

Mes remerciements s'adressent également à l'honorable Jury d'avoir accepté d'examiner mon mémoire de thèse. Merci à Monsieur **Hassan LATRACHE**, Professeur à la FST de Béni Mellal, d'avoir accepté de présider le jury de cette thèse et à Messieurs **Abderrahim JAOUAD** (Professeur à la Faculté des Sciences Semlalia- Marrakech), **Abdelmajid HADDIOUI** (Professeur à la FST de Béni Mellal) et **Mohammed EL HANSALI** (Professeur à la FST de Béni Mellal), d'avoir accepté de rapporter ce manuscrit. Je remercie aussi Monsieur **Mostapha ELLOUALI**, Professeur à la FST de Béni Mellal, d'avoir accepté d'examiner ce travail. Je remercie également Monsieur **Jamal CHARAFI** d'avoir accepté d'être parmi les membres de ce jury.

Mes remerciements aussi pour Monsieur **Khalid HABBARI**, Vice Doyen de la Recherche à la Faculté des Sciences et Techniques, qui a fait des efforts énormes pour réunir les bonnes conditions de travail.

Je remercie Monsieur **KHALOUK** de l'Office Régional de la Mise en Valeur Agricole de Tadla, pour sa disponibilité et son aide lors de la réalisation de l'enquête dans la zone Tadla.

Un merci particulier également aux membres du Laboratoire Bioprocédés et Biointerfaces, Monsieur **Hassan LATRACHE**, Monsieur **Mostafa ELLOUALI** et Mme **Hafida ZAHIR** pour leurs précieuses aides et conseils.

Je tiens également à remercier tout particulièrement Monsieur **Mostafa EL HABI**, professeur à la FST de Béni Mellal, pour son encouragement durant les années de cette thèse.

J'adresse également mes remerciements Mme **Najat RIHANI** qu'elle veuille bien trouver ici un signe de reconnaissance.

Mes vifs remerciements s'adressent aussi à l'ensemble du personnel de l'Unité de Recherche Amélioration des Plantes et Conservation des Ressources Phytogénétiques en particulier : **Mohamed EL FECHTALI**, **Lahcen HSSAINI**, **Said LYAGOUBI**, **Abderrahman MEKAOUI**. Je remercie également le personnel du Centre Régional de la Recherche agronomique d'Afourar en particulier : Monsieur **Yahya BAYE**, Monsieur **Samir FAKHOUR**, Docteur **Mohamed BENBATI**, Docteur **Bassou BOUAZZAMA**, Monsieur **Mohamed JAGHNOUNE**, Monsieur **SEMLALI...**, pour l'aide qu'ils m'ont apportée.

Je remercie l'ensemble des amis et des collègues que le chemin de recherche m'a fait rencontrer et dont les souvenirs resteront gravés dans le mémoire, particulièrement **Hajar RIZKI**, **Maryam ZIDOUH**, **Kawtar OUSIALI**, **Khadouj TAIFI**, **Jabrane JOUHA**, **Anouar OUIZGANE**, **Rachid LHISSOU**, **Abdelali EL HAMZAOU**, **Adnan EL YAACOUBI**, **Karim HOUMANAT**, **Souhail CHANNAOUI**, **Youssef FAIQ**, **Anouar BOUTAZAMAT...**

Finalement, je remercie ma famille et mes amis, qui m'ont soutenu et m'ont encouragé pour mener ce travail jusqu'au bout. À ces personnes, je leur dédie mon travail.

Avant Propos

Nom et prénom de l'auteur : Meriem EL HARFI

Sujet de thèse : « Analyse de la diversité agromorphologique, biochimique et moléculaire d'une collection d'accessions de sésame (*Sesamum indicum* L) marocain ».

Noms et prénoms des directeurs de thèse :

Professeur **Hafida HANINE**, Laboratoire de Bioprocédés et Biointerfaces- FST, Université Sultan moulay Slimane, Béni Mellal, Maroc.

Docteur **Abdelghani Nabloussi**, responsable de l'Unité de Recherche d'Amélioration des Plantes et Conservation des Ressources Phytogénétiques, Institut National de la Recherche Agronomique, Meknès, Maroc.

Production scientifique

Publications:

- **El Harfi Meriem**, Nabloussi Abdelghani, Rizki Hajar, Latrache Hassan, Ennahli Said and Hanine Hafida, (2015). Biochemical Assessment of the Genetic Diversity among Thirteen Moroccan Genotypes of Sesame (*Sesamum Indicum*). *International Journal of Development Research*, 5 (04): 4010-4020.

- **El Harfi Meriem**, Nabloussi Abdelghani, Rizki Hajar, Latrache Hassan, Ennahli Said and Hanine Hafida, (2015). Biochemical Assessment of Moroccan Sesame (*Sesamum Indicum*) Genotypes. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, 2 (5): 1005-1015.

- **El Harfi Meriem**, Hanine hafida, Rizki Hajar, Latrache Hassan and Nabloussi Abdelghani, (2016). Effect of drought and salt stresses on germination and early seedling growth of different color-seeds sesame (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Agriculture and Biology*, 18: 1088–1094.

- Rizki Hajar, Kzaiber Fouzia, **El Harfi Meriem**, Nabloussi Abdelghani, Ennahli Said, and Hanine Hafida, (2015). Assessment of antioxidant capacity of 16 cultivars of Sesame (*Sesamum indicum* L) from different areas. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 18 (2): 379-385.

- Rizki Hajar, Kzaiber Fouzia, **El Harfi Meriem**, Latrache Hassan, Zahir Hafida and Hanine Hafida, (2014). Physicochemical Characterization and in Vitro Antioxidant Capacity of 35 Cultivars of Sesame (*Sesamum indicum* L) from Different Areas in Morocco.) *International Journal of Science and Research*, 3 (11): 2306-2311.

- Rizki Hajar, Kzaiber Fouzia, **El Harfi Meriem**, Nabloussi Abdelghani, and Hanine Hafida (2015). Chemical Composition and Morphological Markers of 35 Cultivars of Sesame (*Sesamum Indicum L*) From Different Areas In Morocco. *International Journal of Technology Enhancements and Emerging Engineering Research*, 3(01): 50-55.

- Rizki Hajar, Kzaiber Fouzia, **El Harfi Meriem**, Ennahli Said, and Hanine Hafida, (2015). Effects of roasting temperature and time on the physicochemical properties of sesame (*Sesamum indicum L*) seeds. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 11 (1): 148-155

- Rizki Hajar, Kzaiber Fouzia, Nabloussi Abdelghani, **El Harfi Meriem**, Ennahli Said, and Hanine Hafida, (2015). Effect of microwave roasting on the oxidative stability and physicochemical properties of sesame seeds (*Sesamum indicum L*). *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 2 (2): 392-397.

Publication soumise:

- Analysis of fatty acid, total phenolic content and antioxidant activity of Moroccan Sesame (*Sesamum indicum L*) cultivars. *Annals of Agricultural Sciences*.

Communications affichées:

- **El Harfi Meriem**, Hanine Hafida, Nabloussi Abdelghani. Antibacterial activity of sesame oil (*Sesamun indicum L*). Congrès international: "Microbial Biotechnology for Development" (MICROBIOD 2), Marrakesh 02-04 Octobre, **2012**.

- **El Harfi Meriem**, Mallouki Bouchra, Hanine Hafida, Nabloussi abdelghani, Meftah Hassna, Rizki hajar, Zidouh Maryam, Latrache Hassan. « L'énergie de la surface du verre recouvert par l'huile de sésame et la prévision théorique de l'adhésion de *Staphylococcus aureus* » Symposium franco-marocain «BIOADHESION- BIOFILMS : Des méthodes d'analyse aux nouvelles stratégies de maîtrises » Fès 28 Mai **2013**.

- Rizki Hajar, Hanine Hafida, Kzaiber Fouzia, Oussama Abdelkhalek, Latrache Hassan, **El Harfi Meriem**. « Effect of seed roasting temperature and time on the oxidative stability and quality index of sesame oil». La 1ère rencontre Internationale de Chimie Moléculaire, Chimiométrie & applications, FST Béni Mellal, 29-30 Mai **2014**.

- **El Harfi Meriem**, Rizki Hajar, Latrache Hassan, Nabloussi abdelghani, Hanine Hafida. «Production du sésame au périmètre de Tadla : diagnostique de la situation, potentialités et contraintes. La première Edition des Journées Doctorales- FST Béni Mellal le 10 et le 11 Juin **2014** Maroc.

- Hajar Rizki, Kzaiber Fouzia, Oussama abdelkhalek, Latrache Hassan, Zanane Chorok, **El Harfi meriem**, Hanine Hafida. «Effect of conventional roasting conditions on the oxydative

stability of sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds». La première Edition des Journées Doctorales- FST Béni Mellal le 10 et le 11 Juin 2014 Maroc.

- Hajar Rizki, Kzaiber Fouzia, Oussama abdelkhalek, Latrache Hassan, Zanane Chorok, **El Harfi meriem**, Hanine Hafida. « Effect of roasting temperature and time on the quality of sesame (*Sesamum indicum* L.) oil». La première Edition des Journées Doctorales- FST Béni Mellal le 10 et le 11 Juin **2014** Maroc.

- Rizki Hajar, **El Harfi Meriem**, Latrache Hassan, Nabloussi Abdelghani, Hanine Hafida. «Polyphenolic content and evaluation of antioxidant activity of moroccan sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds oil». Le congrès international sur l'Agriculture à Edirne Turquie du 08 au 11 Septembre **2014**.

- **El Harfi Meriem**, Rizki Hajar, Latrache Hassan, Nabloussi Abdelghani, Hanine Hafida «Physicochemical propriety of oil extracts from *Sesamum indicum* L. seeds from the moroccan region of Tadla». Le congrès international sur l'Agriculture à Edirne Turquie du 08 au 11 Septembre 2014.

- Rizki Hajar, Hanine Hafida, Latrache Hassane, Oussama abdelkhalek, **El Harfi Meriem**, Kzaiber Fouzia. «Preliminary study of the physicochemical and morphological characteristics of 35 cultivars of sesame (*Sesamum indicum*) from different areas in morocco». Le congrès international sur l'Agriculture à Edirne Turquie du 08 au 11 Septembre 2014.

- **El Harfi Meriem**, Rizki Hajar, Latrache Hassan, Nabloussi Abdelghani, Hanine Hafida. «Effect of salinity and drought stress on germination and early seedling growth of sesame cultivars (*Sesamum indicum* L.) from Morocco». La Conférence AMAS II, 20-22 Octobre **2014**, Marrakech, Morocco.

- Rizki Hajar, Hanine Hafida, Latrache Hassane, Oussama abdelkhalek, **El Harfi Meriem**, Kzaiber Fouzia. «Assesment of antioxydant activity of 35 cultivars of sesame (*Sesamum indicum* L.) from differents areas in Morocco». Le 1er congrès International- Substance Naturelles & Modélisation : Application Thérapeutiques-Applications Environnementales & Développement Durable, 15& 16 Décembre 2014, FP Taza, Maroc.

- **El Harfi Meriem**, Nabloussi Abdelghani, Mallouki Bouchra, Rizki Hajar, Hamadi Fatima, Latrache Hassan, Hanine hafida. « Etude de la variabilité de l'huile de sésame de différents cultivars de la région Tadla Azilal en utilisant la technique de la mesure de l'angle de contact». 5ème édition du colloque Bioadh **2015**, du 05 au 07 Mai, Béni Mellal, Maroc.

- Rizki Hajar, Latrache Hassan, Mallouki Bouchra, **El Harfi Meriem**, Hanine hafida. « Etude de l'activité antibactérienne des huiles de sésame (*Sesamum indicum* L.) sur *Escherichia Coli*». 5ème édition du colloque Bioadh 2015, du 05 au 07 Mai, Béni Mellal, Maroc.

- Rizki Hajar, Latrache Hassan, Elfazazi Kawtar, **El Harfi Meriem**, lekchiri souad, Hanine Hafida. « Etude de l'effet de l'huile de sésame sur l'adhésion microbienne d'*Escherichia Coli* ATTC et *Escherichia Coli* d'origine alimentaire». 5ème édition du colloque Bioadh 2015, du 05 au 07 Mai, Béni Mellal, Maroc.

Communications orales :

- **El Harfi Meriem**, Hanine Hafida, Nabloussi Abdelghani, Latrache Hassan. «Antioxydant activity and antimicrobial activity of sesame oil (*Sesamum indicum* L) of Morocco». The second International Symposium on "Analytical Chemistry for a sustainable Development" - ACSD 2013- The Federation of African Societies of Chemistry (FASC) Congress May 7-9, 2013 Marrakech –Morocco.

- Le 1^{er} Séminaire National Scientifique d'Agriculture - Les Pistes D'Innovation pour communiquer sur les filières agricoles potentielles et les chaines de valeurs. «La filière Sésame (*Sesamum indicum* L.)». Le 02 Juin 2015, Béni Mellal, Maroc.

Résumé

L'ambitieux Plan Maroc Vert encourage la valorisation des produits de terroir du Maroc dont le sésame qui est spécifique de la zone Tadla. Cependant, il y a une méconnaissance totale du matériel végétal cultivé. Un diagnostic de la conduite technique de la culture du sésame et collecte d'accessions, basé sur une enquête auprès des producteurs dans la zone du Tadla, ont été réalisés. Le but de l'étude est la caractérisation agromorphologique, biochimique et moléculaire des accessions marocaines du sésame de la zone du Tadla, afin d'obtenir des informations qui pourraient aider à concevoir des stratégies pour le développement de cette culture au Maroc. Le diagnostic a relevé plusieurs faiblesses liées à la production du sésame dont les faibles surfaces emblavées, le faible recourt aux techniques modernes de production ainsi que les faibles rendements obtenus (> 1 t/ha). La variabilité agromorphologique entre les accessions marocaines, évaluée dans trois environnements différents, Afourer 2013, Afourer 2014 et Meknès 2014, n'est observée que pour trois caractères mesurés, à savoir la hauteur à la première gousse ($71,82 \pm 2,15$ cm), le nombre de graines par gousses ($61,39 \pm 1,65$) et le poids de mille graines ($3,20 \pm 0,05$ g). Cependant, l'environnement a un effet significatif sur la majorité des caractères étudiés. L'effet de l'année a été plus marquant pour l'environnement Afourer, avec une année 2014 plus favorable que l'année 2013. En comparaison avec les matériels génétiques étrangers, des différences significatives existent pour les caractères étudiés à l'exception de la longueur des gousses et le taux de croissance. Cette étude a permis aussi de montrer l'existence d'une variabilité biochimique statistiquement significative entre les différentes accessions de sésame marocain. La teneur moyenne en huile est de $60 \pm 3,43$ % alors que celle en polyphénols est de $52,08 \pm 3,65$ mg eqAG / kg d'huile. L'acide oléique et l'acide linoléique sont les principaux acides gras de l'huile du sésame marocain avec des valeurs moyennes respectives de 38,54%, et de 41,48%. En outre, les accessions marocaines sont avérées authentiques par rapport à leur teneur en acide stéarique ($8,15 \pm 0,3$ %). L'analyse génétique via les marqueurs ISSR, a montré que les accessions de sésame marocain sont caractérisées par une diversité génétique assez faible (PIC de 0,002 à 0,349), témoignant d'une proximité génétique des accessions de sésame étudiées. Cependant, une variation génétique élevée (PIC de 0,41 à 0,67) a été observée entre les accessions marocaines et les matériels génétiques étrangers utilisés dans la présente étude, pouvant être exploitée dans des programmes de croisement entre les deux matériels. Par ailleurs, les stress abiotiques ont un effet significatif sur la germination et la croissance précoce du sésame. La température optimale de germination est de 25°C pour les accessions marocaines brunes et jaunes, 40°C pour le matériel étranger blanc et 18°C pour le matériel génétique noir. Le stress hydrique a eu un effet inhibiteur plus prononcé sur la germination et la croissance précoce du sésame que le stress salin. Les accessions marocaines caractérisées par des semences jaunes et brunes sont plus tolérantes aux stress que les matériels génétiques étrangers caractérisés par des graines blanches et noires. La longueur des racines et / ou la longueur des pousses pourraient être considérées comme critères de sélection pertinents dans les programmes de sélection du sésame pour la tolérance à la sécheresse et à la salinité aux premiers stades de la culture.

Mots clés: Sésame, *sesamum indicum* L, Maroc, Zone Tadla, accessions, enquête, Techniques culturales, Caractérisation Agromorphologique, Biochimique et Moléculaire, Germination, Stress salin, hydrique et thermique.

Abstract

The ambitious "Green Morocco Plan" encourages the valorisation of the products of terroir of Morocco whose sesame which is specific to the zone Tadla. However, there is a complete ignorance of the cultivated plant material. A diagnostic of the technical management of the sesame crop and collection of accessions, based on a survey of producers in the Tadla area, was carried out. The aim of the study is the agromorphological, biochemical and molecular characterization of Moroccan sesame accessions in the Tadla area in order to obtain information that could help to design strategies for the development of this crop in Morocco. The diagnosis identified a number of weaknesses related to sesame production, including low cultivation area, low use of modern production techniques and low yields ($> 1 \text{ t / ha}$). The agromorphological variability between Moroccan accessions, evaluated in three different environments, Afourer 2013, Afourer 2014 and Meknes 2014, is observed only for three measured traits, namely the height at the first pod ($71.82 \pm 2.15 \text{ cm}$), the number of seeds per pod (61.39 ± 1.65) and the weight of one thousand seeds ($3.20 \pm 0.055 \text{ g}$). However, the environment has a significant effect on the majority of the traits studied. The effect of the year was more pronounced for the Afourer environment, with a year 2014 more favorable than the year 2013. Compared with foreign genetic material, significant differences exist for the traits studied with the exception of pod length and growth rate. This study also showed the existence of a statistically significant biochemical variability between the various accessions of Moroccan sesame. The average oil content is $60 \pm 3.43\%$ while that of polyphenols is $52.08 \pm 3.65 \text{ mg eq / kg oil}$. Oleic acid and linoleic acid are the main fatty acids of the Moroccan sesame oil with average values of 38.54% and 41.48% respectively. In addition, Moroccan accessions were found to be authentic with respect to their stearic acid content ($8.15 \pm 0.3\%$). Genetic analysis using the ISSR markers showed that the accessions of Moroccan sesame are characterized by a rather low genetic diversity (PIC of 0.002 to 0.349), indicating a genetic proximity of the sesame accessions studied. However, a high genetic variation (PIC of 0.41 to 0.67) was observed between the Moroccan accessions and the foreign genetic materials used in this study, which can be exploited in cross-breeding programs between the two materials. On the other hand, abiotic stresses have a significant effect on germination and early growth of sesame. The optimum germination temperature is 25°C for Moroccan brown and yellow accessions, 40°C for foreign white material and 18°C for black germplasm. Water stress had a more pronounced inhibitory effect on germination and early sesame growth than salt stress. Moroccan accessions characterized by yellow and brown seeds are more tolerant of stress than foreign genetic material characterized by white and black seeds. Root length and / or shoot length could be considered as relevant selection criteria in the sesame selection programs for drought and salinity tolerance in the early stages of the crop.

Keywords: Sesame, *sesamum indicum* L, Morocco, Tadla area, genetic material, survey, cultivation techniques, agromorphological, biochemical and molecular characterization, Germination, salt stress, drought and heat stress.

ملخص

يشجع مخطط المغرب الأخضر الطموح، تامين المنتجات المحلية في المغرب، من بينها السمسم الذي تتميز به منطقة تادلة. غير أن هناك جهلا تاما بالنبتة المزروعة. بناء على بحث ميداني توصلنا فيه مع فلاحي منطقة تادلة، قمنا بتشخيص تقنيات زراعة السمسم وجمع 33 عينة من البذور. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد الخصائص المورفولوجية، البيوكيميائية و الجزيئية بالنسبة للأنماط الجينية المغربية للسمسم بمنطقة تادلة، من أجل الحصول على المعلومات التي ستساعد على وضع إستراتيجيات لتطوير هذه الزراعة بالمغرب. أبان التشخيص على مجموعة من نقط الضعف المرتبطة بإنتاج السمسم، من بينها ضعف المساحات المزروعة، ضعف استعمال التقنيات الحديثة للإنتاج و أيضا ضعف المحصول ($1 > t/ha$). الإختلافات المورفولوجية بين الأنماط الجينية المغربية التي تم تقييمها في ثلاث بيئات مختلفة : أفورار 2013، أفورار 2014 و مكناس 2014، لم تلاحظ إلا على مستوى ثلاث خصائص وهي : إرتفاع أول فص ($71,82 \pm 2,15$ cm)، عدد البذور بكل فص ($61,39 \pm 1,65$) و وزن ألف بذرة ($3,20 \pm 0,05$ g). كما بينت الدراسة أن للبيئة تأثيرا على أغلب الخصائص المدروسة. أما التأثير السنوي فكان بارزا بالنسبة لبيئة أفورار، فسنة 2014 كانت ملائمة أكثر من سنة 2013. بالمقارنة مع المواد الجينية الأجنبية هناك إختلافات ذات دلالة إحصائية بالنسبة لجميع الخصائص المدروسة باستثناء طول الفص و نسبة النمو. أما على المستوى البيوكيميائي، أظهرت هذه الدراسة أيضا وجود فارق إحصائي هام بين مختلف الأنماط الجينية المغربية. فنسبة الزيت المتوسطة بالسمسم هي $3,43 \pm 0,60$ %، بينما نسبة البوليفينولات هي $52,08 \pm 3,65$ mg eqAG / kg من الزيت. حمض الأوليك و حمض اللينولييك هما الحمضين الأساسيين بزيت السمسم المغربي و تصل نسبة كل واحد منهما على التوالي إلى: $38,54$ % و $41,48$ % علاوة على ذلك، تبين أن الأنماط الجينية المغربية أصلية إعتقادا على نسبة حمض الستيارك بها ($0,3 \pm 8,15$ %). بينت التحاليل الوراثية باستعمال محددات ISSR، أن السمسم المغربي يتميز بتنوع جيني ضعيف ($0,002-0,349$ PIC)، مما يدل على تقارب جيني بين أنماط السمسم المدروسة. و لكن لوحظ أن هناك إختلافا وراثيا كبيرا ($0,41-0,67$ PIC) بين الأنماط الوراثية المغربية و الأجنبية المستعملة في هذه الدراسة. هذا الإختلاف يمكن استغلاله في برامج التلاحق بين المادتين الجينيتين. تبين أن الإجهاد اللاأحيائي له تأثير هام على الإنبات و النمو القبلي للسمسم. درجة الحرارة المثالية للإنبات هي $25^{\circ}C$ بالنسبة للبذور البنية و الصفراء، المميزة للأنماط الوراثية المغربية، $40^{\circ}C$ بالنسبة للبذور البيضاء و $18^{\circ}C$ بالنسبة للبذور السوداء. الإجهاد المائي له تأثير كبح للإنبات و النمو القبلي للسمسم أكبر من الإجهاد الملحي. الأنماط الوراثية المغربية المتميزة ببذور صفراء و بنية أكثر تحملا للإجهاد من المادة الجينية الأجنبية المتميزة ببذور بيضاء و سوداء. يمكن اعتبار طول الجذور و أو طول البراعم كمعايير إنتقاء بارزة في برامج إنتقاء السمسم المقاوم للجفاف و الملوحة خلال المرحلة الأولى للزراعة.

كلمات البحث:

السمسم، *Sesamum indicum* L. ، المغرب، منطقة تادلة، الأنماط الوراثية، المسح، التقنيات الزراعية، الخصائص المورفولوجية، البيوكيميائية و الجزيئية، الإنبات، الإجهاد الملحي، الجفاف و الإجهاد الحراري.

Liste des abréviations

AA : Activité antioxydante
ACP : Analyse en composantes principales
AG : Acides gras
AGE : Acides gras essentiels
AGI : Acides gras insaturés
AGS : Acides gras saturés
AGMI : Acides gras mono-insaturés
AGPI : Acides gras polyinsaturés
AFLP : Polymorphisme de longueur des fragments amplifiés
DPPH : 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl.
Ha : Hectare
ISSR : Inter-simple sequence repeat
LP : Longueur des pousses
LR : Longueurs des racines
PCR : Polymerase Chain Reaction
PG : Pourcentage de germination
PIC : Polimorphism information content
RAPD : Random Amplified Polymorphic DNA
RDL : ratio de désaturation linoléique
RDO : Ratio de désaturation oléique
SSR : Simple Sequence Repeat
TG : Taux de germination
TMG : Temps moyen de germination

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition biochimique moyenne du matériel végétal de sésame (a: Elleuch et al., 2007 ; b : Borchani et al., 2010).....	18
Tableau 2 : Composition minérale de la graine de sésame (a : Elleuch et al., 2007, b : Kapolna et al., 2007).....	20
Tableau 3 : Composition en acides gras des principales huiles végétales.....	24
Tableau 4 : Composition en acides gras de l'huile de sésame (Were et al., 2006b)	28
Tableau 5 : Description de quelques tests antioxydants chimiques in vitro.....	46
Tableau 6 : Matériels génétiques étrangers	65
Tableau 7 : Description morphologique, lieu de collecte et année de production des 33 accessions de sésame de la zone Tadla	66
Tableau 8 : Composition du mélange réactionnel pour PCR/ ISSR adapté au sésame.....	83
Tableau 9 : Matrice des corrélations simple entre les variables étudiées.....	93
Tableau 10 : Corrélations entre les variables étudiées et les 7 axes principaux de l'ACP	94
Tableau 11 : Résultats de l'analyse de la variance (carré moyen et niveau de signification) de 33 accessions de sésame évaluées en trois environnements différents à Afourar et Ain Taoujdat pendant 2013 et 2014.	101
Tableau 12 : Valeurs moyennes des caractères étudiés pour les trois environnements.	104
Tableau 13: Valeurs moyennes du taux de croissance de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents.....	105
Tableau 14 : Valeurs moyennes de la hauteur de la plante de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents.....	107
Tableau 15 : Valeurs moyennes du nombre de rameaux par plante de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents.....	109
Tableau 16 : Valeurs moyennes de la hauteur à la première ramification de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents	111
Tableau 17 : Valeurs moyennes de la hauteur à la première gousse de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents.....	112
Tableau 18 : Valeurs moyennes du nombre de gousses par plante de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents.....	114
Tableau 19 : Valeurs moyennes de la largeur des gousses de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents.....	116
Tableau 20 : Valeurs moyennes de la longueur des gousses de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents.....	117

Tableau 21 : Valeurs moyennes du nombre de graines par gousse de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents	119
Tableau 22 : Valeurs moyennes du poids de mille graines de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents	120
Tableau 23 : Valeurs moyennes du rendement total en graines (t/ha) de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents	122
Tableau 24 : Valeurs moyennes du rendement en graines par plante de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents	124
Tableau 25 : Valeurs moyennes de la teneur en huile de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents.....	126
Tableau 26 : Matrice de corrélation entre les caractéristiques agromorphologiques des accessions de sésame marocain.....	129
Tableau 27 : Résultats de l'analyse de la variance (carré moyen et niveau de signification) de 33 accessions de sésame en comparaison avec les 12 matériels génétiques étrangers évalués à Afourar pendant 2014.....	130
Tableau 28 : Valeurs moyennes des caractères étudiés dans l'environnement 2 pour les 33 accessions marocaines et les 12 matériels génétiques étrangers	133
Tableau 29 : Teneur en huile des 33 accessions de sésame marocains déterminée par soxhlet et estimée par RMN.....	136
Tableau 30 : Valeurs moyennes et écart-types des indices de qualité de l'huile de sésame des 33 accessions marocaines.....	138
Tableau 31 : Coefficient d'extinction à 232 nm et à 270 nm des huiles de sésame de 33 accessions marocaines.....	141
Tableau 32 : Composition en acides gras des 33 accessions de sésame de la zone Tadla du Maroc	146
Tableau 33 : Composition en acides gras des accessions du sésame cultivées dans la zone Tadla au Maroc par rapport aux autres collections du monde	148
Tableau 34 : AGS, AGI, AGMI, AGPI, RDO et RDL dans l'huile de graine de 33 accessions de sésame marocain provenant de divers endroits de la zone de Tadla.	149
Tableau 35 : Teneurs en huile des 33 accessions de sésame marocain évaluées dans trois environnements différents	151
Tableau 36 : Variation de l'extinction des huiles des accessions marocaines de sésame pour les trois environnements.....	154
Tableau 37 : Teneur en huiles des 12 matériels génétiques étrangers déterminée par soxhlet	160
Tableau 38 : Valeurs moyennes et écart types des indices de qualité des huiles de 12 matériels génétiques étrangers	162

Tableau 39 : Liste des 7 amorces ISSR utilisées, leurs séquences, types de répétition (TR), température d'hybridation (TH), taille des bandes, nombre total de marqueurs, nombre de marqueurs polymorphes (P) et monomorphes (M), indice de diversité génétiques (PIC) pour les accessions de sésame marocain	171
Tableau 40 : Coefficients de similarité ISSR enregistrées entre les individus d'accessions de sésame marocain et les nombres correspondants de paires d'accessions et de marqueurs différents.....	172
Tableau 41 : Liste des 7 amorces ISSR utilisées, leurs séquences, types de répétition (TR), température d'hybridation (TH), taille des bandes, nombre total de marqueurs, nombre de marqueurs polymorphes (P) et monomorphes (M), indice de diversité génétiques (PIC) pour les accessions de sésame marocain et les 12 matériels génétiques étrangers.....	178
Tableau 42 : Coefficients de similarité ISSR enregistrées entre les accessions de sésame marocain et les 12 matériels génétiques étrangers et les nombres correspondants de paires d'accessions et de marqueurs différents	181
Tableau 43 : Analyse de la variance (valeurs moyennes au carré) pour la germination et la croissance de quatre types de semences de sésame de couleurs différentes évaluées sous le stress hydrique, stress salin et des différentes températures	187

Liste des figures

Figure 1 : Photo d'une plante et fruits du sésame http://www.hvgardenjournal.com/2013/10/01/growing-sesame/	6
Figure 2 : Description de la plante du sésame (<i>Sesamum Indicum</i> L). (1) : fleur du sésame, (2) : gousse, (3) : graines de sésame, (4) : feuille du sésame, (5) : racine, (6) : coupe transversale d'une gousse, (7) : plante du <i>Sesamum Indicum</i> L. (www.plantillustration.org)...	7
Figure 3 : Photos des graines de sésame de différentes couleurs.....	8
Figure 4 : Principaux producteurs du sésame au monde en 2013 (FAOSTAT, 2015).....	9
Figure 5 : Evolution de la superficie cultivée en sésame dans la zone Tadla entre 2003 et 2014 (ORMVA Tadla, 2014)	10
Figure 6 : Evolution de la production en sésame dans la zone Tadla entre 2003 et 2014 (ORMVA Tadla, 2014)	10
Figure 7 : Evolution du rendement en sésame dans la zone Tadla entre 2003 et 2014 (ORMVA Tadla, 2014).	10
Figure 8 : Photos ullistrans la récolte du sésame (www.mp.haw-hamburg.de/pers/Kaspar-Sickermann/mm/m60546b.jpg).....	17
Figure 9 : Formule développée des principaux acides gras des huiles végétales.....	23
Figure 10 : Vue générale des voies de biosynthèse des lipides chez les plantes (D'après Mekhedov et al., 2000). X : Y, résidu acyl gras à X carbones et Y doubles liaisons ; G3P : Glycerol-3-phosphate ; LPA : 1 acyl-glycerol-3-phosphate ; PA : acidephosphatidique ; DAG : diacylglycerol ; MGDG : mono galactosyldiacylglycerol ; DGDG : digalactosyldiacylglycerol ; PC : phosphatidyl choline ; PI : phosphatidyl inositol ; PE : phosphatidyl ethanolamine.....	26
Figure 11 : Structure des tocophérols (Laguerre et al., 2007).....	30
Figure 12 : Structure chimique du β -carotène.....	31
Figure 13 : Les différentes classes de polyphénols (Hmid, 2013)	34
Figure 14 : Les lignanes liposolubles ou dispersés dans l'huile du sésame (Moazzami, 2006).	37
Figure 15 : Les lignanes glucosides isolés par Katsuzaki et al., (1992, 1993, 1994a, b) dans la farine dégraissée du sésame (Moazzami, 2006).....	38
Figure 16 : Transformation de lignanes de sésame pendant le blanchiment et l'hydrolyse (Moazzami, 2006).	40
Figure 17 : Les stades de la germination et de l'émergence de la graine de sésame. (a) semences sèches, (b, c) semences imbibées ; (d, e, f) l'émergence des radicules ; (g) apparition du chevelu racinaire ; (h, i) Hypocotyle arc est présent ; (j, k) cotylédons pliés sur la surface du sol ; (l) cotylédons entièrement ouverts (Zavareh et al., 2008).	51

Figure 18 : Carte montrant les lieux d'enquête et de collecte des accessions de sésame dans la zone de Tadla au Maroc.	64
Figure 19 : Plan de l'essai d'évaluation de 33 accessions de sésame marocain évaluées dans l'environnement Afourar en 2013 et l'environnement Ain Taoujdate en 2014.	69
Figure 20 : Plan de l'essai d'évaluation de 33 accessions de sésame marocain et 12 matériels génétiques étrangers évalués dans l'environnement Afourar en 2014.	70
Figure 21 : Extraction et purification de l'ADN des plantes.	83
Figure 22 : Projection des individus (agriculteurs) sur le plan de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) formé par les axes principaux 1 et 2.	97
Figure 23 : Projection des individus (agriculteurs) sur le plan de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) formé par les axes principaux 1 et 3.	98
Figure 24 : Projection des individus (agriculteurs) sur le plan de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) formé par les axes principaux 2 et 3.	99
Figure 25 : Photos de l'essai dans l'environnement 1 et l'environnement 3	103
Figure 26 : Teneur en chlorophylle et en caroténoïdes des huiles de 33 accessions de sésame au Maroc.	143
Figure 27 : Teneur en polyphénols totaux des huiles des 33 accessions de sésame au Maroc	144
Figure 28 : Activité antioxydante des huiles des 33 accessions de sésame au Maroc déterminée par la méthode DPPH	144
Figure 29 : Variation des coefficients d'extinction K232 et K270 des huiles d'accessions marocaines de sésame pour les environnements 1 (a), 2 (b) et 3 (c).	154
Figure 30 : Variation de la teneur en caroténoïdes des huiles des accessions marocaines de sésame évaluées dans trois environnements 1(a), 2(b) et 3(c).	157
Figure 31 : Variation de la teneur en chlorophylle des huiles des accessions de sésame dans les trois environnements 1(a), 2(b) et 3(c).	158
Figure 32 : Variation de la teneur en polyphénols pour les différentes accessions de sésame dans les trois environnements.	160
Figure 33 : Activité antioxydante des huiles des accessions de sésame marocain dans les trois environnements	160
Figure 34 : Variation des coefficients d'extinction des huiles des matériels génétiques étrangers ; a (K232 et 270) et b ; ΔK	164
Figure 35 : Variation de la teneur en chlorophylle des huiles des 12 matériels génétiques étrangers.	165
Figure 36 : Teneur en caroténoïdes des huiles des 12 matériels génétiques étrangers.	165
Figure 37 : Variation de la teneur en polyphénols totaux dans les huiles des 12 matériels génétiques étrangers.	166

Figure 38 : Pourcentage de piégeage des radicaux libres des huiles des 12 matériels génétiques étrangers.	167
Figure 39 : Profil PCR d'amplification de l'amorce ISSR F9 des accessions de sésame marocain.	170
Figure 40 : Distribution des fréquences de similarité génétique pour toutes les paires parmi les 33 accessions de sésame marocain.	174
Figure 41 : Dendrogramme généré pour les individus des 33 accessions de sésame marocains en utilisant une analyse de cluster UPGMA.	176
Figure 42 : Profil PCR d'amplification de l'amorce F11 des accessions du sésame marocaines et 12 matériels génétiques étrangers à l'aide des marqueurs ISSR.	177
Figure 43 : Distribution des fréquences de similarité génétique pour toutes les paires parmi les 33 accessions de sésame marocain et les 12 matériels génétiques étrangers.	181
Figure 44 : Dendrogramme généré pour 33 accessions de sésame et les 12 matériels génétiques étrangers en utilisant une analyse de cluster UPGMA.	185
Figure 45 : Variation du pourcentage de germination de 4 types de semences germées sous différents potentiels osmotiques (PO) de NaCl (A) et PEG (B).	189
Figure 46 : Variation du taux de germination de 4 types de semences germées sous différents potentiels osmotiques (PO) de solutions de NaCl (A) et de PEG (B).	190
Figure 47 : Variation du temps moyen de germination de 4 types de semences germées sous différents potentiels osmotiques (PO) de solutions de NaCl (A) et de PEG (B).	191
Figure 48 : Variation du pourcentage de la germination de 4 types de semences germées sous différentes températures.	192
Figure 49 : Variation du taux de germination de 4 types de semences germées sous différentes températures.	193
Figure 50 : Variation du temps moyen de germination de 4 types de semences germées sous différentes températures.	193
Figure 51 : Variation de la longueur des racines de jeunes plantules issues de 4 types de semences germées sous différents potentiels osmotiques (PO) de solutions de NaCl (A) et de PEG (B).	195
Figure 52 : Variation de la longueur des pousses de jeunes plantules issues de 4 types de semences germées sous différents potentiels osmotiques (PO) des solutions de NaCl (A) et de PEG (B).	197
Figure 53 : Variation de la longueur des racines des jeunes plantules de 4 types de semences germées sous différentes températures.	198
Figure 54 : Variation de la longueur des pousses des jeunes plantules de 4 types de semences germées sous différentes températures.	199

Sommaire

Introduction générale.....	1
Partie I : Revue Bibliographique.....	4
CHAPITRE-I : GENERALITES SUR LA CULTURE DU SESAME.....	5
I. Généralités sur le sésame.....	5
I.1. Botanique et Taxonomie du sésame	5
I.2. Morphologie et biologie du sésame	6
I.2.1. L'appareil végétatif.....	6
I.2.2. L'appareil reproducteur	7
I.3. Pays et zones de production de sésame.....	9
I.4. Origine et répartition géographique	11
I.5. Exigences écologiques de la culture	12
I.6. Facteurs influant sur la croissance et le développement.....	13
I.6. 1. La température.....	13
I.6. 2. La lumière	13
I.6.3. L'eau	13
I.7. Ennemis de la culture du sésame	14
I.8. Intérêt de la culture	15
I.9. Conduite technique de la culture de sésame	15
I.9.1. Semis	16
I.9.2. Fertilisation.....	16
I.9.3. Irrigation.....	16
I.9.4. Entretien et traitement phytosanitaire	16
I.9.5. Récolte.....	17
II. Composition de la graine de sésame	18
II.1. Protéines	19
II.2. Carbohydrates	19
II.3. Eléments minéraux	19
II.4. Vitamines.....	20
II.5. Teneur en huile et composition en acides gras des graines de sésames	21
II.6. Composition de l'huile de sésame	22
II.6.1. Les composés majoritaires des huiles végétales	22
II.6.1.1. Les triglycérides	22
II.6.1.2. Les acides gras	22
II.6.1.3 La biosynthèse d'acides gras et de triglycérides dans les graines oléagineuses	25
II.6.2. Les composés minoritaires des huiles végétales.....	27
II.6.3. Composition en acides gras de l'huile de sésame.....	27

II.7. Les Antioxydants	28
II.7.1. Les vitamines	29
II.7.2. Les minéraux.....	31
II.7.3. Les caroténoïdes.....	31
II.7.4. Chlorophylles	32
II.7.5. Les polyphénols	32
II.7.5.1. Les flavonoïdes	35
II.7.5.2 Les phytostérols.....	35
II.7.5.3. Les acides phénoliques.....	36
II.7.5.4. Les lignanes.....	36
II.7.5.4.1 Chimie et biosynthèse des lignanes	38
II.7.5.5. Propriétés antioxydantes du sésame	40
II.7.5.5.1. Radicaux libres et stress oxydatif	40
II.7.5.5.2. Protection cellulaires des antioxydants.....	42
II.7.5.5.3. Systèmes antioxydants enzymatiques endogènes.....	43
II.7.5.5.4. Systèmes antioxydants non-enzymatiques	43
II.7.5.5.5. Activité antioxydante du sésame	44
III. Utilisations diversifiées de l'huile et de la graine de sésame.....	47
III.1. Utilisation à des fins nutritionnelles.....	47
III.2. Utilisation de sésame à des fins pharmaceutiques.....	48
III.3. Applications non alimentaires	49
CHAPITRE II. GENERALITES SUR LA GERMINATION DU SESAME	50
I. Définition de la germination.....	50
II. Facteurs influant sur la germination.....	51
III. Hétérogénéité de la germination	52
IV. Influence des contraintes abiotiques sur la germination.....	52
V. Effet des stress abiotiques sur la germination du sésame	52
CHAPITRE III. DIVERSITE GENETIQUE DU SESAME	55
I. Marqueurs agromorphologiques	55
II. Marqueurs moléculaires	56
III. Diversité biochimique du sésame	58
IV. Conservation du sésame et collections de base	58
V. Objectifs de la sélection	59
VI. Variétés et méthodes de sélection du sésame	60
Partie II : Démarche expérimentale.....	61
CHAPITRE I : ETUDE DE LA CONDUITE TECHNIQUE DU SESAME ET COLLECTE DE RESSOURCES GENETIQUES DANS LA ZONE TADLA	62
I. Introduction	62
II. Présentation de la zone d'étude	62
III. Méthodologie	63
CHAPITRE II : CARACTERISATION AGROMORPHOLOGIQUE DE 33 ACCESSIONS DE SESAME MAROCAIN.....	65
I. Matériel végétal	65

II. Méthodologie	67
II.1. Environnements de l'étude	67
II.2. Expérimentation.....	70
II.3. Suivi de l'essai expérimental	70
II.4. Les Paramètres étudiés	70
CHAPITRE III : CARACTERISATION BIOCHIMIQUES DE 33 ACCESSIONS DE SESAME AU MAROC	
.....	71
I. Matériels et méthodes	71
I.1. Matériel végétal	71
I.2. Détermination de la teneur en huile	71
I.2.1. Définition	71
I.2.2. Méthode de référence (Soxhlet)	71
I.2.3. Estimation de la teneur en huile par Résonance Magnétique Nucléaire (RMN)	
.....	72
I.3. Détermination des indices de qualité des huiles extraite (Caractéristiques physico-chimiques)	72
I.3.1. Détermination de l'acidité	72
I.3.1.1. Définition.....	72
I.3.1.2. Principe	73
I.3.1.3. Expression de résultats	73
I.3.2. Détermination de l'indice de peroxydes.....	73
I.3.2.1. Définition.....	73
I.3.2.2. Principe	74
I.3.2.3. Expression de résultats	74
I.3.3. Détermination de l'indice d'iode.....	74
I.3.3.1. Définition.....	74
I.3.3.2. Principe	74
I.3.3.3. Expression de résultats	75
I.3.4. Détermination de l'indice de saponification	75
I.3.4.1. Définition.....	75
I.3.4.2. Principe	75
I.3.4.3. Expression de résultats	75
I.3.5. Détermination des coefficients d'extinction K232 et K270.....	76
I.3.5.1. Définition.....	76
I.3.5.2. Principe	76
I.3.5.3. Expression de résultats	76
I.4. Détermination de la chlorophylle et des caroténoïdes des huiles	77
I.5. Détermination de la teneur en polyphénols totaux des huiles extraites	78
I.6. Détermination de l'activité antioxydante des huiles extraites des accessions de sésame	78
I.7. Détermination de la composition en acides gras.....	79
I.7.1. Définition	79
I.7.2. Détermination du taux de désaturation des acides gras.....	79

CHAPITRE IV : CARACTERISATION MOLECULAIRE DES ACCESSIONS DE SESAME DU MAROC VIA LES MARQUEURS ISSR	81
I. Matériel végétal	81
II. Protocole d'extraction de l'ADN génomique.....	81
III. Evaluation de la qualité et de la quantité d'ADN extrait	82
IV. Procédures d'amplification de l'ADN du sésame par PCR.....	82
V. Amplification de l'ADN du sésame par PCR/ISSR.....	83
VI. Analyse des données ISSR	83
VII. Paramètres descriptifs de la diversité génétique.....	84
CHAPITRE V : ETUDE DE L'EFFET DU STRESS SALIN, DU STRESS HYDRIQUE ET DE LA TEMPERATURE SUR LA GERMINATION DES GRAINES DE SESAME	86
I. Matériel végétal	86
II. Méthodologie	86
Partie III : Résultats et Discussions.....	88
CHAPITRE I : ETUDE DE LA CONDUITE TECHNIQUE DU SESAME ET COLLECTE D'ACCESSIONS DE SESAME DANS LA ZONE TADLA	89
I. Etude descriptive	89
I.1. Précédent culturel.....	89
I.2. Préparation du lit de semence	89
I.3. Semis.....	89
I.4. Entretien de la culture	90
I.5. Fertilisation	90
I.6. Protection phytosanitaire	90
I.7. Irrigation	90
I.8. Récolte et séchage.....	91
I.9. Rendement	91
I.10. Stockage et commercialisation.....	91
II. Etude analytique	92
Conclusion.....	99
CHAPITRE II : CARACTERISATION AGROMORPHOLOGIQUES DES ACCESSIONS DE SESAME AU MAROC.....	100
I. Effet de l'accession et de l'environnement sur les caractères étudiés.....	100
II. Diversité des environnements	102
III. Diversité des accessions.....	104
III.1. Taux de croissance	104
III.2. Hauteur de la plante.....	106
III.3. Nombre de rameaux principaux par plante	108
III.4. Hauteur à la première ramification.....	110
III.5. Hauteur à la première gousse	112
III.6. Nombre de gousses par plante.....	113
III.7. Largeur et longueur des gousses	115
III.8. Nombre de graines par gousse	118

III.9. Poids de mille graines	120
III.10. Rendement en graines par hectare.....	121
III.11. Rendement en graines par plante.....	123
III.12. La teneur en huile des accessions marocaines.....	125
III.13. Corrélation entre les paramètres agromorphologiques mesurés	127
VI. Diversité des accessions marocaines en comparaison avec les 12 matériels génétiques étrangers.....	130
Conclusion.....	134
CHAPITRE III : CARACTERISATION BIOCHIMIQUE DES ACCESSIONS DE SESAME MAROCAIN..	135
I- Caractérisation biochimiques des 33 accessions de sésame du Maroc	135
I.1. Teneur en huile des 33 accessions de sésame	135
I.3. Détermination des indices de qualité	137
I.3.1. L'acidité	137
I.3.2. Indice de saponification	137
I.3.3. Indice de peroxyde	139
I.3.4. Indice d'iode.....	139
I.3.5. Coefficient d'extinction.....	139
I.4. Détermination de la teneur en Chlorophylle et en caroténoïdes	141
I.5. Teneur en polyphénols totaux et activité antioxydante.....	142
I.6. Composition en acides gras des huiles de sésame des différentes accessions étudiées	144
I.7. Détermination des Ratios de désaturation des acides gras.....	149
II. Effet de l'environnement et de l'année sur les caractéristiques biochimiques des 33 accessions du sésame marocain	150
II.1. Teneur en huile	150
II.2. Analyse spectrophotométrique dans l'ultraviolet	152
II.3. Teneur en chlorophylle et en caroténoïdes	155
II.4. Teneur en polyphénols totaux et Activité antioxydante	158
III. Caractérisation biochimique du matériel génétique étranger.....	160
III.1. Teneur en huile.....	160
III.2. Paramètres de qualité	160
III.3. Chlorophylle et caroténoïde	163
III.4. Activité antioxydante et polyphénols	165
Conclusion :	167
CHAPITRE IV : CARACTERISATION MOLECULAIRE DES ACCESSIONS DE SESAME MAROCAIN	168
I. Caractérisation moléculaire des accessions de sésame marocain via les marqueurs ISSR	168
I.1. Polymorphisme	168
I.2. La similarité génétique.....	172
I.3. L'indice de diversité génétique PIC.....	174
I.4. Relation génétique entre les accessions de sésame marocain selon ISSR	174

II. Caractérisation moléculaire des accessions du sésame marocain en comparaison avec les matériels génétiques étrangers via les marqueurs ISSR	176
II.1. Pourcentage du polymorphisme au sein de 33 accessions de sésame marocain, et 12 matériels génétiques étrangers	176
II.2. Similarité génétique	179
II.3. Indice de Diversité génétique PIC	182
II.4. Relation génétique entre les 33 accessions marocaines de sésame et les 12 matériels génétiques étrangers selon ISSR.....	182
Conclusion.....	185
CHAPITRE V : ETUDE DE L'EFFET DU STRESS SALIN, DU STRESS HYDRIQUE ET DE LA TEMPERATURE SUR LA GERMINATION DES SEMENCES DU SESAME DE DIFFERENTES COULEURS	
.....	186
I. Effets des contraintes de l'eau, du sel et de la couleur des semences sur la germination des graines.....	186
II. Effets des différentes températures et la couleur des semences sur la germination des graines	191
III. Effets des stress hydrique et salin et de la couleur des semences sur la croissance des jeunes plantules de sésame.....	193
IV. Effets de la température et de la couleur des semences sur la croissance précoce des jeunes plantules	197
Conclusion.....	202
Conclusions générales et recommandation	203
Références bibliographiques	206
Annexes.....	232

Introduction générale

Le sésame (*Sesamum indicum* L) est probablement la plus ancienne culture oléagineuse connue et utilisée par l'Homme (Bedigian, 2003). Cultivé principalement dans les régions tropicales et subtropicales, le sésame est également cultivé dans des régions arides et semi arides du monde et pourrait être considéré aussi à cet effet comme une culture irriguée dans ces régions. Il est très sensible aux conditions environnementales, telles que les basses températures, l'humidité et la qualité du sol, qui peuvent affecter son rendement et sa qualité (CIRAD, 2002). Il est actuellement cultivé de façon extensive en Afrique, en Asie et en Amérique latine pour ses graines comestibles dont on extrait aussi de l'huile (Romain, 2001). La production mondiale du sésame est assurée par les petits exploitants des pays en voie de développement de la zone tropicale sèche. Elle est de l'ordre de 4,8 millions de tonnes en 2013 (FAOSTAT, 2015), issues de 65 pays. La consommation mondiale du sésame est principalement concentrée sur le continent eurasiatique et très implantée dans les cuisines orientales. La graine et l'huile de sésame sont utilisées dans une grande diversité de plats allant de la pâtisserie aux sauces en passant par la confiserie ou encore les sushis.

Actuellement, le sésame est reconnu comme une plante à faible potentiel de production par rapport aux autres graines oléagineuses. En effet, les rendements moyens dans les pays producteurs sont faibles et ne dépassent guère 1 t/ha en culture pluviale. De ce fait, sa production n'est pas sérieusement prise en considération dans beaucoup de pays. Cependant, elle présente de nombreuses potentialités sur le plan économique et agronomique. En effet, la graine de sésame est classée parmi les principales graines oléagineuses tropicales, capables de constituer des sources commerciales d'huiles comestibles et éventuellement de protéines, après celle du coton et de l'arachide. La teneur en huile est de 35 à 60 % selon les variétés et les conditions de culture (Weiss, 1971). Dans les pays développés, en dehors de l'alimentation humaine, l'huile de sésame est aussi utilisée dans les industries pour la fabrication de divers produits (savon, peinture, insecticide, produits pharmaceutiques etc.). Les tourteaux ou la farine dégraissée contiennent une forte proportion de protéine (40 à 50 % dans le tourteau et 56 à 60 % dans la farine résiduelle) et constituent des aliments de grande valeur nutritive pour les vaches laitières. Mais dans la plupart des pays producteurs, le sésame est à la fois un produit vivrier et d'exportation. Aujourd'hui, la culture du sésame s'inscrit dans le cadre de l'amélioration des conditions de vie des populations rurales dans plusieurs pays en voie de développement. Au cours des dernières années, le prix du sésame a connu une nette hausse

sur le marché international. La principale explication semble être une demande chinoise pour le sésame qui continue de connaître une forte croissance. Aux commandes chinoises régulières et importantes s'ajoutent des commandes non négligeables des pays occidentaux et du Moyen-Orient.

Les huiles végétales constituent une denrée irremplaçable dont la consommation augmente pour cause de croissance démographique mondiale. Cette demande accrue d'huiles végétales, pour des applications tant industrielles qu'alimentaires, met en lumière un besoin d'amélioration de production. Comme pour tous procédés industriels ayant à faire face à cette problématique, leur amélioration est orientée vers une augmentation du rendement en graines, de la qualité nutritionnelle obtenue ainsi que vers l'adaptation aux conditions de changements climatiques.

La diversité culturelle transmise à travers les générations et la grande richesse en biodiversité reflétée par la multitude des écosystèmes écologiques ont fait du Maroc une source riche en produits de terroir dont plusieurs sont endémiques. Conscient de ce potentiel, le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime a réservé aux produits de terroir une place dans sa nouvelle stratégie de développement agricole, le Plan Maroc Vert, lancé par Sa Majesté le Roi à Meknès en Avril 2008. Ainsi, le sésame étant un produit de terroir spécifique de la zone de Tadla représente l'un des projets du premier pilier du Plan Agricole Régional. La superficie moyenne occupée par le sésame au Maroc est de l'ordre de 2.500 ha, avec un rendement moyen ne dépassant pas 0,8 t/ha et une production moyenne de 1800 t/an (PMV, 2008) répartie entre le périmètre de Tadla avec 90 % et Meknès et Safi avec 10 % de la production. Malgré les potentialités de la région Tadla, productrice du sésame au Maroc par excellence, cette filière reste peu développée à cause de plusieurs contraintes, dont notamment la non utilisation de variétés améliorées, la rareté de l'eau d'irrigation, le faible recours aux techniques modernes de production, la faible valorisation de la production et la non organisation du circuit de commercialisation. Aussi, y a-t-il des importations importantes en graines et en huile de sésame chaque année. La bonne valeur marchande du sésame ouvre à l'heure actuelle de nouvelles perspectives pour des pays en voie de développement comme le nôtre. En effet, le développement de cette filière pourrait contribuer à un intérêt économique certain du monde rural vu la demande de plus en plus forte du produit au niveau national et international. Depuis 2009, l'INRA de Tadla a initié des activités de recherche et des études visant l'amélioration de la conduite technique de cette culture. Cependant, ces activités restent assez limitées et ne touchaient pas d'autres aspects très importants qui viennent en amont et

en aval de la filière. En amont ainsi qu'en aval, le matériel végétal (semences) utilisé par les producteurs au Maroc est méconnu et aucune étude scientifique n'a été réalisée pour sa caractérisation et sa valorisation. De plus, aucune étude comparative de l'effet des stress abiotiques sur les paramètres de germination et de croissance précoces du sésame n'a été effectuée.

Ainsi, le présent travail constitue une contribution à la caractérisation du sésame marocain en s'appuyant sur plusieurs volets complémentaires qui font appel à différentes approches.

Ce travail de thèse est subdivisé en trois parties. La première partie consiste en une revue bibliographique sur différents aspects concernant la plante du sésame, sa production au Maroc et dans le monde et sa composition chimique. Dans la deuxième partie, ont été présentés les matériels utilisés et les méthodologies suivies pour la réalisation de ce travail. La troisième partie est consacrée à la présentation des résultats obtenus et à leur discussion. Elle est subdivisée en cinq chapitres qui décrivent successivement :

- 1) les résultats relatifs à l'enquête réalisée auprès des producteurs du sésame dans la zone Tadla ;
- 2) la caractérisation agromorphologique des accessions de sésame collectées de la zone Tadla et comparaison avec 12 matériels génétiques étrangers ;
- 3) la caractérisation biochimique des accessions de sésame collectées lors de la réalisation de l'enquête ainsi que des semences produites suite à la caractérisation de ces accessions dans trois environnements différents ;
- 4) la caractérisation moléculaire des accessions de sésame marocain en comparaison avec des matériels génétiques étrangers ;
- 5) l'étude de l'effet du stress hydrique, du stress salin et de la température sur la germination et la croissance des semences de sésame de différentes couleurs ;
- 6) l'étude de l'effet de l'accession et de l'environnement sur différents caractères morphologique et biochimique du sésame ;
- 7) l'identification des accessions présentant des caractères de graines intéressants pour les incorporer dans un programme d'amélioration génétique.

Partie I : Revue Bibliographique

Chapitre-I : Généralités sur la culture du sésame

I. Généralités sur le sésame

I.1. Botanique et Taxonomie du sésame

Le sésame est l'une des plus anciennes et importantes cultures oléagineuses (Mabberley et al., 1997). Il est généralement autogame (Pathirana, 1994), bien que des taux de pollinisation croisée différents (de 1 à 68 %) ont été rapportés par Yermanos, (1980), Ashri, (2007) et Sarker, (2004). Le sésame appartient au genre *Sesamum* (Ashri, 1998), l'un des 16 genres de la famille Pedaliaceae (Woldemariam, 1990).

Le genre *Sesamum* contient 36 espèces, identifiées dans le monde avec 22 espèces répartis en Afrique, cinq en Asie, sept autres en Afrique et en Asie, et seulement une seule espèce en Crète et l'autre au Brésil (Kobayashi et al., 1990). Ces espèces sont largement distribuées en Afrique tropicale, à Madagascar et dans le sous-continent indien et en Malaisie (Annapurna et al., 2008). Parmi ces espèces, *Sesamum indicum* L. étant la plus cultivée (Nayar et Mehra, 1970 ; Kobayashi et al., 1990 ; Ashri, 1998).

Le genre *Sesamum* comprend trois groupes cytogénétiques (Kobayashi et al., 1990);

Le premier à $2n = 26$ chromosomes et il comprend les espèces cultivées : *S. indicum*, *S. alatum*, *S. capense*, *S. schenckii*, et *S. malabaricum*.

Le deuxième groupe à $2n = 32$ chromosomes se compose de *S. prostratum*, *S. laciniatum*, *S. angolense*, *S. angustifolium*.

Le troisième groupe à $2n = 64$ chromosomes est composé de *S. Radiatum*, *S. occidentale*, *S. schinzianum*.

Noms alternatifs

Noms communs : beni ; benne ; beniseed

Noms scientifiques : *Sesamum indicum*

Classification :

Règne : *Plantae*

Embranchement : *Angiosperme*

Classe : *Dicotylédones*

Sous-classe : *Asteridae*

Ordre : *Scrophulariales*

Famille : *Pedaliaceae*

Genre : *Sesamum*

Espèce : *Sesamum indicum* L.

Principalement en raison de la différence dans le nombre chromosomique dans les trois groupes cyto-taxonomiques, il existe peu de compatibilité de croisement entre les espèces. Par conséquent, il est difficile de transférer au sésame cultivé des caractères souhaitables comme la tolérance à la sécheresse et aux parasites et la résistance aux maladies, à partir des espèces sauvages apparentées (Carlsson et al., 2008).

I.2. Morphologie et biologie du sésame

Le sésame est une espèce annuelle (Figure 1). Il existe de nombreuses variétés et écotypes de sésame adaptés aux différentes conditions écologiques (Nzikou et al., 2009). La diversité variétale de *Sesamum indicum* L. concerne la taille et la ramification des plantes, la forme et la couleur des fleurs, la taille et la couleur des graines, et la composition chimique des graines (Peter, 2004).



Figure 1 : Photo d'une plante et fruits du sésame

<http://www.hvgardenjournal.com/2013/10/01/growing-sesame/>

I.2.1. L'appareil végétatif

Le sésame peut atteindre une hauteur qui varie de 0,5 à 2 m selon les variétés. Toutefois, les variétés qui ont de 1 à 1,4 m de hauteur sont les plus fréquentes (Ashri, 2007). Le système racinaire est du type pivotant avec un réseau dense de racines secondaires (Figure 2). La racine principale a environ 90 cm de longueur et elle est très influencée par les conditions

édaphoclimatiques (Griffée, 2001). La tige a une section quadrangulaire et elle est cannelée, unique ou ramifiée selon les variétés (Griffée, 2001). La morphologie des feuilles est variable selon la variété et l'âge de la plante. En général, les feuilles de la base sont palmées ou lobées, et sont plus longues et plus larges que les autres. Les feuilles intermédiaires de la tige principale peuvent être entières et lancéolées, tandis que les feuilles situées sur la partie supérieure de la plante sont lancéolées et très étroites. Elles mesurent entre 3 à 17,5 cm de longueur et 1 à 7 cm de largeur, avec un pétiole de 1 à 5 cm de longueur (Weiss, 1971). En général, les variétés non ramifiées arrivent à maturité plus tôt que les variétés ramifiées (Oplinger et al., 1990).



Figure 2 : Description de la plante du sésame (*Sesamum Indicum* L). (1) : fleur du sésame, (2) : gousse, (3) : graines de sésame, (4) : feuille du sésame, (5) : racine, (6) : coupe transversale d'une gousse, (7) : plante du *Sesamum Indicum* L. (www.plantillustration.org)

I.2.2. L'appareil reproducteur

Les fleurs sont blanches, rose ou mauve-rose avec cinq étamines dans chaque fleur qui sont insérées à la base de la corolle (Figure 2). Les fleurs apparaissent à l'aisselle des feuilles,

fixées sur un court pédoncule à la partie supérieure de la tige principale et des rameaux. Elles sont solitaires, occasionnellement groupées en inflorescence de 2 à 3 fleurs par axile (Sikka et Gupta, 1957). A des températures inférieures à 15 °C ou au-dessus de 40 °C, il se produit une réduction de la fécondation, de la taille des graines voire une stérilité du pollen (Kafiriri et Mponda, 2013). Le fruit est capsulaire, oblong et quadrangulaire avec quatre rainures profondes de 1,5 à 5 cm de longueur. La longueur de la capsule peut aller de 2,5 à 8 cm avec un diamètre de 0,5 à 2 cm, alors que le nombre de loges de capsule est de 4 à 12. Il y a une grande variabilité dans la couleur du tégument de la graine de sésame qui peut aller du noir au blanc, en passant par des couleurs intermédiaires (par exemple brun ou jaune) (Zhang et al., 2013). Les graines de sésame ont 2,5 à 3 mm de longueur et environ 1,5 mm de largeur (Figure 3) (Naturland, 2002). La couleur du tégument de la graine de sésame a été largement étudiée et il a été démontré qu'elle était liée à la composition en acides aminés (Lee et al., 1990), la teneur en huile (Namiki, 1995; Were et al, 2001; Zhang et al., 2004) et la capacité antioxydante (Lee et al., 1999; Lee et al., 2002; Moazzami et Kamal-Eldin, 2006; Shahidi et al., 2006). Gutierrez et al., 1994, ont trouvé que la couleur du tégument est contrôlée par deux gènes indépendants avec des effets complémentaires et une dominance complète à chaque locus. Comparées aux graines blanches du sésame, les graines noires ont généralement des teneurs plus élevées en cendres et en glucides, et des teneurs plus faibles en protéines, en huile et en humidité (Kanu, 2011). Les flavonoïdes, y compris les anthocyanines, jouent un rôle important dans la modification et la variation de la couleur des graines de sésame (Mol et al., 1998).



Figure 3 : Photos des graines de sésame de différentes couleurs

I.3. Pays et zones de production de sésame

Le Myanmar, l'Inde, la Chine, le Soudan et la tanzanie sont les plus grands producteurs mondiaux du sésame en 2013, suivis de l'Ethiopie, l'Uganda, le Nigeria, le Burkina Fasso et le Niger. En 2013, une superficie globale de l'ordre de 9,4 millions d'hectares a été emblavée par cette culture et la production mondiale en graines a avoisiné 4,8 millions de tonnes, correspondant à un rendement moyen aux alentours de 5,1 q/ha (FAOSTAT, 2015). Le Myanmar étant le premier producteur du sésame au monde avec une production de l'ordre de 890.000 t, suivie de l'Inde, ayant une production de 663.000 t. En Afrique, le premier producteur est le Soudan, avec 562.000 t (FAOSTAT, 2015) (Figure 4).

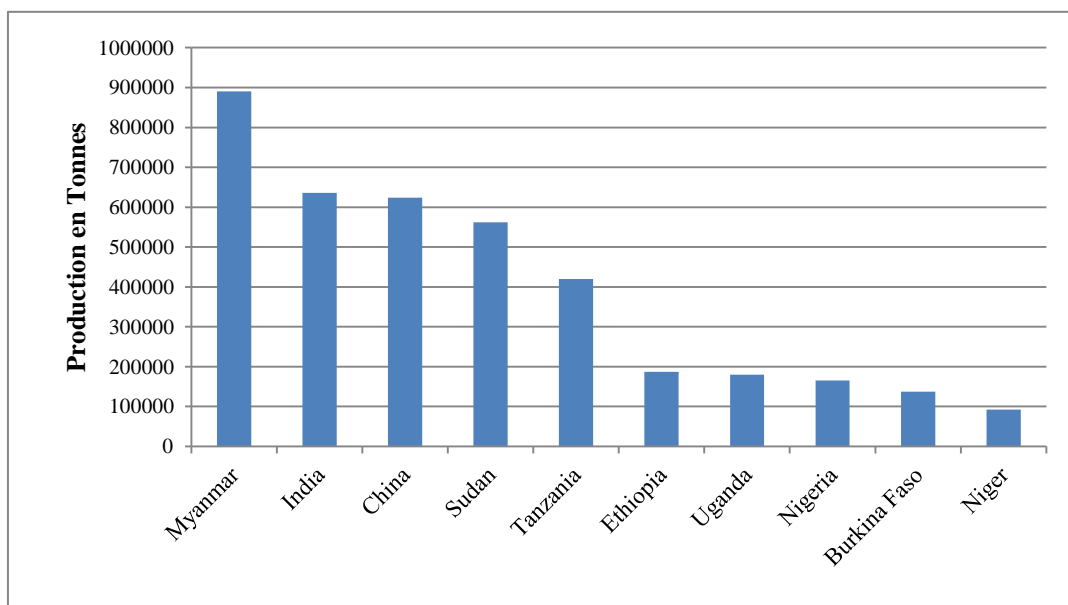


Figure 4 : Principaux producteurs du sésame au monde en 2013 (FAOSTAT, 2015).

Au Maroc, les superficies, les productions et les rendements en graines de sésame dans la zone de Tadla connaissent des fluctuations en fonction des conditions climatiques et de la demande du marché (ORMVAT, 2014). La superficie moyenne au cours des dix dernières années est de l'ordre de 1583 Ha. Pour la campagne 2014, la superficie a atteint 1110 Ha (Figure 5), ce qui représente près de 68 % d'augmentation par rapport à l'année 2013. La chute drastique des superficies après 2009 peut être due au prix de vente bas de la production. Le rendement moyen ne dépasse pas 8 q/ha (Figure 7) et la production moyenne avoisine 1500 t par année (Figure 6) (ORMVAT, 2014).

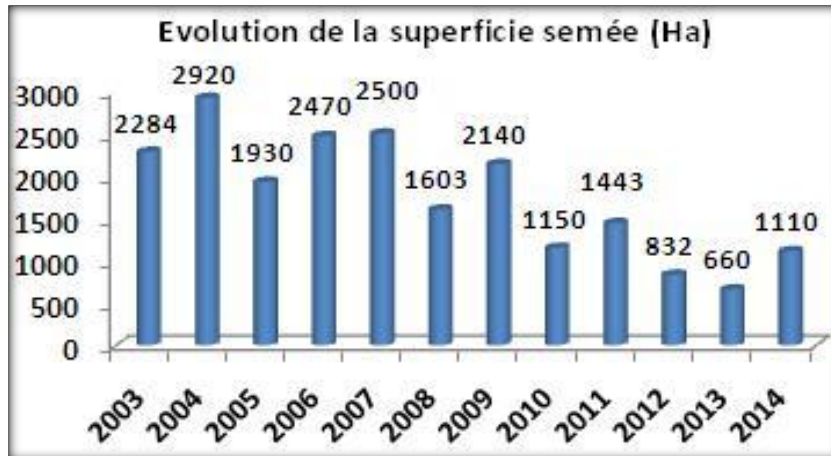


Figure 5 : Evolution de la superficie cultivée en sésame dans la zone Tadla entre 2003 et 2014 (ORMVA Tadla, 2014)

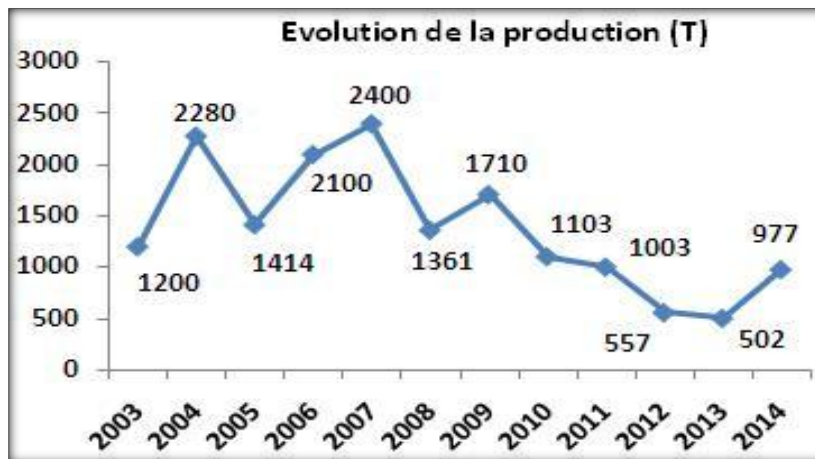


Figure 6 : Evolution de la production en sésame dans la zone Tadla entre 2003 et 2014 (ORMVA Tadla, 2014)

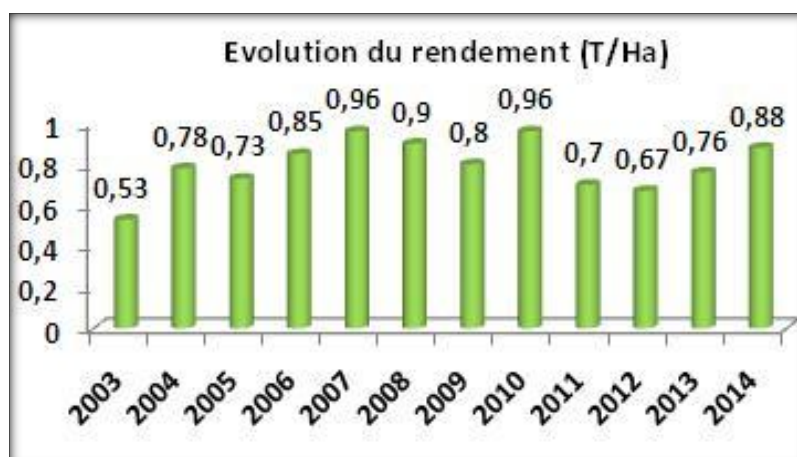


Figure 7 : Evolution du rendement en sésame dans la zone Tadla entre 2003 et 2014 (ORMVA Tadla, 2014).

Le périmètre de Tadla assure plus de 90 % de la production nationale avec beaucoup de potentialités dont les conditions climatiques favorables pour la production du sésame, les possibilités d'extension de la superficie plantée et les conditions favorables pour l'investissement (extension de la superficie plantée, ...) (ORMVA Tadla, 2014).

Ainsi, le sésame s'inscrit dans les projets du pilier I du plan agricole régional (PAR) de l'ex-région Tadla-Azilal qui envisage l'installation d'une unité de conditionnement et d'emballage de la production du sésame dans ladite région afin de promouvoir la filière.

En raison de sa productivité relativement faible, le sésame se classe seulement au neuvième rang parmi les treize principaux oléagineux qui représentent 90 % de la production mondiale d'huile comestible (Adeola et al., 2010). Le manque de cultivars performants et adaptés, la déhiscence des capsules à maturité, la maturité non synchronisée et le faible indice de récolte sont les principales contraintes de la production du sésame dans le monde (Ashri, 1994).

I.4. Origine et répartition géographique

Depuis l'antiquité, le sésame est utilisé comme une plante oléagineuse précieuse. Oplinger et al., (1990) ont indiqué que le sésame a été une culture d'huile très prisée de Babylone et d'Assyrie, il y a environ 4000 ans. Son origine, controversée depuis plus d'un siècle, est-il l'Afrique ou le sous-continent indien. Hiltebrandt, (1932) a considéré l'Afrique comme le berceau de sésame, puisque ce continent semble être un centre de diversité de sésame comme en témoigne le nombre élevé d'espèces sauvages trouvées. Bedigian, (1981) affirme qu'en raison de la grande diversité génétique en Afrique, il est raisonnable de supposer que ce continent est le principal centre d'origine. L'Inde serait alors considérée comme un centre secondaire pour le sésame. D'autre part, l'Inde est généralement considérée qu'elle est le sous-continent où le sésame a été domestiqué pour la première fois et s'est ensuite propagé à d'autres endroits dans le monde comme l'Afrique, l'Extrême-Orient, la Chine et les Amériques le long des routes du commerce (Bedigian, 2004). Aujourd'hui, le sésame est largement cultivé comme une plante oléagineuse en Inde, en Chine, en Corée, au Japon, en Turquie, en Thaïlande, au Vietnam et au Cambodge, ainsi que dans d'autres pays des continents américain et africain.

I.5. Exigences écologiques de la culture

Le sésame peut parfaitement croître dans de nombreuses régions écologiques de climat tropical et subtropical, et se développe aussi sur la plupart des types de sols. Il est communément réparti entre les latitudes 25° S et 25° N. Toutefois, il peut croître aussi loin dans des latitudes de 40° N en Chine, en Russie et aux Etats Unis d'Amérique dans des latitudes de 30° S en Australie et dans des latitudes de 35° S en Amérique de sud (Weiss, 1983). Le sésame est cultivé jusqu'aux altitudes de 1500 m au dessus du niveau de la mer (Onwueme et Sinha, 1991).

Le sésame pousse bien sur un large éventail de types de sol variant du sableux légers aux sols argileux lourds, avec un pH de 4 à 9 (Beech, 1985). Bien que Weiss, (1983) et Khidir, (1997) rapportent que le sésame pousse mieux sur les sols fertiles, bien drainés avec un pH neutre et de bons résultats ont été obtenus sur des sols légèrement alcalins (Langham, 1985).

Le sésame est tolérant à la sécheresse, et il peut s'adapter et produire des semences sous des températures assez élevées (Ashri, 1998). Cependant, avant la plantation et la floraison, des niveaux d'humidité ont un grand impact sur le rendement en graine. En effet, le sésame nécessite un minimum de 300-400 mm de pluviométrie par saison, mais il reste sensible à l'humidité (Carlsson et al., 2008).

Le sésame a surtout une croissance indéterminée et ses graines sont dispersées par éclatement. Pour ces raisons, la récolte mécanisée du sésame est gênante et sa valeur commerciale est limitée. Le sésame est généralement récolté par les méthodes traditionnelles. Les plantes sont coupées, liées et réunies pour sécher. Après séchage au soleil, les faisceaux sont inversés et secoués. C'est un processus qui prend du temps et nécessite de la main d'œuvre. Comme mentionné précédemment, le sésame n'est pas adapté à l'agriculture mécanisée en raison de sa croissance indéterminée, un mûrissement inégal et l'éclatement des capsules. A l'image d'autres cultures, le sésame est susceptible aux stress biotiques et abiotiques tels que les maladies, les ravageurs et la sécheresse (Bhat et al., 1999). Bien que le sésame soit une plante cultivée, les traits de croissance fracassante et indéterminée du sésame sont similaires aux espèces sauvages. La faible production du sésame est attribuée au fait que la culture est généralement faite dans des sols moins fertiles. En outre, le manque d'une bonne gestion des éléments nutritifs est l'une des principales causes des faibles rendements (Purushottam, 2005).

I.6. Facteurs influant sur la croissance et le développement

Le sésame est cultivé aussi bien dans les régions tropicales que dans les régions tempérées chaudes. Une pluviométrie de 350 à 600 mm est suffisante au sésame pendant le cycle végétatif (El Naim et al., 2012). La réussite de la culture dépend aussi du sol et de la lumière. Les sols doivent être perméables, bien aérés et peu acides (pH 5,5 à 8). D'une façon générale, en absence de photothermopériodisme capable de troubler profondément l'évolution physiologique du végétal, le développement est sous la dépendance étroite de la température (Son, 2010).

I.6. 1. La température

Le sésame est une plante de régions chaudes et requiert de ce fait, certaines conditions de température durant sa croissance et son développement. A l'instar des autres plantes, la température agit sur la vitesse de développement du sésame. La valeur minimale de température pour la germination de la plante est comprise entre 12,8 et 13,2 °C alors que le maximum est compris entre 45,5 et 46 °C (Naturland, 2000 ; Carvalho et al., 2001). Selon les mêmes auteurs, une température de 31,9 à 35,1 °C favorise la germination, la croissance et la floraison. La germination et la croissance des plantes de sésame sont freinées à des températures inférieures à 20 °C et inhibées à 10 °C.

I.6. 2. La lumière

Le sésame est généralement considéré comme une plante de jours longs (Suddhiyam et al., 1992; Kumazaki et al., 2008) et doit être cultivée sous une photopériode longue afin de prolonger la phase végétative. La plante de sésame fleurit après environ 45 jours si la longueur des jours est de 10 heures (Romain, 2001 ; Caliskan, 2004). L'effet du photopériodisme sur le sésame a été étudié à fond, car cela est un facteur important qui influe sur le rendement des plantes (Alam Sarkar et al., 2007).

I.6.3. L'eau

D'une manière générale, le manque d'eau influence fortement la croissance et la production du sésame. Il résiste à la sécheresse grâce à son système racinaire bien développé (Weiss, 1971). Néanmoins, certaines conditions pluviométriques doivent être remplies pour une bonne croissance et un meilleur rendement. Selon Weiss, 1971, le rendement maximum du sésame est atteint avec une pluviométrie répartie sur le cycle dans les proportions suivantes :

35 % : de la germination à la formation du premier bouton floral ;

45 % : pendant la floraison ;

20 % : à la maturité.

La période critique couvre les deux premières phases pendant lesquelles les besoins en eau sont plus élevés. Le stade plantule est très sensible au stress hydrique. Le sésame est très sensible à l'inondation et aux fortes pluies, même pendant des durées relativement courtes (Somé, 2000).

Toutefois, le sésame est la culture oléagineuse la moins productive et est principalement cultivé par les petits agriculteurs (Bhat et al., 1999; Bisht et al., 2004).

I.7. Ennemis de la culture du sésame

La culture du sésame est infectée par un grand nombre de champignons, de bactéries, de virus et de maladies non parasitaires dans le monde entier (Syed, 2005). Le puceron vert du pêcher (*Myzus persica*), la mouche blanche (*Bemisia argentifolium*, *Bemisia tabacci*), l'arpenreuse du chou (*Pieris rapae*) et la légionnaire (*Cupis unipuncta*) sont des exemples de ravageurs qui attaquent le sésame. Les bactéries et les champignons tels que la brûlure bactérienne (*Pseudomonas sesami*), la pourriture des racines (*Fusarium oxysporum*, *Phytophthora parasitica*, *Rhizoctonia bataticola*) et les taches foliaires (*Cercospora sesamicola*, *Cercospora sesame*, *Corynespora cassiicola*, *Alternaria sesami*) causent également des problèmes pour le sésame (Tripathi et al., 1998; Ojiambo et al., 1999; Langham et Wiemers, 2002, John et al., 2005; Choudhary et al., 2006).

Parmi les champignons phytopathogènes, *Macrophomina phaseolina* est un champignon virulent provoquant la pourriture charbonneuse ou la pourriture de la tige du sésame, ce qui conduit à de lourdes pertes économiques pour les agriculteurs (Papavizas, 1977) et à une réduction significative de la teneur en huile si la culture est attaquée pendant la maturité (Javed et al., 1995). Le pourcentage des plantes attaquées par le couple *Macrophomina-Fusarium* varie de 2 à 11 % (Amoukou, 1995). Selon Rodriguez et al., (1994), le taux d'infection de 1 à 3 larves par plante et survenant entre 25 et 55 jours après la levée peut causer une réduction de 14 % du rendement. L'infection la plus fréquente observée ces dernières années par les agriculteurs est la chenille qui enroule les feuilles du sésame. Au Maroc, et plus précisément dans la zone Tadla, les insectes nuisibles sur le sésame sont représentés essentiellement par les lépidoptères (chenilles) qui s'attaquent aux feuilles et aux

capsules en formation. En absence d'interventions chimiques contre ces ravageurs, le taux moyen de capsules attaquées peut atteindre 30 % dans la zone Tadla (Fakhour, 2012). En Inde, les dégâts rapportés des chenilles sur les capsules dépassent 80 % (Patil et al., 2001).

Par ailleurs, les mauvaises herbes causent annuellement des pertes de rendement non négligeables aux cultures. La culture du sésame n'échappe pas à cette règle. L'impact des mauvaises herbes sur le sésame est suffisamment documenté. En effet, plusieurs auteurs rapportent que le sésame est négativement influencé par la concurrence adventice (Grichar et al., 2001; Beltrao et al., 1991). Les mauvaises herbes peuvent réduire le rendement de la culture de 65 % et la période critique de sensibilité peut aller jusqu'au 50^{ème} jour après semis (Hussien et al., 1983). Eagleton et al., (1987) estiment que la biomasse des adventices est six fois plus importante que celle du sésame à 48 jours après semis.

I.8. Intérêt de la culture

A côté des avantages tels que la tolérance à la sécheresse et l'adaptation à une large gamme de types de sols, le sésame stimule une flore de microbes bénéfiques au sol et réduit les populations de nématodes (Langham et al., 2008). Le sésame est aussi un bâtisseur d'excellentes terres à cause des grandes quantités de biomasse racinaire qui sont laissés sous terre après la récolte. Le sol est très doux après la culture du sésame et nécessite donc moins de travail pour préparer la prochaine culture en rotation (Langham et al., 2008).

I.9. Conduite technique de la culture de sésame

Le sésame est cultivé sous les tropiques et dans les zones tempérées chaudes. La culture est souvent mise en place après les plantes principales (culture dérobée) et reléguée sur les sols les plus pauvres. Ces conditions expliquent les très faibles rendements obtenus (350 kg/ha, moyenne africaine) (Haruna et Abimiku, 2012). Le sésame n'en joue pas moins un rôle important dans les systèmes de production traditionnels. Il permet à la fois de valoriser les terres marginales et d'équilibrer le calendrier du travail de l'agriculteur qui en tire, à un peu de frais, un complément de ressources appréciable. Afin d'obtenir des rendements considérables, une bonne conduite technique s'avère nécessaire, notamment en matière d'installation (date de semis), de fertilisation, d'irrigation et de lutte contre les mauvaises herbes et les ravageurs.

I.9.1. Semis

La semence du sésame doit être une semence de qualité ayant un bon pouvoir germinatif, traitée contre les insectes et les moisissures, ceci afin d'avoir une bonne germination du sésame. Le semis est effectué soit à plat à la volée soit en ligne sur billons en poquet avec un écartement entre les lignes qui varie de 40 à 90 cm et un espacement entre poquet variant de 5 à 15 cm (Santens, 2009). La dose de semis est très variables allant de 3 kg/ha à 25 kg/ha selon le mode et la qualité de semence et la profondeur de semis est de 1 à 2 cm avec un tassement du sol après semis afin d'assurer le contact entre la semence, l'eau et le sol.

I.9.2. Fertilisation

La fertilisation est rare dans le milieu paysan mais l'application d'un apport en engrais de 100 kg/ha de NPK (15.15.15) comme engrais de fond et 25 kg/ha d'urée comme engrais de couverture entre les lignes de semis est courante (Mounkaila, 1998). Selon Skiredj et al., (2003), un apport de 60.60.60 kg/ha respectivement de N, P₂O₅ et K₂O est préconisé. L'azote doit être fractionné en deux apports, dont le premier doit être fait juste après la levée et le second à la mi-croissance.

L'apport de fumier reste très recommandé pour l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Un apport de 10 t/ha de fumier de ferme bien décomposé avant le dernier labour est à prescrire (Reddy et al., 1995).

I.9.3. Irrigation

Dans les conditions normales, les besoins en eau de la culture selon Skiredj et al., (2003) sont de l'ordre de 250 à 300 mm par cycle soit 5 irrigations par cycle cultural et ce juste après le semis, quelques jours après la levée, juste avant la floraison au stade début fructification et au début de la maturation. Le gravitaire reste la technique d'irrigation la plus utilisée pour les producteurs du sésame sans recours à des techniques de pilotage de l'irrigation.

I.9.4. Entretien et traitement phytosanitaire

Les entretiens de la culture peuvent intervenir à différents stades végétatifs de la plante en fonction des exploitants. Le désherbage est nécessaire et, en général, deux sarclages sont nécessaires suivis d'apport d'engrais après le premier et le deuxième sarclage. D'autres pratiques concernent le démariage et le repiquage. Les plantes ont besoin de soins lorsqu'elles

sont attaquées par des ravageurs, des insectes ou des maladies et les traitements phytosanitaires sont nécessaires pour une bonne production de semences.

I.9.5. Récolte

À l'heure actuelle, plus de 99 % du sésame dans le monde est récolté manuellement. Weiss, (1971) fournit une excellente description de la myriade de méthodes de récolte dans le monde entier. En général, les plantes matures sont coupées, regroupées, et déposées pour sécher. Le sésame est prêt pour la récolte 90 à 150 jours après semis. En général, les variétés non ramifiées mûrissent plus tôt que les variétés ramifiées. La culture doit être récoltée avant la première gelée meurtrière pour obtenir des semences de qualité. À l'échéance, les feuilles et les tiges ont tendance à passer de la couleur verte à la couleur jaune. Les feuilles vont commencer à tomber des plantes. Les méthodes de récolte doivent être adaptées aux types de variétés utilisées (déhiscentes ou non déhiscentes). Beaucoup de précautions sont à prendre pour minimiser les pertes à la récolte. Les variétés déhiscentes sont souvent coupées à l'état vert, amassées verticalement dans des tas et laissées sécher, alors que les variétés non déhiscentes peuvent être moissonnées à l'aide d'une moissonneuse, à condition de bien régler la vitesse du cylindre et d'adapter la taille des tamis.



Figure 8 : Photos illustrant la récolte du sésame
(www.mp.haw-hamburg.de/pers/Kaspar-Sickermann/mm/m60546b.jpg)

II. Composition de la graine de sésame

Les constituants majeurs des graines de sésame sont l'huile, les sucres, les protéines et les polyphénols et les constituants mineurs sont les vitamines et les minéraux.

L'étude d'Elleuch et al., (2007) a montré que les graines intactes de sésame contiennent une forte teneur en huile, en protéines et en cendres : respectivement, 52,24 %, 24,77 % et 5 % (Tableau 1). La graine de sésame contient 19,33 % de fibres totaux, 4,68 % de cendres, 2,48 % de sucres solubles et 0,09 % de polyphénols. Elle contient aussi 2,62 µg/g de carotènes et 0,04 µg/g de chlorophylles (Borchani et al., 2010). L'huile de sésame est riche en acides gras insaturés sous forme d'acide oléique (41,68 %) et d'acide linoléique (38,29 %) (Borchani et al., 2010). Les valeurs suivantes ont été obtenues dans la même étude sur l'huile du sésame intact : 186,6 mg de KOH/g d'huile, 113,35 g de I₂/100g d'huile, 0,14 meq de O₂/kg d'huile et 0,82 % pour l'indice de saponification, l'indice d'iode, l'indice de peroxyde et l'acidité libre, respectivement (Borchani et al., 2010). Le sésame du Pakistan contient 21 % de protéines, 54,26 % d'huile avec un pourcentage d'acide oléique et linoléique de 37,2 et 45,7 % respectivement (Asghar et al., 2014).

Tableau 1 : Composition biochimique moyenne du matériel végétal de sésame (a: Elleuch et al., 2007 ; b : Borchani et al., 2010).

Composante	Graine de sésame
Huile (g/100g) ^a	52,24 ±0,34
Protéines (g/100g) ^a	25,77 ±1,02
Fibres totaux (g/100g) ^a	19,33± 1,97
Matière minérale (g/100g) ^a	4,68 ±0,20
Sucres solubles (g/100g) ^a	2,48 ±0,09
Polyphénols (mg/100g) ^a	87,77 ±3,15
Carotènes (µg/g) ^b	2,62 ± 0,10
Chlorophylles (µg/g) ^b	0,04 ± 0,03
Acide Oléique (%) ^b	41,68 ±0,61
Acide Linoléique (%) ^b	38,29 ±0,24
Indice de saponification (mg de KOH/g d'huile) ^b	186,6 ± 0,59
Indice d'iode (g de I ₂ /100 g d'huile) ^b	113,35±0,59
Acidité (% d'acide oléique) ^b	0,82±0,01
Indice de peroxyde (meq de O ₂ /kg d'huile) ^b	0,14±0,01

II.1. Protéines

La graine du sésame est riche en protéines avec une bonne valeur nutritive semblable à la graine du soja (Naerls, 2010). La teneur en protéine du sésame est d'environ 18 à 25 % (Kamal-Eldin et Appelqvist, 1994a, Kamal-Eldin et al., 1994b, Elleuch et al., 2007). Le sésame est une source riche d'acides aminés dont certains sont essentiels tels que l'acide glutamique, l'arginine, la leucine, et de la glycine (Namiki, 1995 ; Shahidi et Tan, 2011). Cependant, l'apport du sésame est généralement inférieur à l'apport quotidien proposé en acide aminé (FAO/WHO /UNU, 2007). Par exemple, pour apporter la valeur recommandée en leucine pour une personne de 70 kg, une consommation de 200 g de graines de sésame par jour serait nécessaire.

II.2. Carbohydrates

Les graines de sésame contiennent environ 23 % d'hydrates de carbone dont 3,6 % de D-glucose et 3,4 % de D-fructose ont été signalés. Comme constituants mineurs de glucides du sésame, le D-galactose (0,4 %), le saccharose (0,2 %) et le raffinose (0,6 %) ont également été trouvés (Wankhede et Tharanathan, 1976).

II.3. Eléments minéraux

Les graines de sésame sont une bonne source de minéraux, en particulier le calcium, le potassium, le phosphore, le magnésium, le sodium et le fer (Loumouamou et al., 2010). La teneur en minéraux est d'environ 4-6 % qui se trouve principalement dans les téguments de la graine de sésame (Johnson et al., 1979). Tous les autres éléments sont présents dans des concentrations relativement faibles (Elleuch et al., 2007) (Tableau 2). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Borchani et al., (2010) pour les graines blanches de sésame soudanais. Le potassium est un nutriment essentiel et a un rôle important dans la synthèse des acides aminés et des protéines. Le calcium et le magnésium jouent un rôle important dans la photosynthèse, le métabolisme des glucides, des acides nucléiques et des agents de liaison de parois cellulaires. Le calcium intervient aussi dans le développement des dents et des os, alors que le magnésium est un minéral essentiel pour l'activité enzymatique.

Comme le calcium, le magnésium joue également un rôle dans la régulation de l'équilibre acido-basique dans l'organisme. Le phosphore est nécessaire à la croissance osseuse, la

fonction rénale et la croissance cellulaire. Il joue également un rôle dans le maintien de l'équilibre acido-basique de l'organisme.

Tableau 2 : Composition minérale de la graine de sésame (a : Elleuch et al., 2007, b : Kápolna et al., 2007)

Composante	Graines de sésame fraîches
Matière minérale g/100g ^a	4,68 ±0.20
Calcium g/100g ^a	1,03 ±0.04
Potassium mg/100g ^a	525,9 ±7.90
Magnesium mg/100g ^a	349,93 ± 9.32
Phosphore mg/100g ^a	516 ±26.89
Sodium mg/100g ^a	15,28 ±1.63
Fer mg/100g ^a	11,39 ±0.27
Cuivre mg/100g ^a	2,15 ±0.06
Zinc mg/100g ^a	8,87 ±0.26
Manganèse mg/100g ^a	3,46 ±0.43
Sélénium µg / kg ^b	690 ± 15

Le sélénium est également présent dans la graine du sésame. Il est un constituant de la glutathion peroxydase, qui est associée à la prévention de la peroxydation physiologique, mais en quantités excessives, il a un effet négatif (Brito et Nunez, 1982). La présence de ces minéraux confirme également le haut niveau nutritionnel que les graines de sésame offrent aux consommateurs.

II.4. Vitamines

La graine de sésame est une source importante de certaines vitamines, en particulier la vitamine K (13,61-19,57 mg/100g), la vitamine A (8,92-9,52 mg/100g), la vitamine D (11,57-12,63 mg/100g), la vitamine C (4,25-6,21 mg/100g) et la vitamine E (17,45-28,46 mg/100g) (Kanu, 2011). Les vitamines C, E et β-carotène (qui pourrait donner la vitamine A) sont des antioxydants naturels importants qui inhibent la peroxydation lipidique et la consommation élevée de ces vitamines, notamment la vitamine E, est liée à la réduction de l'incidence de la cardiopathie ischémique (Sharma et al., 2000). La vitamine A, en particulier, est un nutriment essentiel pour toutes les espèces animales pour une vision normale, pour la croissance et pour la différenciation cellulaire. Les effets cardioprotecteurs de la vitamine E peuvent être dus à son effet bénéfique dans la réduction des aldéhydes des tissus. La supplémentation alimentaire en vitamine E et en vitamine A augmente le glutathion, un réservoir pour les composés

aldéhydes de liaison cysteine et abaisse de manière significative la pression artérielle chez le rat (Newaz et Nawal, 1998). Les graines du sésame sont presque dépourvues de facteurs antinutritionnels et sont propres à la consommation en tant que telles ou après transformation.

II.5. Teneur en huile et composition en acides gras des graines de sésames

Parmi les cultures oléagineuses, le sésame a la teneur en huile la plus élevée. En général, cette teneur varie de 34 à 63 % (Yermanos et al., 1972; Ashri, 1998; Baydar et al., 1999; Uzun et al., 2002; Were et al., 2006b) et elle représente souvent 50 % du poids des graines. Les facteurs génétiques et environnementaux influencent la teneur en huile et la composition en acides gras du sésame (Carlsson et al., 2008). La teneur en huile varie considérablement entre les différentes variétés et la saison de croissance. Elle est également liée à la couleur et à la taille de la graine. Les cultivars qui mûrissent tardivement sont signalés avoir une teneur en huile plus élevée que les cultivars précoces (Yermanos et al., 1972) et les graines des cultivars indéterminés accumulent plus d'huile que celles des cultivars déterminés (Uzun et al., 2002). La variation se trouve aussi entre les capsules à différentes positions sur la même plante. En effet, les graines des capsules situées à la base de la tige principale contiennent plus d'huile que celles situées sur la partie supérieure et sur les branches secondaires (Mosjidis et Yermanos, 1984, Muthswamy et Thangavelu, 1993).

Comparativement aux cultivars de sésame à graines brunes ou blanches, les cultivars à graines noires ont souvent des teneurs en huile inférieures (Kanu, 2011), indiquant une corrélation possible entre la teneur en huile et la couleur des téguments des graines (Namiki, 1995 ; Were et al, 2001 ; Zhang et al., 2004). Kamal-Eldin et Appelqvist, (1994a) ont attribué la faible teneur en huile dans les cultivars à graines noires aux fortes teneurs en fibre au niveau des téguments de la graine. L'huile de sésame est appelée reine des huiles végétales en raison de sa qualité d'huile, ses valeurs nutritionnelles importantes ainsi la présence d'antioxydants comme la sesamine et la sesamoline (Asghar et al., 2014 ; Bedigian et al., 1985; Ashri, 1998).

L'huile de sésame, obtenue par pression à froid des graines de sésame, est l'une des plus vieilles huiles végétales (Onstad, 1996). Cette huile ayant la forme d'un liquide clair, raffiné est d'une grande pureté à usage pharmaceutique. L'huile aromatique marron, disponible dans le commerce destinée pour la nourriture, est obtenue à partir des graines de sésame torréfiées avant pression à froid.

L'huile de sésame pure contient de hauts niveaux de Vitamine E, anti-oxydant et anti-inflammatoire naturels (alpha- (1,54 – 3,61 mg/kg), sigma-(0,50 -0,59 mg/kg) and gamma- (744 -1333 mg/kg) tocophérol) (Yalçin et Unal, 2011) et des lignanes dont le sésamine (6,20 - 7,3 g/kg) et sésamoline (2,45 -4,7 g/kg) responsable de sa stabilité (Moazzami et al., 2006, Hemalatha et Ghafoorunissa, 2004).

II.6. Composition de l'huile de sésame

Les huiles végétales sont principalement composées de triglycérides (90–99 %) eux-mêmes essentiellement constitués d'acides gras (90–95 %), de glycérol (3–5 %), et de constituants mineurs naturels (1–5 %) regroupant des composés de structure variées tels que les stérols, les tocophérols, les caroténoïdes ou les phospholipides (0,1 à 0,2 %) (Evrard et al., 2007).

II.6.1. Les composés majoritaires des huiles végétales

II.6.1.1. Les triglycérides

Les triglycérides ou triacylglycérols sont des glycérides qui représentent la partie majoritaire des graisses alimentaires. Ils sont composés d'une molécule de glycérol dont les trois fonctions alcool sont estérifiées par trois acides gras semblables ou différents. Selon la combinaison et l'assemblage des acides gras sur le glycérol, le triglycéride aura une structure différente et pourra être mono glycéride, diglycéride ou triglycéride.

II.6.1.2. Les acides gras

Les huiles végétales se définissent essentiellement par leur composition en acides gras (Lecerf, 2011) qui est très différente d'une huile à l'autre. Les huiles végétales n'ont cependant pas une composition fixe, car elles varient selon la génétique, la culture des plantes et les saisons. Les acides gras se classent en trois groupes (Evrard et al., 2007):

–Les acides gras saturés (AGS), chaînes hydrocarbonées sans insaturation (ou double liaison), avec principalement des longueurs de chaîne comprises entre 14 (acide myristique) et 18 atomes de carbone (acide stéarique).

–Les acides gras mono-insaturés (AGMI), chaînes hydrocarbonées comportant une double liaison. Le principal représentant de cette série est l'acide oléique (C18 :1, n-9 ou ω 9).

–Les acides gras polyinsaturés (AGPI), chaînes hydrocarbonées comportant plusieurs doubles liaisons. Les acides linoléiques (C18 :2, n-6 ou ω 6) et α -linoléique (C18 :3, n- 3 ou ω 3) en

font partie et représentent les acides gras essentiels et indispensables pour l'homme (Combe et Castera, 2010).

Les huiles végétales peuvent ainsi être regroupées en fonction de la nature de leurs acides gras majoritaires (ou spécifique) : oléiques, linoléiques ou α -linoléiques (Lecerf, 2011).

–Les huiles oléiques (AGMI, C18 :1 ω 9) : olive, colza, tournesol oléique avec des pourcentages relatifs en acide oléique compris entre 55 et 85 %.

–Les huiles linoléiques (AGPI, C18 :2 ω 6) telles que le tournesol et le carthame. Les huiles de ce groupe ont des pourcentages relatifs en acide linoléique compris entre 55 et 75 %.

–Les huiles oléiques linoléiques (AGMI, C18 :1 ω 9 et AGPI, C18 :2 ω 6) telles que l'huile d'argane, d'arachide, etc.

–Les huiles α -linoléiques (AGPI, C18 :3 ω 3) telles que l'huile de colza et l'huile de soya (Vigneron et al., 2006). Ces huiles ont des pourcentages relatifs en acide α -linoléique compris entre 7 et 13 % environ selon les huiles.

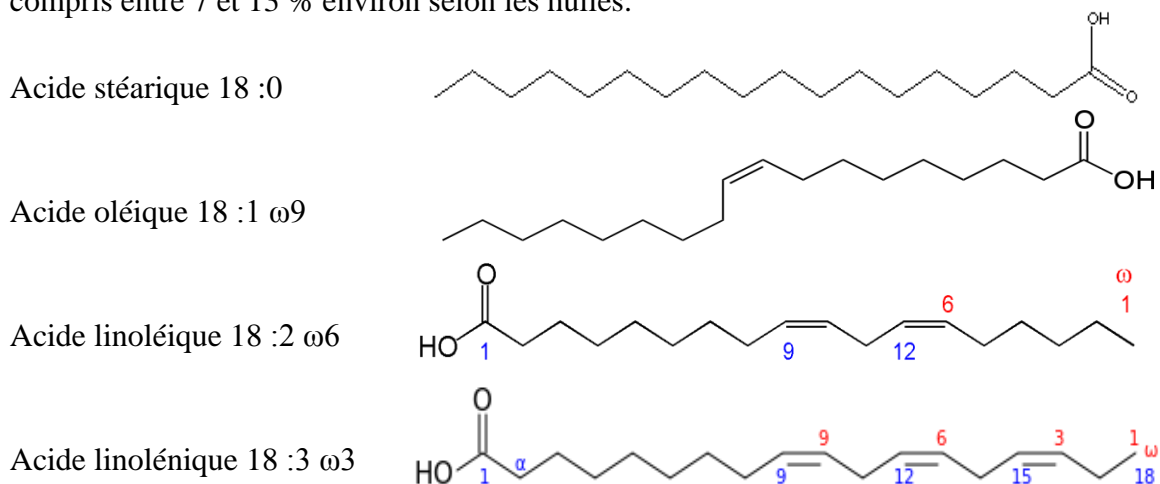


Figure 9 : Formule développée des principaux acides gras des huiles végétales.

La composition en acide gras de l'huile de sésame est très différente de celles d'autres huiles végétales (Tableau 3). Par rapport aux autres huiles végétales, les huiles de Soja, de Colza et du Noix sont riches en acide linoléique alors que les huiles de sésame, de tournesole, de carthame, d'argane et d'olive contiennent des teneurs inférieures à 1 %. En plus de ce dernier, ces huiles renferment respectivement l'acide linoléique et l'acide oléique (Lecerf, 2011).

En matière d'acides gras saturés, c'est l'huile de palme qui arrive en tête avec plus de 46,4 % (Chowdhury et al., 2007). Elle est suivie par les huiles d'arachide, d'olive, d'argane et du sésame, l'huile de colza est celle qui en contient le moins (Vigneron et al., 2006).

Tableau 3 : Composition en acides gras des principales huiles végétales.

	Tournesol ^a	Soja ^a	Colza ^a	Noix ^b	Olive ^c	Argane ^d	Carthame ^e	Sésame ^f
Ac.Palmitique C 16 :0	7-5	8-13	1-5	6-8	8-14	11,5-15	7,2-8,6	7,2-9,7
Ac. Stéarique C18 :0	4-6	2-5	1-2	1-3	3-6	4,3-7,4	2-2,4	3,8-5,6
Ac.Arachidique C20 :0	<1	<1,2	<1	<0,3	<0,5	0,3-0,5	<0,2	0,5
Ac. Béhénique C22 :0	<1	<0,5	<0,5	<0,2	<0,9	<0,2	<0,2	-
Ac. Gras Saturés	11-15	12-20	2-8	7-11	13-22	14-24	9,67-10,76	11,5-15,8
Ac. Oléique C18 :1 n-9	15-25	17-26	55-62	14-21	61-80	43-49,1	9,5-11,3	31,6-42
Ac.Eicosanoïque C20 :1 n-11	<0,5	<0,4	1-2	<0,3	<0,4	0,4-0,5	-	0,2
Ac. Gras Monoinsaturés	16-26	18-27	56-65	14-21	62-81	43-51	9,6-11,82	31,8-42,2
Ac.Linoléique C18 :2 n-6	62-70	50-62	18-22	54-65	3-14	28-36	77,95-79,98	42,9-54
Ac. Linoléique C18 :3 n-3	<0,2	4-10	8-10	9-15	<1	<0,4	<0,1	0,5

Source a: CODEX 2003; b: Lecerf, 2011; c: COI 2009; d: SNIMA 2003 ; e: Ben Moumen et al., (2013a) ; f: Were et al., (2006b).

II.6.1.3. La biosynthèse d'acides gras et de triglycérides dans les graines oléagineuses

Les mécanismes de la biosynthèse des acides gras et la formation de l'huile dans les cellules végétales ont été largement documentés (Voelker et Kinney, 2001). En bref, il y a deux principaux sites pour la synthèse glycérolipidiques dans les plantes à savoir, les plastides et le réticulum endoplasmique (Figure 10).

La synthèse des acides gras est initiée à partir de l'acétyl-CoA, précurseur des groupes acétyle constitutifs de la chaîne. Celui-ci est transformé en malonyl-CoA par l'acétyl-CoA carboxylase (ACC), transféré sur un cofacteur protéique (ACP ou acyl carrier protein) et utilisé par les 3-kétoacyl ACP synthases (KASI, II et III) pour l'allongement de la chaîne.

Les carbones sont ainsi ajoutés deux par deux, sous la forme de groupe acétyle, pour obtenir un complexe palmitoyl (C16 :0)-ACP ou stéaroyl (C18 :0)- ACP. À ce stade, ce composé peut être désaturé entre le neuvième et le dixième carbone par une acyldésaturase (AAD1) spécifique, la Δ 9 stéaroyl-ACP désaturase, ce qui produira un oléoyl (C18 :1)-ACP. Les complexes sont alors hydrolysés par des fatty acyl thioesterases qui libèrent les acides gras. Les acyl-CoA libres dans le réticulum endoplasmique peuvent être allongés pour former des acides gras à très longue chaîne (plus de 18 carbones).

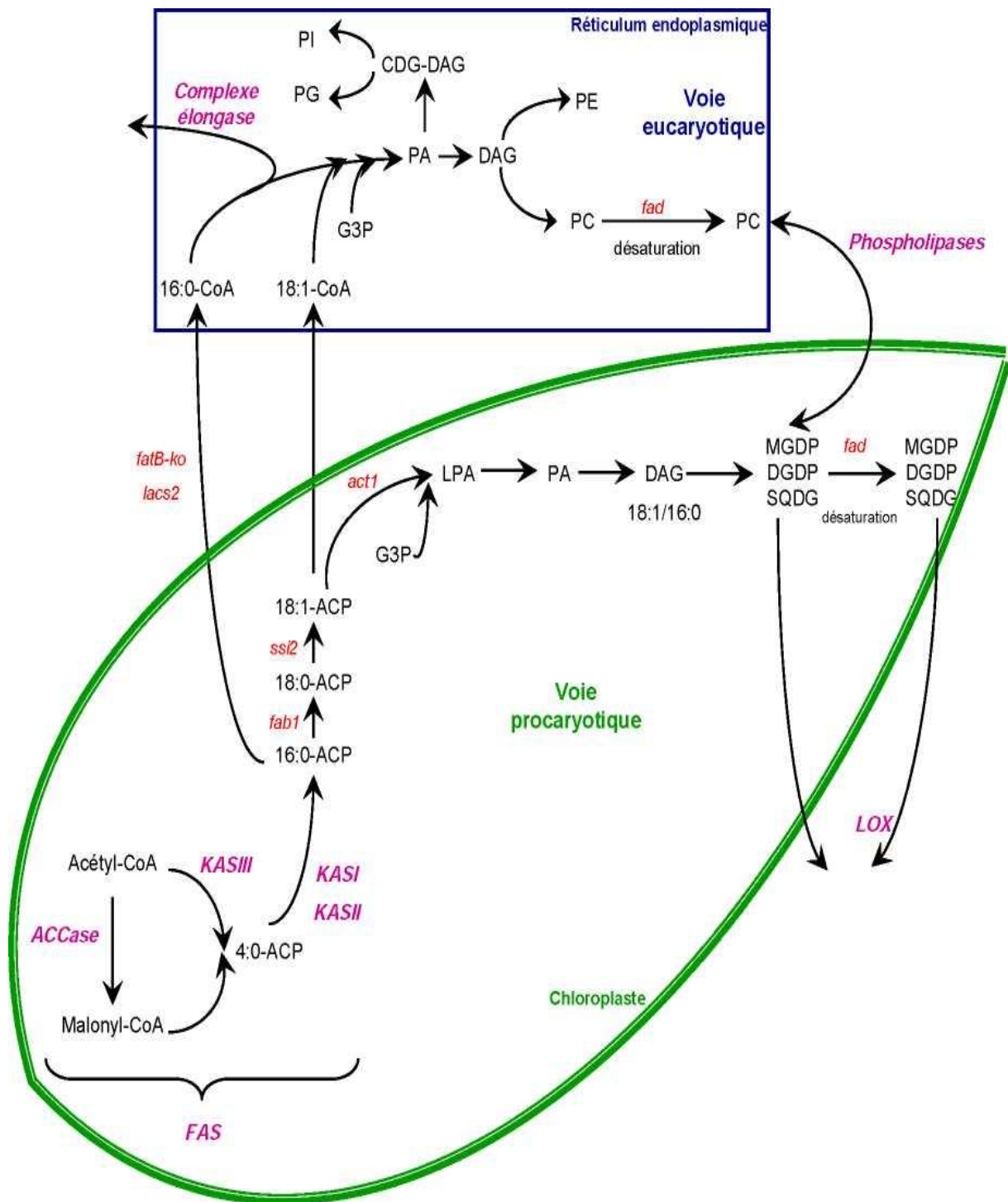


Figure 10 : Vue générale des voies de biosynthèse des lipides chez les plantes (D'après Mekhedov et al., 2000). X : Y, résidu acyl gras à X carbones et Y doubles liaisons ; G3P : Glycerol-3-phosphate ; LPA : 1 acyl-glycerol-3-phosphate ; PA : acidephosphatidique ; DAG : diacylglycerol ; MGDG : mono galactosyldiacylglycerol ; DGDP : digalactosyldiacylglycerol ; PC : phosphatidyl choline ; PI : phosphatidyl inositol ; PE : phosphatidyl ethanolamine.

II.6.2. Les composés minoritaires des huiles végétales

Les composants mineurs dans les huiles végétales représentent 1 à 5 %. Ils sont constitués d'éléments très variés (Harwood et Ramon, 2000). Ces composés, bien que mineurs, jouent un rôle nutritionnel de première importance.

Les composés mineurs sont constitués de deux fractions : la fraction insaponifiable et la fraction soluble. Les tocophérols, stérols et caroténoïdes appartiennent à la fraction insaponifiable, dénommée ainsi car elle ne peut pas réagir avec une base pour donner du savon. Les composés mineurs de la fraction soluble sont innombrables et sont responsables non seulement d'une partie des propriétés des huiles mais également de leur goût. Une grande partie des propriétés biologiques des huiles sont attribuées à la partie insaponifiable (Adlouni, 2010 ; Lecerf, 2011).

II.6.3. Composition en acides gras de l'huile de sésame

Le sésame présente une variabilité limitée dans les proportions des acides gras des graines (Kamal-Eldin et al., 1992). La composition en acides gras varie considérablement au sein des différents cultivars dans le monde (Yermanos et al., 1972 ; Brar, 1982a ; Baydar et al., 1999). L'huile de sésame est constituée principalement de quatre acides gras, l'acide palmitique C16 :0, l'acide stéarique C18 :0, l'acide oléique C18 :1 et l'acide linoléique C18 :2 avec des petites quantités en acides linoléique, arachidique, béhénique et eicosénoïque (Weiss, 1983 ; Kamal-Eldin et al., 1992 ; Ashri, 1998 ; Were et al., 2001). Ainsi, les principaux acides gras sont les acides oléique et linoléique (Kamal-eldin et al., 1992 ; Yermanos et al., 1972), avec des teneurs respectives allant de 32,7 % à 58,2 % et de 27,3 % à 59,0 %. Des cultivars ayant exceptionnellement des teneurs élevées (>60 %) en acides oléique ou en acide linoléique ont été rapportés mais sont rares (Baydar et al., 1999).

Uzun et al., (2002) ont rapporté des différences dans les proportions d'acide stéarique, oléique et linoléique entre les cultivars déterminés et indéterminés. En comparaison avec les cultivars indéterminés, les cultivars déterminés ont généralement des teneurs élevées en acides stéariques (6,2 %) et oléiques (46,7 %) et des teneurs faibles en acide linoléique (38 %) (Uzun et al., 2002). Les positions des gousses affectent également les quantités relatives d'acides gras palmitique, stéarique et oléique, qui ont tendance à augmenter tout au long de la tige alors que l'acide linoléique diminue (Brar, 1977).

La composition en acides gras est très influencée par le génotype, les conditions agroclimatiques et le stade de maturité (Brar et Ahuja, 1979). Ainsi, il a été rapporté que l'acide linoléique augmente en condition de culture froide (Uzun et al., 2002) et qu'une variation des quantités d'acide palmitique, stéarique, oléique et linoléique a été observée (Were et al., 2006b). Les niveaux d'acide palmitique et stéarique varient respectivement de 7,2 à 9,6 % et de 3,7 à 5,6 %, tandis que les niveaux élevés d'acide oléique et d'acide linoléique varient de 31,6 à 41,9 % et de 42,9 à 53,9 %. L'acide linoléique a été aussi trouvé, mais en très faible quantité (0,5 %) (Tableau 4).

Tableau 4 : Composition en acides gras de l'huile de sésame (Were et al., 2006b)

Composants	Teneur (%)
Acide palmitique C16 :0	7,2 à 9,6 %
Acide stéarique C18 :0	3,7 à 5,6 %
Acide oléique C18 :1	31,6 à 41,9 %
Acide linoléique C18 :2	42,9 à 53,9 %.
Acide linoléique C18 :3	0,5 %

II.7. Les Antioxydants

Les antioxydants sont définis comme toute substance qui, en faible concentration par rapport au substrat susceptible d'être oxydé, prévient ou ralentit l'oxydation de ce substrat (Pastre et Priymenko, 2007). Cette définition peut être élargie et le terme "antioxydant" englobe ainsi toutes les substances qui protègent les systèmes biologiques contre les effets délétères potentiels des processus ou réactions qui engendrent une oxydation excessive (Shimizu, 2004). Les antioxydants peuvent être classés en antioxydants primaires (rupture de chaîne) et antioxydants secondaires (préventifs), selon le mécanisme par lequel ils empêchent ou retardent l'oxydation (Koleva et al., 2002). Ils agissent en formant des produits finis non radicaux, d'autres en interrompant la réaction en chaîne de peroxydation, en réagissant rapidement avec un radical d'acide gras avant que celui-ci ne puisse réagir avec un nouvel acide gras, tandis que d'autres antioxydants absorbent l'énergie excédentaire de l'oxygène

pour la transformer en chaleur. En même temps, les antioxydants arrêtent la réaction, la plupart du temps parce que la structure des antioxydants est relativement stable (Haton, 2005). Les antioxydants piègent les radicaux libres en inhibant les réactions à l'intérieur des cellules provoquées par les molécules de dioxygène et de peroxyde, aussi appelées espèces oxygénées radicalaires (EOR) et espèces azotées radicalaires (Benbrook, 2005). Certains antioxydants peuvent présenter plus d'un mécanisme, et sont donc appelés antioxydants à fonctions multiples (Madhavi et Salunkhe, 1995).

Les antioxydants sont largement présents dans nos aliments, soit sous forme naturelle, soit sous forme d'additifs utilisés dans l'industrie agroalimentaire (Tanguy, 2009). Les antioxydants sont présents dans presque toutes les plantes, tous les micro-organismes et les champignons (Pelli et Lyly, 2003). Plusieurs substances agissant *in vivo* en tant qu'antioxydants ont été identifiées. Elles incluent les caroténoïdes, les polyphénols, les vitamines ...etc. (Koechlin-Ramonatxo, 2006). Les composés antioxydants sont physiquement classés en fonction de leur solubilité en deux grands groupes : les antioxydants solubles dans l'eau (hydrophiles) (L'acide ascorbique, des composés polyphénoliques tels que les flavonoïdes, l'acide urique et les thiols) et les antioxydants liposolubles (lipophiles) (la vitamine E, les caroténoïdes, l'ubiquinol) (Arnao et al., 2001).

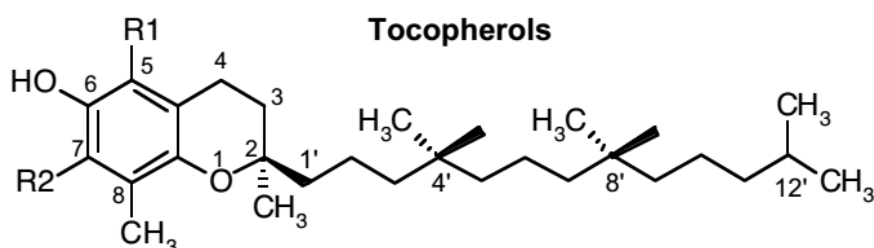
II.7.1. Les vitamines

La vitamine C est largement répandue dans les fruits. Un des rôles importants de la vitamine C est son effet antioxydant qui protège les cellules contre les dommages causés par les radicaux libres.

Les tocophérols furent identifiés comme vitamines et ont été reclassés comme antioxydants pouvant piéger les radicaux libres aux niveaux intracellulaire et extracellulaire. Les tocophérols désignent un ensemble de molécules composées d'un noyau 6-OH-chromane, et d'une chaîne latérale à 16 atomes de carbone, de structure isoprénique (Verleyen, 2002 ; Hilali, 2008). Dans les huiles végétales, on rencontre quatre groupes de tocophérols (α , β , γ , et δ) (Della Penna et Pogson, 2006). Les plantes accumulent l' α -tocophérol dans leurs tissus verts alors que les γ et δ tocophérols sont présentes dans les graines (Lampi et al., 2002, Munne-Bosch et Alegre, 2002a). Ces tocophérols participent à la conservation des huiles et possèdent aussi certaines propriétés thérapeutiques et antioxydantes grâce à leur capacité à piéger les radicaux libres (Khallouki et al., 2003 ; Reboul et al., 2007; Reiter et al., 2007). En

plus, ces composés peuvent constituer un critère analytique pour le contrôle de la pureté d'une huile. Le pouvoir vitaminiq ue des tocophérols est lié à la teneur en α -tocophérol (vitamine E). Ce tocophérol est le plus fréquent dans la nature et le plus actif biologiquement. Les β - et γ -tocophérols ont une activité vitaminiq ue réduite (respectivement 30 et 15 % environ de l'activité de la forme α), le δ -tocophérol est pratiquement inactif, mais c'est le α -tocophérol qui a l'activité antioxydante la plus élevée (Evrard et al., 2007 ; Reboul et al., 2007). La vitamine E est un antioxydant important qui protège les cellules contre les dommages associés aux radicaux libres et par conséquent, prolonge la vie cellulaire tout en ralentissant le processus de vieillissement et la diminution de l'athérosclérose. Il a été déterminé que la vitamine E naturelle, semble être deux fois plus biodisponible que la vitamine E synthétique (Burton et Ingold, 1986). Du fait qu'il est aussi bien liposoluble qu'hydrosoluble, il peut accéder à toutes les parties de nos cellules.

La synergie de collaboration entre le γ -tocophérol avec le sésaminol ou la sésamine des graines de sésame, est comparable à celle de l' α -tocophérol (Namiki, 2007).



	R1	R2
Alpha	CH ₃	CH ₃
Bé ta	CH ₃	H
Gamma	H	CH ₃
Delta	H	H

Figure 11 : Structure des tocophérols (Laguerre et al., 2007).

Le γ -tocophérol est le tocophérol majeur dans le sésame, alors que les tocophérols α , et δ sont présents en très petites quantités. Yoshida et al., (2007) ont indiqué que le contenu en γ -tocophérol dans le sésame varie de 468,5 à 517,9 mg/kg d'huile, avec α et δ -tocophérols détectés à des niveaux très faibles. Kamal-eldin et Appelqvist, (1994a) avaient rapporté précédemment que la teneur en γ -tocophérol dans les huiles de sésame est de 490 à 680 mg/kg d'huile.

II.7.2. Les minéraux

Les minéraux antioxydants les plus connus sont le sélénium, le zinc, le manganèse, le cuivre et le fer. Ces antioxydants empêchent l'oxydation provoquée par les radicaux libres. Il a été rapporté que la présence d'une forte quantité de sélénium, de sélénoenzymes et de sélénoprotéines, peut aider à réduire la production du mauvais cholestérol (LDL) oxydé et, par conséquent, réduirait l'incidence des maladies cardiaques (Furman et al., 2004).

II.7.3. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes sont, avec la chlorophylle et les anthocyanes, les pigments naturels de couleur verte, orange, jaune ou rouge. Ces caroténoïdes constituent le groupe le plus répandu parmi tous les pigments naturels et sont responsables des couleurs appétissantes de nombreux fruits et légumes (Donald et Martin, 2002). A ce jour, plus de 600 caroténoïdes ont été identifiés, mais seulement une quarantaine est retrouvée régulièrement dans l'alimentation humaine. Une trentaine de ces caroténoïdes et leur métabolites ont été identifiés dans le plasma et les tissus humains, mais six pigments parmi eux sont majoritaires : le carotène, le lycopène, la lutéine, l'alpha-cryptoxanthine, la β -carotène et la zéaxanthine (Rock, 2003). Les caroténoïdes et plus particulièrement le β -carotène, sont des précurseurs de la vitamine A.

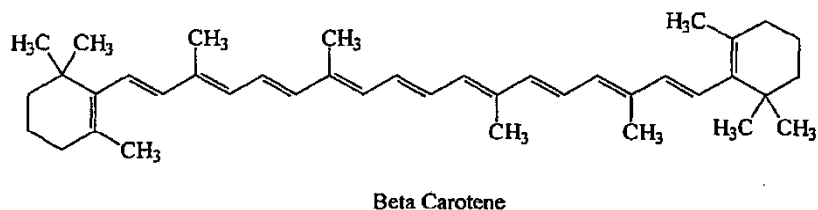


Figure 12 : Structure chimique du β -carotène

Ce sont des pigments organiques qui se produisent naturellement dans les chromoplastes des plantes et certains autres organismes photosynthétiques comme les algues, certains types de champignons et certaines bactéries, et ils ont un rôle important dans l'organisme vivant (Fauzi et Sarmidi 2010). Dans les plantes et les algues, ils absorbent l'énergie lumineuse pour une utilisation dans la photosynthèse, et ils protègent la chlorophylle (Fauzi et, Sarmidi 2010). Chez les humains, le β -carotène, précurseur de la vitamine A, est un pigment essentiel à la bonne vision et à la santé oculaire en plus de la division cellulaire normale (Fauzi et Sarmidi 2010). Le β -carotène est connu comme un puissant antioxydant car il détruit les

radicaux libres toxiques (Bonnie et al., 1999). Les huiles végétales raffinées en contiennent en général de faibles quantités 10 mg/100 g. À titre indicatif, l'huile de palme est particulièrement la plus riche en carotènes 500 à 700 mg/kg (Chiu et al., 2009), qui sont responsables de sa couleur orange-rouge (Fauzi et Sarmidi, 2010).

II.7.4. Les chlorophylles

Ce pigment dont la teneur peut varier en fonction de nombreux facteurs, exerce biologiquement une action d'excitation du métabolisme, de stimulation de la croissance cellulaire, de l'hématopoïèse (de la formation des cellules du sang) et d'accélération des processus de cicatrisation (Nieves Criado et al., 2008).

II.7.5. Les polyphénols

Les polyphénols sont des produits du métabolisme secondaire des plantes, largement distribués et possédant plusieurs groupements phénoliques, avec ou non d'autres fonctions et comportant au moins 9000 structures connues et différentes (Baharun, 1997), allant de molécules phénoliques simples de bas poids moléculaire tels que les acides phénoliques à des composés hautement polymérisés comme les tannins (Macheix et al., 2005).

Les polyphénols sont synthétisés par deux voies biosynthétiques :

-celle de l'acide shikimique qui conduit, après transamination et désamination, aux acides cinnamiques et à leurs nombreux dérivés tels que les acides benzoïques ou les phénols simples (Knaggs, 2003).

-celle issue de l'acétate qui conduit à des polyacétates de longueur variable menant par cyclisation à des composés polycycliques tels que les dihydroxy-1,8anthraquinones ou les naphthoquinones (Bruneton, 1999 ; Shahidi et Naczka, 2004).

De plus, la diversité structurale des composés polyphénoliques due à cette double origine biosynthétique, est encore accrue par la possibilité d'une participation simultanée des deux voies dans l'élaboration de composés d'origine mixte, telles que les flavonoïdes (Martin et Andriant-Sitohaina, 2002).

Les composés phénoliques participent activement aux interactions de la plante avec son environnement en jouant soit le rôle des signaux de reconnaissance entre les plantes (Allélopathie), entre les plantes et les symbioses, ou bien lui permettant de résister aux diverses agressions vis-à-vis des organismes pathogènes. Ils participent de manière très efficace à la tolérance des végétaux à des stress variés, donc ces composés jouent un rôle

essentiel dans l'équilibre et l'adaptation de la plante au sein de son milieu naturel (Macheix et al., 2005).

Ces composés font partie intégrante de l'alimentation humaine et animale (Martin et Andriantsitohaina, 2002). Ils sont des éléments importants de qualités sensorielles (couleur et caractères organoleptiques) et nutritionnelles des végétaux, tels que les légumes, les fruits, les céréales ou les fruits secs, ainsi que dans les boissons, le café, le cacao ou le thé. L'Homme consomme environ un gramme de polyphénols chaque jour, soit dix fois plus que la vitamine C et 100 fois plus que les caroténoïdes ou la vitamine E (Scalbert, et al., 2005). L'activité antioxydante des polyphénols est reconnue et pourrait expliquer leur rôle potentiel dans la prévention de plusieurs maladies associées au stress oxydatif, telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires et neuro-dégénératives.

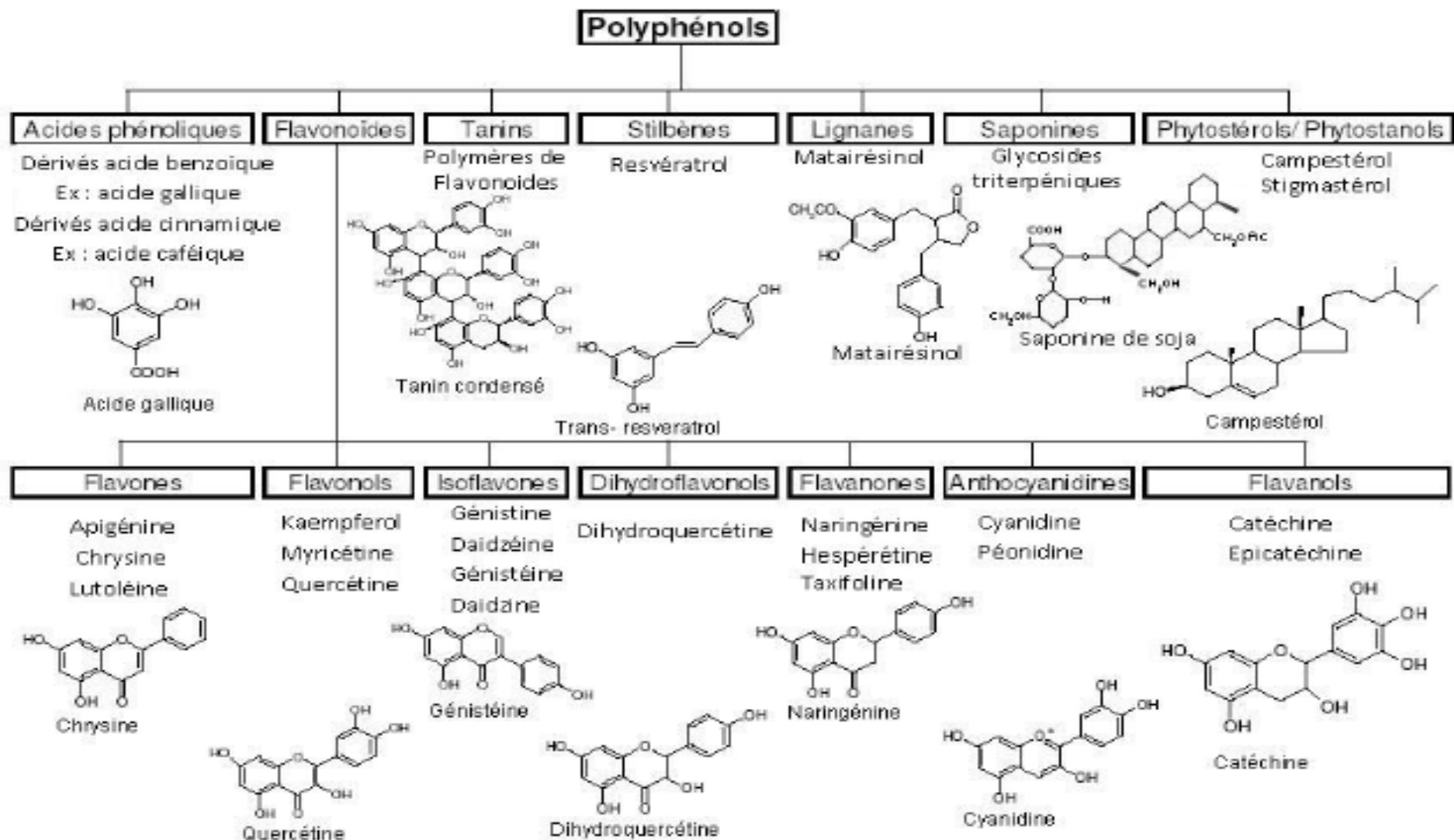


Figure 13 : Les différentes classes de polyphénols (Hmid, 2013)

Les polyphénols sont classés en différents groupes (Figure 13) en fonction du nombre de noyaux aromatiques qui les composent et des éléments qui les relient. On distingue les phénols simples (parmi eux les acides phénoliques), les flavonoïdes, les lignanes et les stilbènes (Boros et al., 2010).

II.7.5.1. Les flavonoïdes

Les flavonoïdes ont été découverts en 1930 par Albert Szent-Györgyui, désignés sous le nom de vitamine P, en raison de leur efficacité à normaliser la perméabilité des vaisseaux sanguins (Lakhanpal et al., 2007). Cette notion de vitamine P n'existe plus à l'heure actuelle puisqu'elle ne correspond pas à la définition classique des vitamines (Nijveldt et al., 2001).

L'expression flavonoïde a été introduite en 1952 par Geissmann et Hinreiner pour désigner les pigments ayant un squelette (C6-C3-C6), provenant du mot latin flavus qui signifie jaune. Occupant une place prépondérante dans le groupe des polyphénols, les flavonoïdes sont des métabolites secondaires ubiquistes des plantes. On estime qu'environ 2 % du carbone organique photo-synthétisé par les plantes est converti en flavonoïdes (Lhuillier, 2007). Ils sont considérés comme des micronutriments importants puisqu'ils peuvent jouer des rôles antioxydants ou posséder des propriétés biologiques diverses (Milane, 2004).

Les flavonoïdes sont des composés avec une activité anti-oxydante prononcée (Hodek et al., 2002). Ils expriment les propriétés anti-oxydantes par le piégeage direct des espèces réactives de l'oxygène (ERO), la suppression de la formation des ERO par l'inhibition de quelques enzymes ou par chélation des ions métalliques, impliqués dans leur production et la protection des systèmes de défense antioxydants de l'organisme (Boudiaf, 2006).

II.7.5.2. Les phytostérols

Toutes les huiles végétales contiennent des phytostérols (en moyenne de 0,1 à 0,5 %) (Evrard et al., 2007) soit 100 à 500 mg/100g d'huile (Piironen et al., 2000). Les phytostérols présentent une analogie de structure avec le cholestérol. En effet, ce sont des molécules complexes comportant une fonction alcool, trouvée à l'état libre ou estérifiée. Ces alcools dérivent du noyau stéroïde constitué de 4 cycles dont l'hydroxyle est en position trois et d'une chaîne latérale (Verleyen, 2002). La teneur totale en phytostérols dans les graines de sésame est presque environ 400 à 413 mg/100 g, ce qui est élevé par rapport aux noix anglaises et celles du Brésil (113 mg/100 g et 95 mg/100 g, respectivement) (Phillips et al., 2005). Selon Lecerf, (2011), le sésame contient entre 539 et 636 mg/100g de graines, des valeurs supérieures à

celles contenues dans le Tournesol (325-515 mg/100g, (Codex, 2003), l'olive (>100 mg/100g (COI, 2013)), l'argan (170-250 mg/100g (Hilali 2008)), et le soja (250-418 mg/100g (Codex, 2003)), alors que le colza renferme le maximum de phytostérols totaux, 540-880 mg /100 g (Codex, 2003). Il a été proposé que des phytostérols des végétaux sont efficaces dans le contrôle de l'oxydation des huiles en agissant comme antioxydants dans des conditions de friture (Gordon et Magos, 1983 ; White et Armstrong, 1986).

Le rôle de phytosterols en matière de santé est probablement plus significatif que les effets antioxydants. Les phytostérols ont montré une réduction efficace des taux de cholestérol sanguin (Fernandez et al., 2002 ; Gylling et Miettinen, 2005), l'hyperplasie de la prostate (Berges et al., 1995 ; Berges et al., 2000) et le cancer du côlon (Awad et Fink, 2000). En outre, une fonction immunitaire améliorée a été rapportée (Bouic et Lamprecht, 1999).

II.7.5.3. Les acides phénoliques

Les acides phénoliques sont contenus dans un certain nombre de plantes agricoles et médicinales (Psotova et al., 2003). Les acides phénoliques sont formés d'un squelette à sept atomes de carbone. On distingue deux principales classes d'acides phénoliques, les dérivés de l'acide benzoïque (Guingard, 1996) et les dérivés de l'acide cinnamique (Malagas, 1992). Les acides phénoliques sont connus pour avoir une activité antioxydante. Ils comprennent l'acide caféique, l'acide cinnamique, l'acide férulique, Etc. (Chimi et al., 1991). Ils agissent pour inhiber l'oxydation des lipides en frappant les radicaux peroxydes.

II.7.5.4. Les lignanes

Les lignanes sont définis comme des composés de bas poids moléculaire formés par le couplage oxydant d'unités p-hydroxyphenylpropane et largement distribués en tant que composant mineur dans une large variété de plantes du règne végétal, en particulier dans l'écorce de bois (Namiki, 2007).

Les graines de sésame contiennent de nombreux composés de lignanes antioxydants qui comprennent les lignanes solubles dans les lipides et les lignanes glucosides solubles dans l'eau. Jusqu'à présent, 16 variétés de lignanes ont été isolés à partir du sésame (figure 14). La sésamine et la sésamoline sont les principaux lignanes (Budowski et Markley, 1951 ; Bedigian et al., 1985). La sésamine, la sésamoline, le sésaminol, le sésamolinol et le pinorésinol sont les principaux lignanes solubles dans l'huile, alors que les principaux

lignanes glucosides sont le sésaminol diglucoside, le pinorésinol diglucoside, le sésaminol monoglucoside, le pinorésinol monoglucoside et deux isomères du pinorésinol diglucoside et du sésaminol diglucoside (Moazzami, 2006a ; Katsuzaki et al., 1994a) (Figure 14, 15).

La Sésamine et la sésamoline ont été rapportés d'avoir de nombreuses propriétés pharmacologiques, à savoir l'activité antioxydante (Suja et al., 2004a,b), l'activité anti proliférative (Yokota et al., 2007), l'amélioration de l'activité antioxydante de la vitamine E dans les systèmes de peroxydation des lipides (Ghafoorunissa et al., 2004) en abaissant le taux du cholestérol (Visavadiya et Narasimhacharya., 2008), l'augmentation des enzymes d'oxydation des acides gras hépatique (Ashakumary et al., 1999), montrant des effets antihypertenseurs (Lee et al., 2005), les effets neuro-protecteurs contre l'hypoxie ou des dommages du cerveau (Cheng et al., 2006) et réduire l'incidence du cancer du sein et du cancer de la prostate (Adlercreutz, 2002).

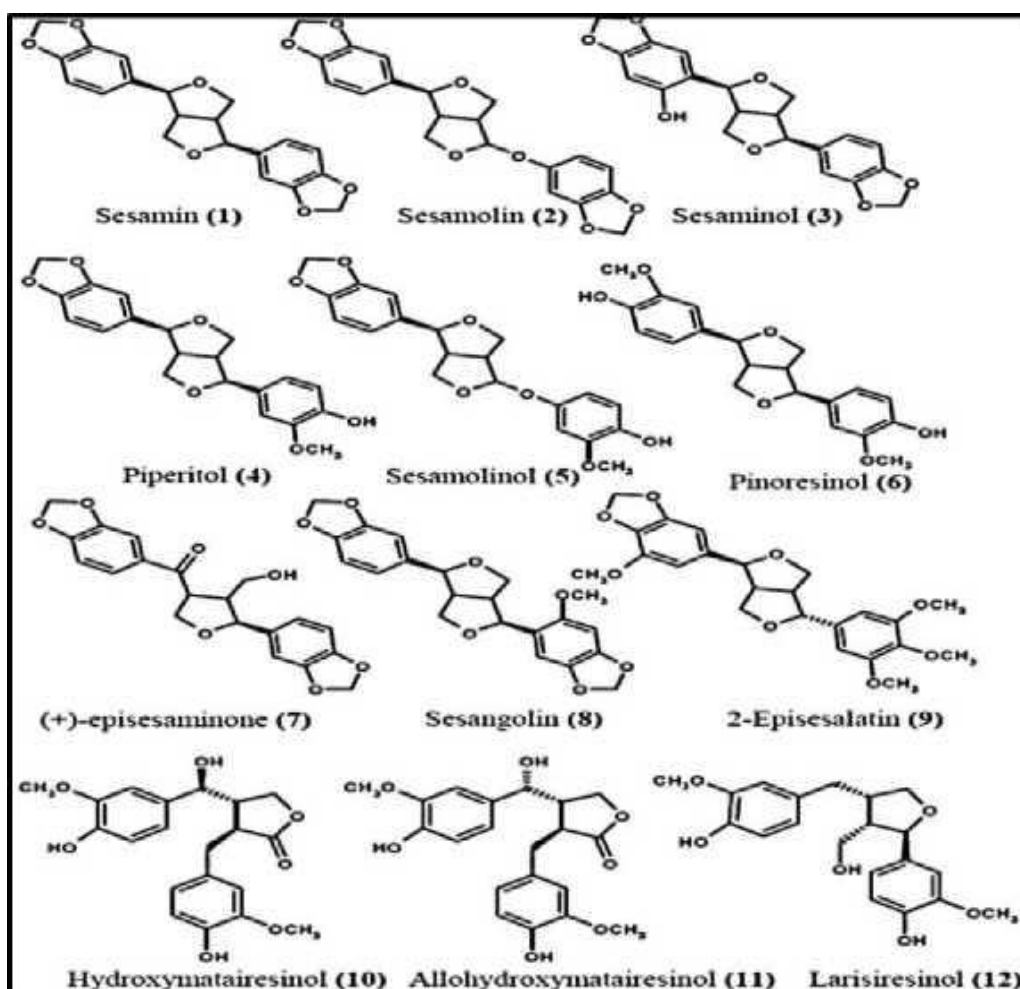


Figure 14 : Les lignanes liposolubles ou dispersés dans l'huile du sésame (Moazzami, 2006).

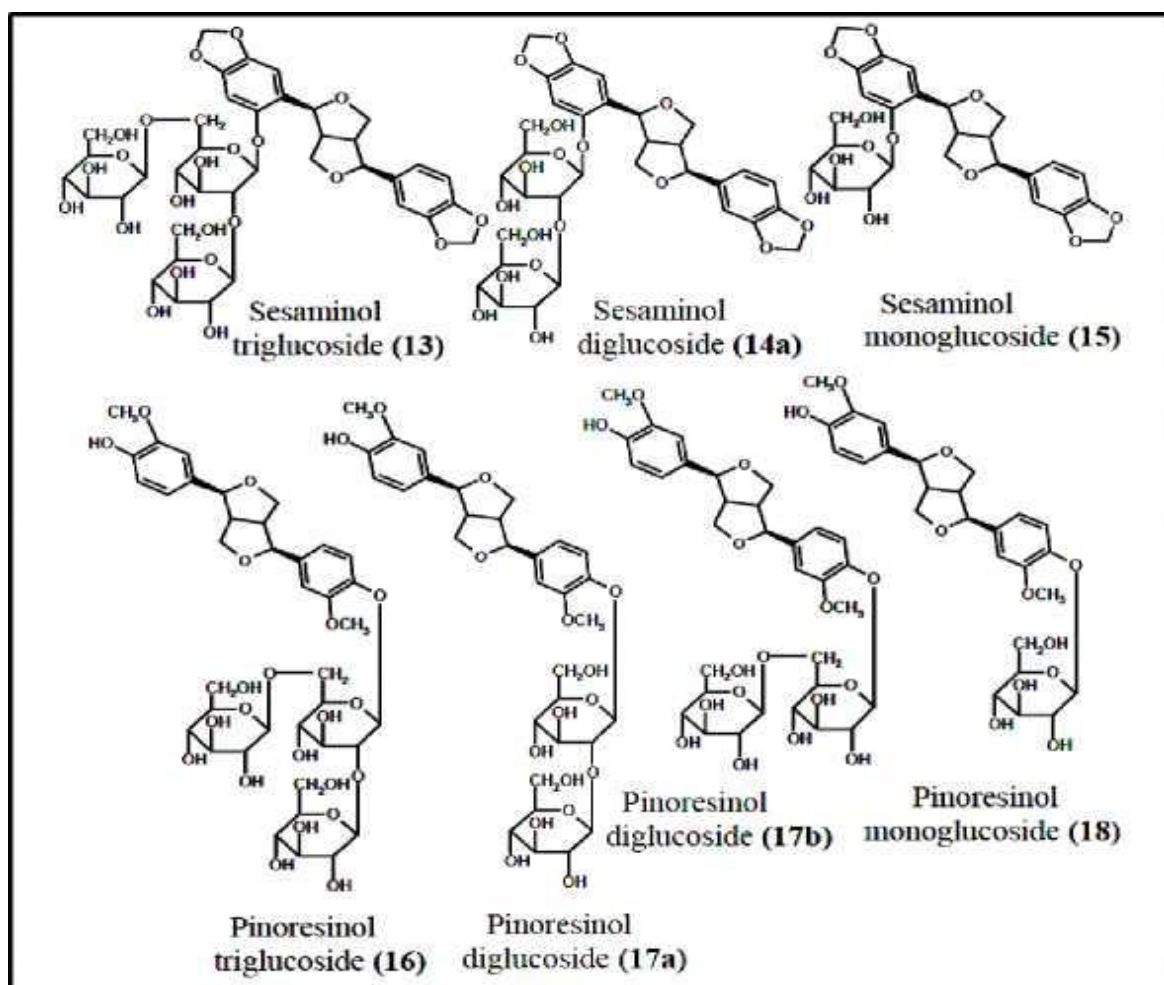


Figure 15: Les lignanes glucosides isolés par Katsuzaki et al., (1992, 1993, 1994a, b) dans la farine dégraissée du sésame (Moazzami, 2006).

La stabilité à l'oxydation extraordinairement élevée dans l'huile de sésame est liée étroitement à la présence des lignanes tels que la sésamoline et la sésamine et le sésamol (Abou-Gharbia et al., 1997; Abou-Gharbia et al., 2000; Lee et al., 2010; Shahidi et Naczk, 2004). La sésamine et la sésamoline sont les lignanes trouvés dans les graines de sésame avec des quantités de 200-500 mg/100 g et 200-300 mg/100 g, respectivement (Kamal-Eldin et Appelqvist, 1994a ; Shahidi et Naczk, 2004).

II.7.5.4.1. Chimie et biosynthèse des lignanes

Les études sur la biosynthèse des lignanes ont révélé que ces composés sont synthétisés à partir de la phénylalanine à travers plusieurs modifications phénylpropanoïdes (Suzuki et Umezawa, 2007). La sésamoline, un précurseur du sésamol était déjà connue, mais la formation du précurseur de la sésamoline n'a été rapporté que récemment (Ono et al., 2006).

Deux molécules chirales d'alcool E-coniféryle sont formées par la voie cinnamate/monolignol qui subit un couplage stéréosélective pour former le pinorésinol dans les graines du sésame (Kato et al., 1998 ; Umezawa, 2005). Le méthylène par étape de la formation du pont de dioxy pinorésinol, est catalysé consécutivement par l'action de deux enzymes du cytochrome P450 (SiP450). L'un d'eux est le pipéritol synthase, qui catalyse la conversion du pinorésinol au pipéritol. L'introduction du pont méthylènedioxy nécessite la sésamine synthase pour donner la sésamine (Kato et al., 1998 ; Jiao et al., 1998). La sésamine est ensuite métabolisée en episesaminone par une seule oxydation (Jiao et al., 1998). Plus tard, Ono et al., en (2006) ont isolé un ADNc codant pour une cytochrome P450-CYP81Q1 à partir d'une fraction microsomale du sésame et ont montré son rôle fonctionnel dans la catalyse qui conduit à la formation de pont méthylènedioxy avec le pinorésinol donnant lieu à la sésamine. La formation des lignanes est entièrement dépendante du stade de la maturité des graines (Kato et al., 1998). Ainsi, les graines matures ont la capacité de maîtriser parfaitement la conversion du (+) - pinorésinol en (+) - pipéritol et puis en (+) - sésamine (Jiao et al., 1998).

Les lignanes les plus étudiés du point de vue activité antioxydante sont les dérivés bifuranyles des graines de sésame. La sésamine et la sésamoline sont les premiers et les principaux lignanes identifiés du sésame. Ces deux lignanes, doués d'activité antioxydante, sont caractéristiques du sésame et ne peuvent se trouver dans d'autres huiles comestibles (Budowski, 1964). Plus tard, un autre principale lignane, sésaminol, a été identifié (Osawa et al., 1985). L'huile des graines de sésame contient une teneur moyenne de 0,36 % en sésamine (Tashiro et al., 1990). Une corrélation positive a été observée entre la teneur en huile des graines de sésame et la teneur en sésamine, alors qu'aucune corrélation n'est observée entre la teneur en huile et la teneur en sésamoline (Tashiro et al., 1990). Une large différence en matière de teneur en lignane existe entre les types de sésame. Namiki, (1995) rapporte des teneurs plus faibles en sésamoline pour le sésame indien (35,6 mg/100g), en comparaison avec le sésame originaire d'Indonesie qui présente une teneur élevée (1360 mg/100g).

Le sésamol est également important comme antioxydant caractéristique du sésame. Il a une forte activité antioxydante similaire à l'hydroxytoluène butylé (BHT) et à l'hydroxyanisole butylé (BHA) (Namiki, 1989 et 1995 ; Shahidi et Tan, 2011). La forte résistance à la détérioration oxydative de l'huile de sésame a suscité depuis plusieurs années de nombreuses recherches sur les graines de sésame.

La sésamine, la sésamoline et le sésamol constituent les principaux composés de l'activité antioxydante dans le sésame (Kato et al., 1998; Sirato-Yasumoto et al., 2001).

En conjonction avec les valeurs nutritionnelles du sésame, ces antioxydants devraient également contribuer à la bonne réputation du sésame comme un aliment sain.

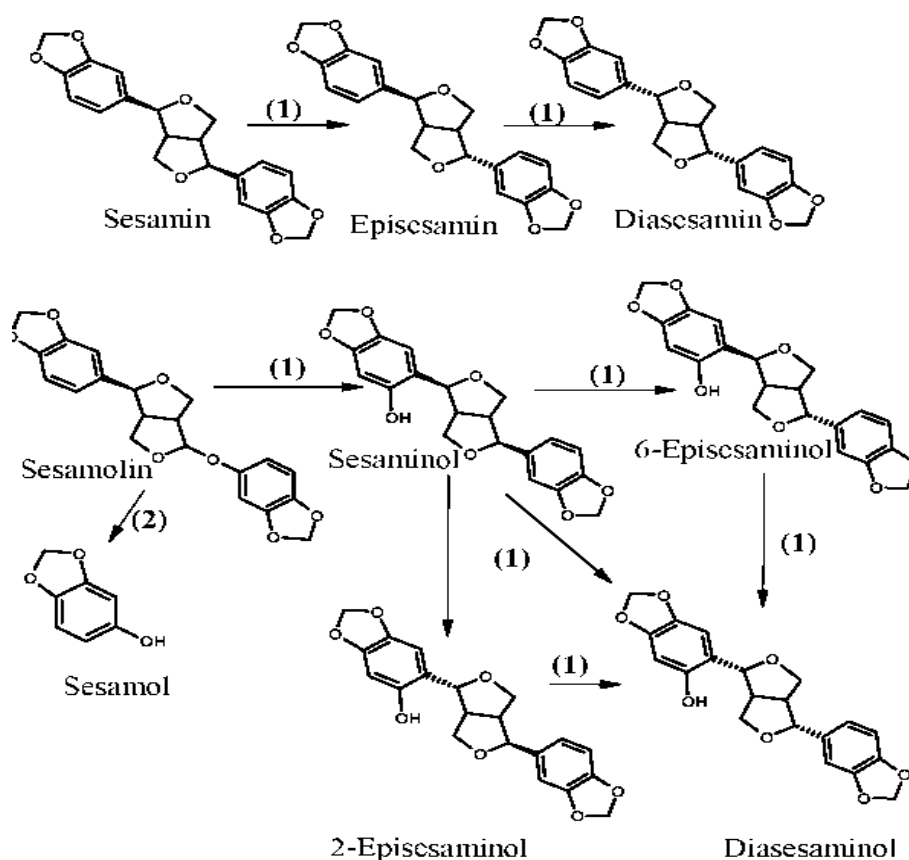


Figure 16: Transformation de lignanes de sésame pendant le blanchiment et l'hydrolyse (Moazzami, 2006).

II.7.5.5. Propriétés antioxydantes du sésame

II.7.5.5.1. Radicaux libres et stress oxydatif

Un radical libre est une molécule ou un atome ayant un ou plusieurs électrons non appariés, ce qui le rend extrêmement réactif. Les radicaux libres sont électriquement neutres ou chargés (ioniques) et comprennent l'atome d'hydrogène, le radical hydroxyle, l'anion superoxyde, le peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée), etc.

Les espèces réactives oxygénées (ERO) incluant les radicaux libres comme le radical hydroxyl ($\text{OH}\cdot$), le radical superoxyde ($\text{O}_2\cdot$) et sa forme protonnée ($\text{HO}_2\cdot$), le radical peroxy ($\text{ROO}\cdot$) et les espèces non radicalaires comme le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et l'oxygène singlet ($^1\text{O}_2$) sont des molécules hautement réactives (Chu et al., 2010). Dans tous les

systèmes vivants aérobies, ces espèces sont produites habituellement par voie endogène durant le métabolisme cellulaire (Kumari et Kakkar, 2008). Les ERO sont aussi produites dans des circonstances pathologiques intrinsèques telles que le dysfonctionnement de la mitochondrie et l'involution thymique favorisant l'inflammation chronique (Montagnier, 2009). Des facteurs exogènes à savoir les polluants environnementaux, les radiations, les solvants organiques, le tabac ainsi que les agents pathogènes sont aussi incriminés dans la production des ERO (Ansari, 1997). Les espèces réactives du nitrogène (ERN) incluent le radical monoxyde d'azote (NO•), l'anion peroxydite (ONOO⁻), le radical dioxyde d'azote (NO₂•) et d'autres oxydes d'azote sont produits par la réaction du monoxyde d'azote avec O₂. (Wiseman et Halliwell, 1996 ; Simon et al., 2000).

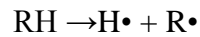
Les ERO et ERN sont connues pour jouer un double rôle dans les systèmes biologiques, puisqu'ils peuvent être à la fois nocifs mais aussi bénéfiques, voire indispensables pour les organismes vivants (Valko et al., 2007) :

- Bénéfiques, lorsqu'ils sont impliqués dans des rôles physiologiques au niveau des réponses cellulaires telles que la lutte contre des agents infectieux et leur fonction dans les systèmes de signalisation cellulaire ;
- Nocifs, lorsqu'il y a un déséquilibre entre la balance des ERO et ERN et les systèmes de défense, avec comme conséquence l'apparition de dégâts souvent irréversibles pour la cellule (ADN, protéines, lipides) en lien avec l'apparition de nombreuses maladies graves (cancer, athérosclérose, arthrite, maladies neurodégénératives) : c'est le stress oxydatif (Evans et Halliwell, 1999).

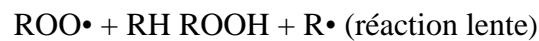
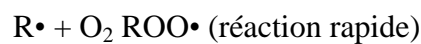
Le stress oxydatif, appelé aussi stress oxydant, se définit comme étant un déséquilibre profond de la balance entre les systèmes oxydants et les capacités antioxydantes de l'organisme en faveur des premiers, ce qui conduit à des dommages cellulaires irréversibles (Pincemail et al., 1999). Le stress oxydatif est un fonctionnement de l'organisme qui est normal tant qu'il ne dépasse pas certaines limites. En effet, tous les organismes vivants qui consomment de l'oxygène produisent des radicaux libres, et dont nos cellules savent normalement très bien se débarrasser. Le stress oxydatif devient anormal lorsque les cellules sont soit dépassées par la quantité de radicaux libres à éliminer, soit ne disposent pas de ressources antioxydantes (vitamines, oligoéléments, enzymes) suffisantes pour les éliminer. Le stress oxydatif apparaît donc quand un déséquilibre se forme dans la balance anti/pro-oxydants. C'est seulement à ce moment que les ERO vont exercer leur action délétère sur l'organisme. Les radicaux libres sont responsables de dommages sur toutes les molécules biologiques comme les lipides, les protéines, les acides nucléiques, ou les hydrates de carbone (Favier, 2003).

Les mécanismes d'oxydation des composés insaturés biologiques (acides gras, caroténoïdes, polyphénols...) sont souvent des réactions radicalaires avec l'oxygène moléculaire et présentent trois phases principales (Huang et al., 2005).

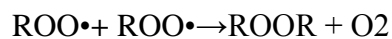
Une phase d'initiation qui peut être due à l'intervention d'un radical hydroxyle HO• qui arrache un atome d'hydrogène en position.



Une phase de propagation : Les radicaux libres formés fixent l'oxygène moléculaire et forment des radicaux libres peroxy instables qui peuvent réagir avec une nouvelle molécule d'acide gras pour former des hydroperoxydes :



Une phase de terminaison, où se recombinent différents radicaux formés pour aboutir à des composés stables :



Des sources importantes de radicaux libres sont les mécanismes de cycles redox que produit dans l'organisme l'oxydation de molécules comme les quinones.

II.7.5.5.2. Protection cellulaires des antioxydants

Les molécules ou microconstituants capables d'interférer avec les radicaux libres sont appelés antioxydants. Un bon antioxydant se devra de respecter quelques critères (Valko et al., 2006) :

- Être capable de piéger directement et spécifiquement les radicaux libres
- Chélater des ions de métaux de transition (Fe^{2+} , Cu^{2+}) d'importance biologique capables de promouvoir la production de radicaux libres par la réaction de Fenton,
- Interagir avec d'autres antioxydants, et, dans la mesure du possible, les régénérer,
- Avoir un effet positif sur l'expression génique,
- Être rapidement absorbé,

- Avoir une concentration qualifiée de « physiologique » dans les tissus et les fluides biologiques,
- Être efficace en milieu aqueux et/ou dans le milieu membranaire.

II.7.5.5.3. Systèmes antioxydants enzymatiques endogènes

Les principaux systèmes enzymatiques antioxydants les plus efficaces chez les mammifères ainsi que chez les plantes sont la superoxyde dismutase, la catalase et le glutathion peroxydase (Mates et al., 1999; Sharma et al., 2012). Le rôle majeur du superoxyde dismutase est de catalyser la dismutation des ions superoxydes en peroxyde d'hydrogène et en oxygène moléculaire. La catalase, essentiellement présente dans les peroxysomes et dans les érythrocytes, est capable de transformer le peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène moléculaire.

L'activité du glutathion peroxydase est de détoxifier le peroxyde d'hydrogène et d'autres hydroperoxydes d'origine lipidique en couplant la réduction de l'hydroperoxyde avec l'oxydation d'un substrat réducteur (Delattre et al., 2005d). D'autres enzymes jouent un rôle non négligeable dans la lutte antioxydante, l'ensemble formant un système complexe : glutathion réductase, thioredoxine reductase, glutathion transferase...

II.7.5.5.4. Systèmes antioxydants non-enzymatiques

Systèmes antioxydants endogènes

Les systèmes antioxydants non-enzymatiques endogènes incluent de nombreux thiols dont le majoritaire est le glutathion, largement présent sous forme réduite, qui est capable de réagir, *in vitro*, avec les radicaux HO•, RO₂•, RO•, ¹O₂, ONOO-, des radicaux centrés sur le carbone, mais aussi l'acide hypochloreux HOCl. Le glutathion est aussi capable de participer à l'activité enzymatique qui, elle détoxifie le peroxyde d'hydrogène et d'autres hydroperoxydes (McCall et Frei, 1999 ; Masella et al., 2005 ; Delattre et al., 2005d). Les deux formes, oxydée et réduite, de l'acide lipoïque, autre composé appartenant aux thiols, présentent des propriétés antioxydantes *in vitro* en piégeant les HO•, RO₂•, l'HOCl et l'¹O₂. En se liant à des métaux comme le fer et le cuivre, il permet de les désactiver d'un point de vue catalytique, et a la capacité de régénérer certains antioxydants endogènes et exogènes (Packer et al., 2001; Panfili et al., 2003; Smith et al., 2004). L'acide urique, présent sous forme d'urate à pH

physiologique, possède des propriétés antioxydantes in vitro contre les HO• et RO₂•, tout comme la bilirubine, les mélanines et la mélatonine (Delattre et al., 2005d).

Systèmes antioxydants exogènes

Les antioxydants chimiques exogènes, eux, comprennent majoritairement les vitamines C et E, les caroténoïdes et des composés phénoliques (McCall et Frei, 1999).

En effet, la plupart des antioxydants de synthèse ou d'origine naturelle possèdent des groupes hydroxyphénoliques dans leurs structures et les propriétés antioxydantes sont attribuées en partie, à la capacité de ces composés naturels à piéger les radicaux libres tels que les radicaux hydroxyles (OH•) et superoxydes (O₂•) (Rice-Evans, 1996).

Une large gamme de composés phénoliques tels que les acides phénoliques, les flavonoïdes, les anthocyanes, les lignanes, etc. sont connus pour leur pouvoir antioxydant (Kalkkonen et al., 1999). Ces composés fournissent une protection contre les radicaux libres nocifs et sont connus pour réduire le risque de certains types de cancer, des maladies cardiovasculaires, des maladies coronariennes, des accidents vasculaires cérébraux, de l'athérosclérose et autres maladies dégénératives associées au stress oxydatif (Shahidi et Naczki, 2004).

Les principaux lignanes du sésame (Figure 14, 15 et 16) dont la sésamine et la sésamoline et les produits de dégradation de la sésamoline, le sésamol et la sésaminole, sont des composés phénoliques et sont connus pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires, contre le vieillissement et son rôle dans l'inhibition de l'enzyme impliquée dans le métabolisme des acides gras.

Dans les aliments, les antioxydants jouent un rôle important dans la prévention des dommages dus à l'oxygène actif, qui conduit à diverses maladies telles que les troubles circulatoires, la carcinogénèse et le vieillissement (Namiki, 1998).

II.7.5.5.5. Activité antioxydante du sésame

L'activité antioxydante d'un composé correspond à sa capacité à résister à l'oxydation. Toute substance qui, lorsqu'elle est présente en faible concentration comparée à celle du substrat oxydable, retarde ou prévient de manière significative l'oxydation de ce substrat, est appelée antioxydant.

L'huile de sésame est distinguée comme une huile très résistante au rancissement oxydatif même pendant une exposition prolongée à l'air, à la lumière et à l'eau. Cette stabilité

exceptionnelle est attribuée à la présence d'antioxydants potentiels à savoir les lignanes, les tocophérols et les phytostérols (Elleuch et al., 2007; Lee et al., 2010).

Une étude comparative de la stabilité oxydative au cours du stockage à 60 °C de l'huile de sésame torréfiée, l'huile de sésame non torréfiée, l'huile de colza, l'huile de soja et d'autres huiles végétales, a montré que les deux huiles de sésame torréfiées et non torréfiées restent stables alors que l'huile de soja, l'huile de colza et les autres huiles végétales ont montré une augmentation rapide de l'oxydation après environ 10 jours. L'huile non torréfiée reste inchangée pendant 10 jours alors qu'aucune oxydation n'est observée jusqu'à 50 jours pour l'huile torréfiée (Namiki, 2007). La stabilité à l'oxydation relativement plus grande des huiles de sésame extraites de graines ayant subi un traitement de torréfaction peut être dû à la formation de certains antioxydants (sésamol) à partir de la dégradation d'autres composés indigènes, le sésaminol (Yen, 1990). L'huile de sésame préparé à partir de graines de sésame grillées a une saveur distinctive et une durée de vie plus longue. Kim, (2000) estime que la stabilité au stockage de l'huile de sésame non torréfié est faible, mais la torréfaction de graines de sésame à 170 °C, ou plus, augmente de manière significative la stabilité de l'huile de sésame. La stabilité à l'oxydation de l'huile de sésame est plus élevée dans le cas de l'huile extraite des graines entières que dans celle extraite des graines décortiquées (Abou-Gharbia et al., 1997; Elleuch et al., 2007).

La propriété antioxydante du sésame a été largement étudiée (Jeong et al., 2004; Suja et al., 2004b; Fazeli et al., 2007; Reshma et al., 2012). Des études plus récentes ont révélé que l'activité antioxydante de l'huile des graines de sésame est due à l'activité antioxydante, *in vitro*, de la sésamine isolée à partir de l'huile de sésame (Vishwanath et al., 2012; Carvalho et al., 2012; Bopitiya et Madhujith, 2013; Saleem et al., 2013; Wan et al., 2015).

Plusieurs méthodes sont utilisées pour la détermination de l'activité antioxydante, nommées d'après le nom de la substance utilisée comme source de radicaux libres, ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity), TRAP (Total Radical Trapping antioxidant Parameter), TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity), TOSC (Total Oxydical scavengin Capacity), PSC (Peroxyl Radical Scavenging), FRAP (Ferric reducing Antioxidant Power) et la méthode DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyle) (Mermelstein, 2008). Le tableau 5 représente une description de diverses méthodes de dosage de l'activité antioxydante *in vitro*.

Tableau 5 : Description de quelques tests antioxydants chimiques in vitro

Quelques tests chimiques in vitro				
Tests	DPPH	ABTS ou TEAC	FRAP	ORAC
Mécanismes réactionnels	-transfert d'électron majoritaire	-transfert d'électron et de proton	-transfert d'électron	-transfert de proton
Nature des molécules testées	-hydrophiles et lipophiles	-hydrophiles et lipophiles	-hydrophiles	-hydrophiles et lipophiles
Expression des résultats	-Ic ₅₀ en mg ou pmol équivalent Trolox	-Ic ₅₀ en mg ou pmol équivalent Trolox	-en mg ou pmol équivalent Fe ²⁺	-Ic ₅₀ en mg ou pmol équivalent Trolox
Avantages	-très facile à mettre en œuvre -peu coûteux	-très facile à mettre en œuvre -cinétique de réaction très rapide	-très facile à mettre en œuvre -peu coûteux	-facile à mettre en œuvre
Inconvénients	-encombrement stérique de molécules à hauts poids moléculaires, -interférences possibles à 515 nm, - forte dépendance au pH et au solvant -radical inexistant in vivo	-produits de dégradation antioxydants, -radical non existant in vivo	-pH utilisé non physiologique -interférences possibles à 595 nm -interférences avec composés possédant E° < 0,77 V	-mécanismes de génération des ROO -non physiologique -interférences possibles des protéines
Références	(Brand-Williams et al., 1995; Pinelo et al., 2004)	(Awika et al., 2003)	(Benzie et Strain, 1996 ; Ou et al., 2002)	(Ou et al., 2001)

III. Utilisations diversifiées de l'huile et de la graine de sésame

III.1. Utilisation à des fins nutritionnelles

Le sésame est cultivé pour ses graines, son huile précieuse, et sa pâte d'huile. La pâte de l'huile (tahine) est obtenue par broyage des graines. La graine entière est également utilisée sur les pains et les gâteaux. Le sésame est utilisé comme source riche supplémentaire de protéines dans de nombreux pays en voie de développement (Uzun et al., 2002).

Bien que les graines de sésame soient utilisées comme ingrédient dans de nombreuses denrées alimentaires différentes, une grande partie de la production des graines de sésame est transformée en huile et en farine (Morris, 2002). Les antioxydants donnent à l'huile la stabilité et donc une longue durée de vie (Chung et al., 2004; Suja et al., 2004a). Dans l'huile de sésame, l'acide oléique (C18 : 1) et linoléique (C18 : 2) sont les acides gras prédominants et représentent plus de 80 % des acides gras totaux. Les niveaux élevés en acides gras insaturés (AGI) et en acides gras polyinsaturés (AGPI) améliorent la qualité de l'huile pour la consommation humaine (Nupur et al., 2010). En outre, le niveau élevé des AGPI dans l'huile de sésame joue un rôle dans la réduction du cholestérol sanguin et de l'hypertension artérielle et donc un rôle important dans la prévention des maladies cardiaques, l'athérosclérose et les cancers (Ghafoorunissa, 1994 ; Hibasami et al., 2000; Miyahara et al., 2001). La farine de sésame a une teneur élevée en protéines, avec des niveaux élevés d'acides aminés essentiels tels que la méthionine et le tryptophane. Elle contient environ 10 à 12 % d'huile et trois fois plus de calcium que le lait (Morris, 2002). Le tourteau qui reste après extraction de l'huile de sésame est un excellent aliment pour la volaille et le bétail.

La consommation humaine du sésame constitue un problème potentiel du fait de la présence des allergènes alimentaires. L'allergie émane de sources de protéines, comme 2S14kDa, précurseur de l'albumine, qui appartient à l'une des quatre familles de protéines connues pour être allergéniques et plusieurs oléosines (15 et 17 kDa), également connues pour provoquer une hypersensibilité (Wolff et al., 2003 ; Leduc et al., 2006). Par conséquent, les produits alimentaires qui contiennent du sésame comme ingrédient sont tenus d'être étiquetés comme potentiels allergènes en Europe et au Canada (Carlsson et al., 2008). De nombreuses utilisations nutraceutiques du sésame ont été découvertes. Les lignanes du sésame ont des activités antioxydantes et promouvantes de la santé (Kato et al., 1998).

Les graines de sésame contiennent aussi de la lécithine, qui a une activité antioxydante et hépatoprotecteur et varie de 58 à 395 ppm (Beckstrom-Sternberg et al., 1994a). La lécithine

est également susceptible et efficace pour réduire la stéatose hépatique chez les patients de nutrition parentérale à long terme et un traitement efficace pour la dermatite et la peau sèche (Jellin et al., 2000). Plusieurs utilisations pharmaceutiques ont été identifiées à partir du sésame. L'acide myristique a aussi la capacité de prévention du cancer et se trouve dans la graine de sésame allant de 328 à 1728 ppm (BeckstromSternberg et al., 1994a). L'huile de sésame est un adjuvant pharmaceutique utilisé en tant que solvant pour les injections intramusculaires (Tyler et al., 1976) et a été utilisé comme laxatif (Dark, 1998).

III.2. Utilisation de sésame à des fins pharmaceutiques

En raison de la richesse des graines de sésame en acides gras polyinsaturés, ainsi que des vitamines et des minéraux comme le calcium, le magnésium et le phosphore, son huile a des avantages pour la santé. Par conséquent, l'huile de sésame a été utilisée comme médicament (Bedigian, 2004). En plus de la vitamine E, l'huile de sésame contient d'autres antioxydants importants tels que le sésaminol et sesamolol, qui sont censés favoriser l'intégrité des tissus de l'organisme (Morris, 2002). Cooney et al., (2001) ont constaté que la consommation d'aliments à base de graines de sésame riches en gamma-tocophérol augmente de façon significative ses niveaux dans le sérum. Il a été montré que le gamma-tocophérol influence positivement l'activité de la vitamine E qui est censé prévenir le cancer et les maladies cardiaques (Cooney et al., 2001).

Un essai clinique a prouvé que l'huile de sésame était significativement plus efficace pour le traitement de la sécheresse de la muqueuse nasale due à un climat sec en hiver qu'une solution isotonique de chlorure de sodium (Johnson et al., 2001). En outre, l'huile de sésame contient de grandes quantités de linoléate sous forme de triglycérides qui inhibent sélectivement la croissance des mélanomes malins (Smith et Salerno, 2001).

L'huile de sésame est utilisée comme une aide pharmaceutique (Jellin et al., 2000) et à ce titre, utilisée pour remédier aux maladie des gencives, traiter les maux de dents, soulager l'anxiété ou l'insomnie, ou utilisé comme un rince-bouche antibactérien par les Chinois et les Indiens dans le passé (Annussek, 2001 ; Morris, 2002). Ainsi, selon Anand et al., (2008), l'huile de sésame est jugée efficace pour réduire la croissance et l'adhésion bactérienne. Il a été proposé, toutefois, que la viscosité de l'huile peut inhiber l'adhérence bactérienne et la formation de la plaque dentaire (Asokan et al., 2008).

III.3. Applications non alimentaires

L'huile de sésame est également utilisée dans plusieurs applications non alimentaires telles que la fabrication des peintures, des produits cosmétiques, des solvants et du savon (Bedigian, 2004). En Afrique, les fleurs de sésame ont été utilisées pour préparer des parfums (Morris, 2002). Hasan et al., (2000) ont rapporté que la chlorosésamone extraite des racines du sésame a des propriétés antifongiques. Par ailleurs, l'huile de sésame a été étudiée comme une source de fabrication de biodiesel (Ahmad et al., 2010, Nouadjep et al., 2013).

Chapitre II. Généralités sur la germination du sésame

I. Définition de la germination

La germination est le passage de la dormance de la graine à la vie active, sous l'effet de facteurs favorables. Par définition, la germination intègre ces événements qui commencent avec l'absorption d'eau par la graine et se terminent avec l'allongement de l'axe embryonnaire (Bewley et Black, 1982). Selon Mazliak, (1982), c'est un processus physiologique dont les limites sont le début de l'hydratation de la semence et le tout début de la croissance de la radicule. Une semence a germé, lorsque la radicule a percé les enveloppes ou elle est visiblement allongée (Côme, 1970) (Figure 17).

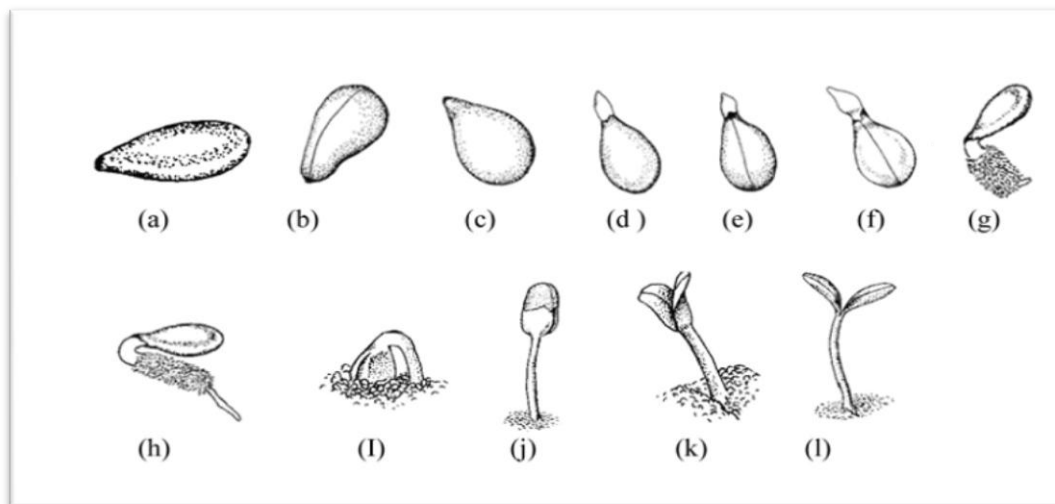


Figure 17 : Les stades de la germination et de l'émergence de la graine de sésame. (a) semences sèches, (b, c) semences imbibées ; (d, e, f) l'émergence des radicelles ; (g) apparition du chevelu racinaire ; (h, i) Hypocotyle arc est présent ; (j, k) cotylédons pliés sur la surface du sol ; (l) cotylédons entièrement ouverts (Zavareh et al., 2008).

La germination comprend plusieurs phases physiologiques successives, dont la plus importante est appelée *germination sensu stricto* qui s'achève juste avant la croissance de la radicule (Mazliak, 1982).

La germination dépend des facteurs intrinsèques (âge et état de la plante mère, évolution physiologique et morphologique de la graine) et extrinsèques (humidité, température, oxygène).

Il comprend trois principales phases successives :

- La première phase : c'est la phase d'imbibition de la graine, qui se traduit par une augmentation régulière et importante de l'activité respiratoire (Côme, 1970 ; Mazliak, 1982).
- La deuxième phase : c'est la *germination sensu stricto* marquée par un arrêt de l'absorption de l'eau et une activité respiratoire régulière (Mazliak, 1982).
- La troisième phase : est caractérisée par une reprise de l'absorption de l'eau et une activité respiratoire de plus en plus importante due au développement de la radicule (Mazliak, 1982). Cette phase se traduit par une activité enzymatique et une augmentation des taux de respiration et d'assimilation qui sont l'indice d'utilisation des éléments nutritifs mis en réserve, et leur transfert vers les zones de croissance.

Durant cette 3^{ème} phase, un changement irréversible se produit dans l'embryon, l'arrêt de la germination provoque la mort de l'embryon (Toth, 1978 a).

La germination d'une graine passe par plusieurs phases. Elle peut se résumer en cinq phases physiologiques, la levée de la dormance, l'absorption de l'eau, la digestion des réserves, la croissance de l'embryon et l'émergence de la radicule.

La phase de la levée de la dormance ne s'applique pas à toutes les semences et peut être variable d'une espèce à l'autre.

La germination débute par une intense absorption d'eau. Les tissus se réhydratent, notamment ceux de l'embryon, et la graine gonfle. Ce gonflement aboutit à la rupture du tégument. Tandis que plusieurs autres réactions métaboliques démarrent, les réserves de la graines sont hydrolysées et assimilées par l'embryon et les divisions cellulaires reprennent. La radicule s'allonge, suivie de près par l'hypocotyle. La jeune plantule émerge du tégument. Dans cette phase, l'embryon vit de ses réserves et a surtout besoin d'humidité, de chaleur et d'oxygène.

II. Facteurs influant sur la germination

Lorsque les conditions sont favorables, les graines commencent à germer et sortent de leur tégument. Les facteurs environnementaux tels que la température, la lumière, le pH et l'humidité du sol sont connus pour affecter la germination des graines (Martins et al., 2000; Canossa et al., 2008; Ikeda et al, 2008 ; Rizzardi et al, 2009). L'eau, l'oxygène et la température sont les facteurs les plus essentiels pour la germination des graines (Agrawal et Dadlani, 1992).

III. Hétérogénéité de la germination

Le pouvoir germinatif des graines dépend en grande partie des conditions dans lesquelles on les place. Les causes de la variabilité des propriétés germinatives sont multiples et mal connues (Côme, 1970). Elles dépendent surtout du patrimoine héréditaire mais les facteurs de l'environnement peuvent modifier l'expression de ces propriétés d'origine génétique. Cette hétérogénéité est due selon Mazliak, (1982) à trois catégories de facteurs :

- Conditions de développement des semences sur la plante (température, ensoleillement, pluviosité, nature du sol, etc.). L'origine géographique des semences est donc très importante,
- Conditions de conservation (méthodes, température, humidité, etc.),
- Conditions de germination : plus ces conditions sont défavorables, et plus le lot semble être hétérogène. C'est d'ailleurs une méthode très utilisée pour mettre en évidence l'hétérogénéité d'un lot de semences ou des différences d'états physiologiques entre plusieurs lots.

Les résultats des essais de germination varient donc selon l'origine des semences, les traitements qu'elles ont subis et les conditions de germination.

IV. Influence des contraintes abiotiques sur la germination

Dans la nature, les plantes sont souvent soumises à des fluctuations des conditions de l'environnement où elles poussent. L'insuffisance et l'irrégularité des pluies, les différences de températures et les conditions de sol (sol engorgé, peu aéré, acide, salin, etc.) constituent les principaux facteurs affectant le rendement et les composantes du rendement du sésame dans les régions arides et semi-arides.

La germination est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et en particulier par la disponibilité de l'eau dans le sol et la présence de sel (Gutterman, 1993). La germination des graines est le stade le plus sensible aux stress salin et hydrique (Boulghalagh et al., 2006).

La germination peut constituer un test précoce pour connaître le seuil de tolérance des plantes soumises à des contraintes environnementales.

V. Effet des stress abiotiques sur la germination du sésame

La sécheresse et la salinité sont deux grands stress abiotiques en raison de leur grande fréquence et la haute ampleur de leur impact (Bartels et Sunkar, 2005). Une sécheresse aigue et une salinité élevée pourraient promouvoir la désertification et la salinisation des terres, processus qui se multiplient rapidement à l'échelle mondiale. Plus de 10 % des terres arables

sont devenues désertifiées ou salines, et les rendements moyens des principales cultures ont été réduites de plus de 50 % (Wu et al., 2011). La salinité et la sécheresse sont physiologiquement liées parce que les deux induisent un stress osmotique et la plupart des réponses métaboliques des plantes stressées sont similaires (Kumar et al., 2011). L'effet du stress hydrique sur la croissance et le rendement des plantes diffère selon le génotype de ces plantes (Bannayan et al., 2008) et varie aussi selon le calendrier, la durée et l'ampleur de ce stress (Pandey et al., 2001). Le stress salin affecte négativement la croissance des plantes pendant toutes les étapes de développement (Jamil et al., 2006).

La germination des graines est le début du cycle de vie de la plante et elle constitue généralement l'étape la plus critique dans l'établissement des jeunes plantules et de la production végétale réussie (Almansouri et al., 2001). La salinité a également été identifiée comme le principal facteur influençant l'établissement des plantules dans les régions arides et semi-arides (Almansouri et al., 2001). L'augmentation de la salinité du sol peut influencer la germination des graines, soit par les effets toxiques d'ions spécifiques, tels que Na, Cl et SO₄, ou en créant une pression osmotique qui empêche l'absorption d'eau des semences (Kaya et al., 2006; Shaikh et al., 2007). La salinité du sol et le déficit en eau provoquent un potentiel en eau du sol faible qui mène à la germination tardive et inadaptée associée à l'insuffisance de l'établissement du peuplement des jeunes plantules. En conséquence, la productivité des cultures est affectée (Willenborg et al., 2005).

Comparé à d'autres cultures, le sésame a une meilleure tolérance à la sécheresse. Cependant, il reste particulièrement sensible à la sécheresse survenant au cours de la germination et pendant les premiers stades de la croissance (Orruno et Morgan, 2007 ; Boureima et al., 2011). Des études antérieures ont rapporté que, sous des conditions de stress hydrique, la germination et les paramètres de croissance des plantules sont réduits. Dans ces conditions, l'ampleur des réductions observées varient en fonction du niveau de la sécheresse et du cultivar (Heikal et al., 1982; Mensah et al., 2006; Hassanzadeh et al., 2009; Boureima et al., 2011; Bahrami et al., 2012).

Le sésame est souvent cultivé dans des conditions d'irrigation dans les zones arides et semi-arides (caractérisées par des températures élevées, des niveaux élevés de rayonnement solaire, une forte demande d'évaporation) où l'apparition de la sécheresse est imprévisible (Witcombe et al., 2008 ; Hassanzadeh et al., 2009). Tous ces facteurs combinés provoquent une augmentation de la salinité du sol qui est une contrainte de limitation sérieuse de la production de cette culture. Cependant, peu d'études ont concerné l'effet du stress salin sur la germination

de graines de sésame. Elles ont montré que les paramètres de germination et de croissance précoce ont été affectés négativement et la gravité de l'effet varie selon le niveau de stress du sel et du cultivar (Purohit et al., 2005; Ramirez et al., 2005; Bahrami et Razmjoo, 2012).

Plusieurs études étudiant l'effet de la germination sur les plantes ont montré que la teneur en protéines et en fibres alimentaires augmentent pendant la germination. Toutefois, la teneur en tanins et la teneur de l'acide phytique diminuent (Rao et Prabhavathi, 1982 ; Hussein et Ghanem, 1999 ; Ghavidel et Prakash, 2007). Il a été aussi rapporté que la germination est associée à une augmentation des concentrations en vitamine et à la biodisponibilité des minéraux et des oligo-éléments (Rao et Prabhavathi ; El-Adawy et al., 2002). Kaushik et al., (2010) ont constaté que la germination améliore le taux du calcium, du cuivre, du manganèse, du zinc, de la riboflavine, de la niacine et des teneurs en acide ascorbique.

Chapitre III. Diversité génétique du sésame

La diversité génétique est l'étendue de la variabilité génétique mesurée à l'échelle d'individus, une population, une métapopulation, une espèce ou un groupe d'espèces (Frankham et al., 2002 ; Freeland, 2005). La diversité est assurée par la variabilité génétique entre les individus au sein de l'espèce. Elle exprime la propriété qu'ont les organismes d'acquérir par mutations et effets de la sélection naturelle de nouveaux caractères. Grâce à cette variabilité, et dans les limites de l'espèce, les individus diffèrent les uns des autres pour un ou plusieurs caractères. Au cours de leur évolution, les plantes cultivées acquièrent des particularités biologiques leur permettant de s'adapter à de nouveaux environnements. L'ensemble de ces particularités biologiques façonnées par les processus évolutifs a généré de nouveaux caractères constituant la diversité génétique au sein de l'espèce.

La diversité génétique des cultures joue un rôle important dans le développement durable et la sécurité alimentaire (Esquinas-Alcazar, 2005), car elle permet la culture de plantes en présence de divers stress biotiques et abiotiques. Elle est également importante pour la sélection des parents qui peuvent être utilisés dans les programmes d'amélioration des plantes. Les informations sur la diversité génétique sont importantes lorsqu'on s'intéresse à améliorer les variétés végétales. La collecte, la caractérisation et la conservation de ressources génétiques, dont les populations ou variétés locales et les accessions introduites de différentes origines géographiques, sont d'une importance capitale pour la préservation et l'utilisation future de telles ressources dans les programmes d'amélioration génétique de cette espèce. La diversité génétique des espèces cultivées peut être déterminée en utilisant des marqueurs agromorphologiques, biochimiques et moléculaires (Liu, 1997 ; Geleta et al., 2007, 2008).

I. Marqueurs agromorphologiques

La morphologie a été un outil important pour estimer les différences génétiques entre les génotypes de sésame. Plusieurs études basées sur des marqueurs morphologiques ont trouvé une grande diversité génétique dans les populations de sésame (Bedigian et Harlan, 1986 ; Ganesh et Thangavelu, 1995 ; Bisht et al., 1998; Arriel et al., 2007). Selon des études de la variation morphologique, le sésame montre une large variabilité (Baydar et al., 1999 ; Bisht et al., 1998 ; Xiurong et al., 2000). Des accessions ont été classées en sept groupes pour créer une collection de base de sésame (Bisht et al., 1998). Une collection de germoplasmes de sésame en Chine a également été établie par groupe morphologique (Xiurong et al., 2000).

Une autre étude morphologique a été réalisée par Baydar, (2005). Dans cette étude, afin d'améliorer le type idéal de la plante de sésame, les techniques de reproduction classiques et l'examen des générations ont été appliqués sur la base de huit caractéristiques. Par conséquent, les chercheurs ont montré que le type ramifié est lié à un rendement élevé et que les plantes à faible rendement contiennent une forte teneur en huile. Une étude similaire a été réalisée par Sharmila et al., (2007). Ils ont trouvé des interactions additives, de gènes dominants et épistatiques pour sept caractères quantitatifs.

En Turquie, Uzun et Cagirgan, (2006) ont comparé les types déterminé et indéterminé pour les caractères agronomiques et ils ont montré que les types mutants déterminés présentent certains inconvénients et ils doivent être perfectionnés. Dans des travaux antérieurs, Uzun et al., (2002) avaient rapporté la teneur en huile et la composition en acides gras des types de sésame déterminé. Ils ont constaté que la teneur en huile des types déterminés est proche de leurs types sauvages, mais ils ont un faible rendement en graines. D'autres recherches ont été réalisées par Baydar et al., (1999) qui ont classifié les populations de sésame turc en fonction du rendement, de l'acide oléique et l'acide linoléique.

Les principaux caractères étudiés sont la forme et la pilosité des feuilles et des tiges, la hauteur et la ramification des plantes, la surface foliaire, le taux de croissance, la fructification des rameaux, la précocité à la floraison et à la maturité, le nombre de capsules par aisselle, le rendement en graine et ses composantes.

Cependant, les marqueurs morphologiques ont des limites dans leur capacité à évaluer la diversité génétique en raison de la forte influence des facteurs environnementaux qui les rendent très dépendants des conditions de culture. Les marqueurs moléculaires surmontent cette limitation.

II. Marqueurs moléculaires

La variabilité génétique du sésame a également été étudiée par des techniques moléculaires. Les Isoenzymes, les RAPD, les ISSR, les AFLP, et les SSR ont été utilisés comme marqueurs moléculaires à ce jour. La première approche moléculaire utilisée pour étudier la diversité génétique chez le sésame a été réalisée par Isshiki et Umezaki en 1997. Ils ont utilisé des isoenzymes pour la détermination de la variation génétique dans 68 accessions de sésame cultivé (12 du Japon, 15 de la Corée, et 41 de la Thaïlande). En conséquence, un seul système enzymatique isocitrate déshydrogénase (IDH) a montré une variation. Bhat et al., (1999) ont

évalué la diversité génétique du sésame exotique et du matériel génétique indien par des marqueurs RAPD. Ils ont constaté un niveau élevé de diversité génétique (0,35), mais ils ont montré que le matériel génétique indien a plus de variation génétique que les plantes exotiques. Une étude similaire à l'aide de marqueurs RAPD, a été réalisée par Ercan et al., (2004) en Turquie. Ils ont rapporté une diversité génétique allant de 0,14 à 0,40 parmi 38 accessions de sésame turc. De même, une grande diversité génétique du sésame au Vietnam et au Cambodge a été trouvée en utilisant les marqueurs RAPD (de 0,03 à 0,31) (Pham et al., 2009).

L'étude de la variabilité génétique du sésame a été aussi réalisée en utilisant des marqueurs moléculaires ISSR. Kim et al., 2002, à l'aide des marqueurs moléculaires ISSR, ont déterminé la diversité génétique parmi 75 accessions du sésame coréennes et exotiques, et ils ont rapporté un faible niveau de diversité génétique (0 à 0,25). Les accessions du sésame ont été groupées en sept groupes et il a été démontré que les différentes origines géographiques ne sont pas complètement distinctes (Kim et al., 2002)

Des études récentes sur la diversité génétique du sésame ont été effectuées en utilisant les marqueurs AFLP. Laurentin et Karlovsky, (2006) ont effectué une analyse AFLP pour examiner les relations génétiques et la diversité dans un matériel génétique de sésame. Ils ont utilisé 32 accessions de sésame à partir de la collection de germoplasme vénézuélien qui représente cinq centres de diversité. Ils ont essayé huit combinaisons d'amorces et ont enregistré 457 marqueurs AFLP qui étaient polymorphes à 93 %. Ils ont constaté une grande variabilité génétique qui est indépendante de l'origine géographique. Ali et al., (2007) ont utilisée aussi des marqueurs AFLP pour déterminer la diversité génétique de 96 accessions de sésame collectées à partir de différentes parties du monde et ils ont trouvé un niveau faible (35 %) de diversité génétique.

Les microsatellites sont des marqueurs moléculaires parmi les plus couramment utilisés pour déterminer la diversité génétique des espèces cultivées. Toutefois, seules quelques études ont utilisé des microsatellites pour évaluer la diversité génétique de sésame (Dixit et al., 2005; Wei et al., 2008). Des marqueurs moléculaires ont été développés pour identifier des caractéristiques morphologiques du sésame comme le mode de croissance et le caractère capsule fermée (Uzun et al., 2003; Uzun et Cagirgan, 2009). Par ailleurs, d'autres techniques de biotechnologie, telles que la régénération *in vitro* et la transformation génétique, ont également été développées pour le sésame (Were et al., 2006a; Yadav et al., 2010).

III. Diversité biochimique du sésame

Les estimations de la diversité dans les plantes cultivées fournissent une justification pour les stratégies de conservation et de soutenir la sélection du matériel de départ pour les programmes de sélection. La composition biochimique a été très étudié pour évaluer la variation de la teneur en protéines, en huiles, en acides gras, en acides aminés et en métabolites secondaires dans le monde. Awasthi et Thakur, (2010) ont évalué la variation significative de l'humidité, des protéines brutes, de l'huile, des fibres brutes, des hydrates de carbone et des sucres totaux pour un échantillon de dix-sept génotypes du sésame d'Inde. Plusieurs travaux sur la diversité génétique de la teneur en huile de la graine et de la composition en acides gras ont été réalisés sur le sésame cultivé comme sur d'autres cultures oléagineuses (Hiremath et al., 2007). La diversité de la composition en acides gras des graines de sésame avait été antérieurement étudiée par Yermanos et al., (1972) sur une collection de 721 accessions et par Tinay et al., (1976) sur une collection de 46 accessions du sésame. Alors que Kamal-Eldin et al., (1992) n'ont trouvé aucune diversité significative au sein de 12 accessions du sésame de Soudan.

IV. Conservation du sésame et collections de base

Le but de la conservation est de préserver les ressources phytogénétiques des plantes pour des recherches futures potentielles, concernant notamment leur caractérisation, évaluation et utilisation dans des programmes d'amélioration génétique. La présence d'un grand nombre d'accessions non caractérisées est une limitation dans l'utilisation efficace de la diversité génétique. Par conséquent, pour les données significatives, l'ensemble de la collection doit être réduit à un niveau gérable. Une collection de base du matériel génétique est un ensemble représentatif d'accessions ayant une diversité génétique complète de l'ensemble de la collection avec répétitivité minimum. Le sous-ensemble de base représente un minimum de répétitivité (environ 10 % de l'ensemble de la collection) et fournit une bonne collection de travail. Les collections de base du matériel génétique du sésame ont été établies par l'Institut de recherche sur les cultures oléagineuses de l'Académie chinoise des sciences agricoles et le Bureau National des Ressources Phyto-Génétiques (NBPGR) de l'Inde, en collaboration avec l'Institut International des Ressources Génétiques des Plantes (IPGRI). Ainsi, le NBPGR maintient 6658 accessions de sésame dont 4136 sont indigènes et 2522 proviennent de sources exotiques (Bisht et al., 1998). Les grandes collections de sésame sont disponibles à la Banque Nationale de Gènes au NBPGR, New Delhi avec 9630 entrées stockées pour la conservation à

long terme à -20 °C dans les modules froides et 255 espèces de sésame maintenus à cryobank (NBPGR, 2013). Bisht et al., (1998) ont développé une base de sésame indigène comprenant 343 accessions. Récemment, la caractérisation de la collection du sésame mondiale a conduit au développement d'une nouvelle base de sésame comprenant 172 accessions (Mahajan et al., 2007).

La banque de gènes de l'administration du développement rural (RDA) situé à Suwon, Corée du sud, rassemble 7698 accessions de sésame qui se composent de 3538 collections exotiques, 2660 collections autochtones, 1072 stocks génétiques améliorés et 428 autres collections (Kang et al., 2006). En outre, les efforts de conservation du sésame ont été faits par d'autres organisations et banques de gènes dans le monde. Par exemple, le Département d'Agriculture des Etats Unies (USDA), en l'occurrence le Service de la Recherche Agricole (ARS), et l'Unité de Conservation des Ressources Phyto-Génétiques (PGRCU) ont conservé 1226 accessions de sésame originaires d'Europe, d'Afrique, d'Asie, d'Amérique du Nord et d'Amérique du Sud (Morris, 2009).

V. Objectifs de la sélection

Dans l'agriculture, l'objectif principal des sélectionneurs des plantes est de sélectionner des variétés performantes sur le plan agronomique (rendement en graine), ayant une bonne qualité et une bonne adaptation aux conditions de culture. Les sélectionneurs œuvrent également pour l'amélioration des cultivars existants, qui sont déficients en un ou plusieurs traits en croisant ces cultivars avec des lignées qui possèdent les caractères désirables. En général, les critères de sélection du sésame sont similaires à ceux recherchés chez d'autres cultures et comprennent les rendements élevés, l'amélioration de l'architecture de la plante, la longueur de la saison de croissance et la résistance aux maladies et aux ravageurs (Ashri, 1998). Les objectifs spécifiques de la sélection de la plante du sésame varient selon le niveau de technologie et ont été résumées par Pathak et al., (2014) comme suit :

- Croissance déterminée avec une période de floraison uniforme et courte, maturation synchrone des capsules,
- Capsules non déhiscentes avec des graines bien remplies,
- Graines de forme uniforme, bien remplies, de couleur et de taille convenable au besoin du marché, saveur souhaitable et haute teneur en huile, en lignanes, en tocophérols, en acides gras polyinsaturés et en phytostérols,

- Rendements élevés en graines de bonne qualité adaptable à diverses conditions environnementales,
- Résistance aux stress biotiques et abiotiques : résistance à la phyllodie (la maladie la plus destructrice du sésame) et à la fusariose et développement de cultivars résistants à la sécheresse et à la chaleur.

VI. Variétés et méthodes de sélection du sésame

Il y a une grande diversité au sein de plusieurs centaines de variétés de sésame. Toutefois, les variétés de sésame sont généralement divisées en deux types : déhiscentes et indéhiscentes. La sélection des plantes est une combinaison des techniques pour une gestion efficace de la variabilité génétique disponible pour le développement de nouveaux génotypes qui répondent aux objectifs souhaités. C'est un processus qui vise à identifier et sélectionner les plantes possédant des traits désirables et à développer une variété de type idéal en combinant les caractères souhaités dans une seule plante.

Selon Demol et al., 2002, les méthodes d'amélioration du sésame devront tenir compte d'un certain nombre de facteurs attachés à l'espèce :

- Le sésame présente une variabilité génétique relativement large, pour une plante autogame,
- La plante produit un grand nombre de graines,
- Il faut peu de place pour cultiver de larges populations,
- Les hybridations interspécifiques sont possibles,
- La culture possède une valeur économique importante.

Les méthodes de sélection utilisées pour l'amélioration génétique du sésame sont simples variant de la sélection végétale au développement d'hybrides et la sélection moléculaire (Gupta, 2012).

L'application de la biotechnologie et des méthodes de sélection moléculaire peut renforcer et rendre plus efficient le processus de sélection pour le développement de variétés de sésame plus performantes (Gupta, 2012).

Partie II : Démarche expérimentale

Chapitre I : Etude de la conduite technique du sésame et collecte de ressources génétiques dans la zone Tadla

I. Introduction

La culture du sésame est perçue de nos jours, comme une filière porteuse comme en attestent quelques études de cas dans différent pays. Au Maroc, la conduite de la culture de sésame pour la production des graines est connue depuis fort longtemps. C'est une des cultures spécifiques de la zone du Tadla. Ayant un cycle court, elle est pratiquée en dérobé pour constituer une source additionnelle et importante dans le revenu des agriculteurs. Cependant, le matériel végétal (semences) utilisé par les producteurs est méconnu et aucune étude scientifique n'a été réalisée pour sa caractérisation.

L'objectif de cette première partie est double :

- Faire un diagnostic et une étude sur la conduite technique de la culture du sésame au Maroc en se basant sur une enquête auprès des producteurs de cette filière dans la zone Tadla.
- Réaliser une collecte d'accessions de sésame dans les exploitations enquêtées en vue de leur caractérisation.

II. Présentation de la zone d'étude

Cette étude a visé la zone Tadla du fait qu'elle représente la zone productrice du sésame au Maroc. La zone du Tadla est située au centre du Maroc (32° 20' nord 6° 21' Ouest), entre le Haut Atlas, le Moyen Atlas et les plateaux du phosphate, avec une altitude moyenne de 400-700 m. La position géographique de la région lui confère un climat de type aride à semi aride, avec une pluviométrie annuelle de l'ordre de 350 mm en moyenne. Les sols, généralement de type vertisol (sols riches en argile), sont globalement favorables à la mise en valeur agricole sous irrigation en raison de leur profondeur et de leur texture équilibrée, mais ils sont pauvres en matière organique, dont la teneur est de l'ordre de 1,7 % en moyenne.

L'irrigation se fait par les eaux provenant essentiellement des barrages Bin El Ouidane et El hansali, avec des capacités de 1243 et 740 millions m³ respectivement, et les eaux souterraines de la nappe phréatique et turonienne.

La superficie totale est de 1712 500 ha et la superficie agricole utile (SAU) est de 531 164 ha dont 185 000 ha irriguées.

L'occupation des sols dans la région est dominée par la céréaliculture, la betterave à sucre, les agrumes, l'olivier et les cultures fourragères qui se caractérisent par des performances relativement hautes.

La zone Tadla se caractérise par des filières très spécifiques telles que le grenadier, la niora, le caroubier et le sésame.

Les superficies occupées par cette dernière culture connaissent une fluctuation d'une année à l'autre selon la disponibilité de l'eau d'irrigation, alors que les rendements ont connu une nette augmentation durant ces six dernières années en passant de 0,53 T/ha à 0,9 T/ha.

En 2014, la superficie occupée par la culture du sésame a été de 1110 ha, avec une moyenne de 1726 ha durant les 10 dernières années, selon les statistiques de la FAO. La production a été de 977 T en 2014, dont plus de 90 % se fait dans la zone du Tadla.

III. Méthodologie

Afin de mettre en relief la situation de conduite de la culture du sésame dans la zone Tadla, une enquête est réalisée en 2011/2012 afin de déceler les différentes pratiques culturales utilisées par les agriculteurs du périmètre.

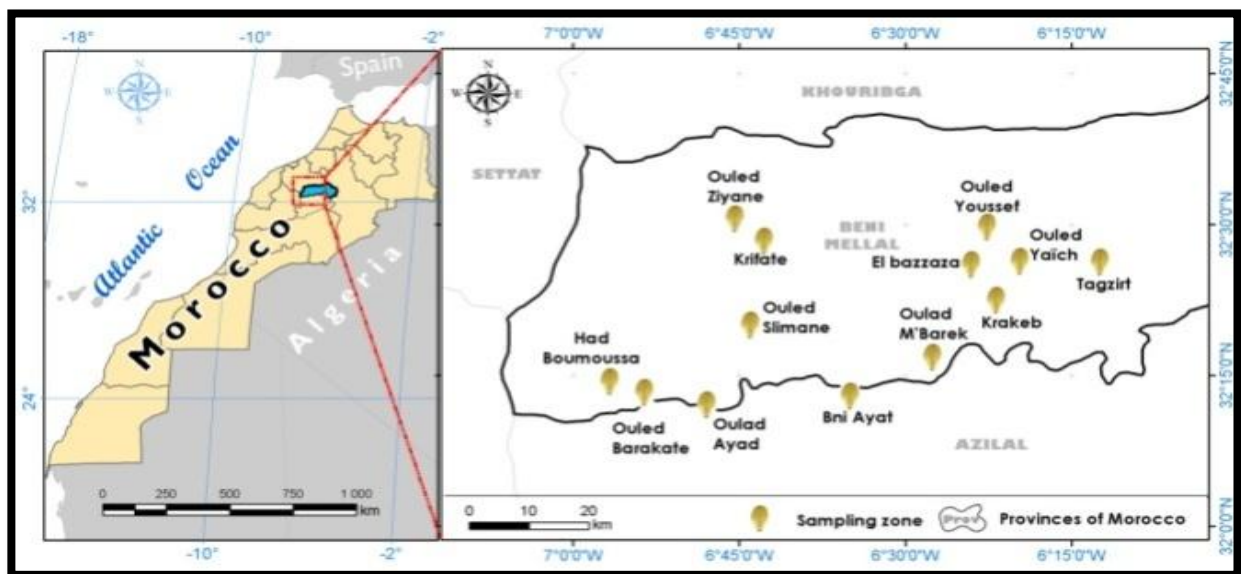


Figure 18 : Carte montrant les lieux d'enquête et de collecte des accessions de sésame dans la zone de Tadla au Maroc.

Ainsi, dans le but de désigner les communes rurales qui ont été prospectées, une rencontre préliminaire avec les services de la production végétale de l'ORMVAT avait été réalisée. Le choix des agriculteurs a porté sur ceux qui produisent le sésame dans la zone, et il a été fait

d'une façon aléatoire. Le questionnaire élaboré traitait des questions relatives à l'importance du point de vue superficie, train technique et rendement du sésame (Annexe 1). De même il y avait des points relatifs à l'origine des semences utilisées, la méthode de désherbage, la période et le coût de la récolte et le mode de séchage. Ainsi, les variables étudiées ont été la superficie récoltée (superf), la date de semi (datsem), la dose de semis (dossem), les semences utilisées (semence), le mode de désherbage (modesherb), le nombre d'irrigation (nombirrig), la période de la récolte (perrecol), le séchage (séchage), le rendement en graine (rendement), teneur en huile (tenhuile), l'acidité, l'indice de peroxyde, l'indice de saponification et la composition en acides gras (acide palmitique, acide stéarique, acide oléique acide linoléique et acide arachidique).

Une étude descriptive, à travers les moyennes et les fréquences des agriculteurs pour les caractères étudiés est conduite. De même, une autre analyse des données en composante principales (ACP) et celle des corrélations entre les caractères quantitatifs étudiés ont été réalisées et ce pour valoriser les résultats du diagnostic. Le programme statistique utilisé était le SAS.

L'enquête a été réalisée pendant l'année 2011/2012 et elle a concerné trente trois agriculteurs, tous producteurs du sésame. La collecte des semences de sésame a été effectuée tout au long de cette enquête.

Chapitre II : Caractérisation agromorphologique de 33 accessions de sésame marocain

I. Matériel végétal

45 accessions ont fait l'objet de cette étude :

- 12 matériels génétiques étrangers, dont un égyptien et 11 fournis par l'ARS-USDA (Griffin, GA, Etats Unis d'Amérique) (Tableau 6).
- 33 accessions collectées dans la cadre de l'enquête effectuée dans la zone du Tadla en 2011/2012 et dont les appellations ont été donné arbitrairement. Le tableau 7 décrit les caractéristiques de ces accessions et les lieux de leur collecte.

Tableau 6 : Matériels génétiques étrangers

Numéro attribué	Code	Accession	Nom	Couleur	Source
40	US 02	NSSL 44684 01 SD	-	Jaune	-
41	US 03	PI 593656 01 SD	Rio Yaqui 93	Blanche	Mexico, sonora
42	US 04	PI 634541 01 SD	Black Sesame	Noir	China, Henan
43	US 05	PI 594909 01 SD	Rio Mayo 93	Blanche	Mexico
44	US 06	PI 561704 01 SD	Ostimuri 89	Blanche	Mexico, sonora
45	US 07	PI 655961 01 SD	-	Blanche	-
46	US 08	PI 561706 01 SD	Ontagota 89	Blanche	Mexico, sonora
47	US 09	PI 561705 01 SD	Turinoca 89	Blanche	Mexico
48	US 10	PI 655062 01 SD	-	Noir	-
49	US 11	PI 655063 01 SD	-	Blanche	-
50	US 12	PI 643459 01 SD	-	Marron	-
38	-	-	-	Blanc crème	Égypte

Tableau 7 : Description morphologique, lieu de collecte et année de production des 33 accessions de sésame de la zone Tadla

Accessions	Lieu de collecte	Année de production	Forme de la graine	Couleur	Longueur des graines (mm)	Largeur des graines (mm)	Epaisseur des graines (mm)
A	bni ayat	2011	large ovale	crème-jaune brun	2,5	1,5	0,8
B	taghzirt2	2011	large ovale	blanc crème-jaune	2,3	1,3	0,71
C	krakeb1	2011	large ovale	jaune-crème	3	2	0,71
D	krakeb2	2011	Ovale étroite	jaune-blanc	3	1,5	0,71
E	ouled zian 2	2011	ovale-ovale étroite	jaune-brun	3	1,4	0,71
F	ouled yaichl	2011	Ovale	brun-jaune	3	1,5	0,76
H	Taghzirt1	2011	Ovale	jaune	2,5	1,2	0,8
I	ouled yaieh2	2011	ovale-ovale étroite	crème	2,8	1,4	0,76
J	had boumoussal	2011	ovale-ovale étroite	crème	3	1,5	0,71
K	had boumoussa2	2011	ovale-ovale étroite	jaune	3	1,5	0,84
L	ouled barkatl	2011	Ovale	brun	2,5	1,5	0,75
M	taghzirt3	2011	ovale large	blanc crème	2,5	1,5	0,71
N	taghzirt4	2011	ovale large	Crème	3	1,5	0,84
O	souk el had	2011	ovale large	blanc-crème	2,5	1,5	0,85
P	taghzirt8	2011	Ovale	jaune-blanc	3,2	1,5	0,71
Q	Ibazazal	2011	Ovale	blanc-crème	3	1,5	0,76
R	ouled barkat2	2011	Ovale	blanc-crème	3	1,5	0,75
S	Krifat	2011	Ovale	crème	2,8	1,4	0,76
T	lbazaza2	2011	ovale-ovale étroite	crème	2,5	1,4	0,71
U	ouled zianl	2011	Ovale	crème	3	1,5	0,71
V	taghzirt6	2011	Ovale	blanc-crème	2,4	1,4	0,71
A'	sidjaber	2011	ovale-ovale étroite	balnc-crème	3	1,5	0,8
B'	ouled ayad	2011	ovale-ovale étroite	crème	3	1,3	0,86
C'	taghzirt7	2011	ovale-ovale étroite	crème	3	1,7	0,71
E'	souk sebt	2011	ovale-ovale étroite	crème	2,5	1,5	0,71
F'	Ibazaza3	2011	Ovale	crème	2,5	1,5	0,77
G'	had boumoussa	2011	Ovale	jaune	2,5	1,5	0,89
H'	ouled mbark	2011	Ovale	blanc crème	2,8	1,5	0,87
I'	Ibazaza	2011	Ovale	crème	3	1,5	0,74
J'	had boumoussa	2011	Ovale	brun-jaune	3	1,5	0,74
K'	krakeb	2011	Ovale	brun-jaune	3,2	1,3	0,71
L'	krakeb	2011	Ovale	brun-jaune	3	1,5	0,71
M'	souk sebt	2011	Ovale	brun-jaune	3	1,5	0,8

(Rizki et al., 2015)

II. Méthodologie

II.1. Environnements de l'étude

Les accessions collectées au niveau de la zone Tadla ont été évaluées dans trois environnements :

Environnement 1 : station expérimentale Afourar de l'INRA de Béni Mellal en 2013 ;

Environnement 2 : station expérimentale Afourar de l'INRA de Béni Mellal en 2014 ;

Environnement 3 : station expérimentale Ain Taoujdate de l'INRA de Meknès en 2014.

Environnements 1 et 2 : station expérimentale d'Afourar

La zone d'étude se trouve à 19 km au sud-ouest de Béni Mellal dans la station de l'INRA à Afourar, située dans la plaine du Tadla avec une altitude d'environ 446 m (2° 13' 00" Nord 6° 30' 00" Ouest). Le sol de la zone d'étude appartient à la classe luvisol chromique (Badraoui et al., 2001). Cette zone est caractérisée par un climat de type aride à semi aride avec une saison humide de novembre à mars et une saison sèche d'avril à octobre. La température moyenne annuelle est de 18 °C avec un maximum de 45 °C en août et un minimum de 0 °C en janvier. L'été connaît également l'arrivée de vents chauds appelés localement 'Chergui'. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 400 mm.

Environnement 3 : station expérimentale d'Ain Taoujdate

La station est située à 30 km de Meknès dans le territoire de la Province d'El Hajeb, à une altitude de 550 m.

Les conditions pédoclimatiques caractérisant la station sont les suivantes (http://inrameknes.info/?page_id=129) :

- Pluviométrie moyenne : 470 mm.
- Sol de type argileux, brun calcaire et alluvial
- Températures moyennes : max. en Juillet (37 °C) et min. en Janvier (2,8 °C).
- Quantités moyennes de froid disponibles : 540 heures de température inférieure à 7 °C.

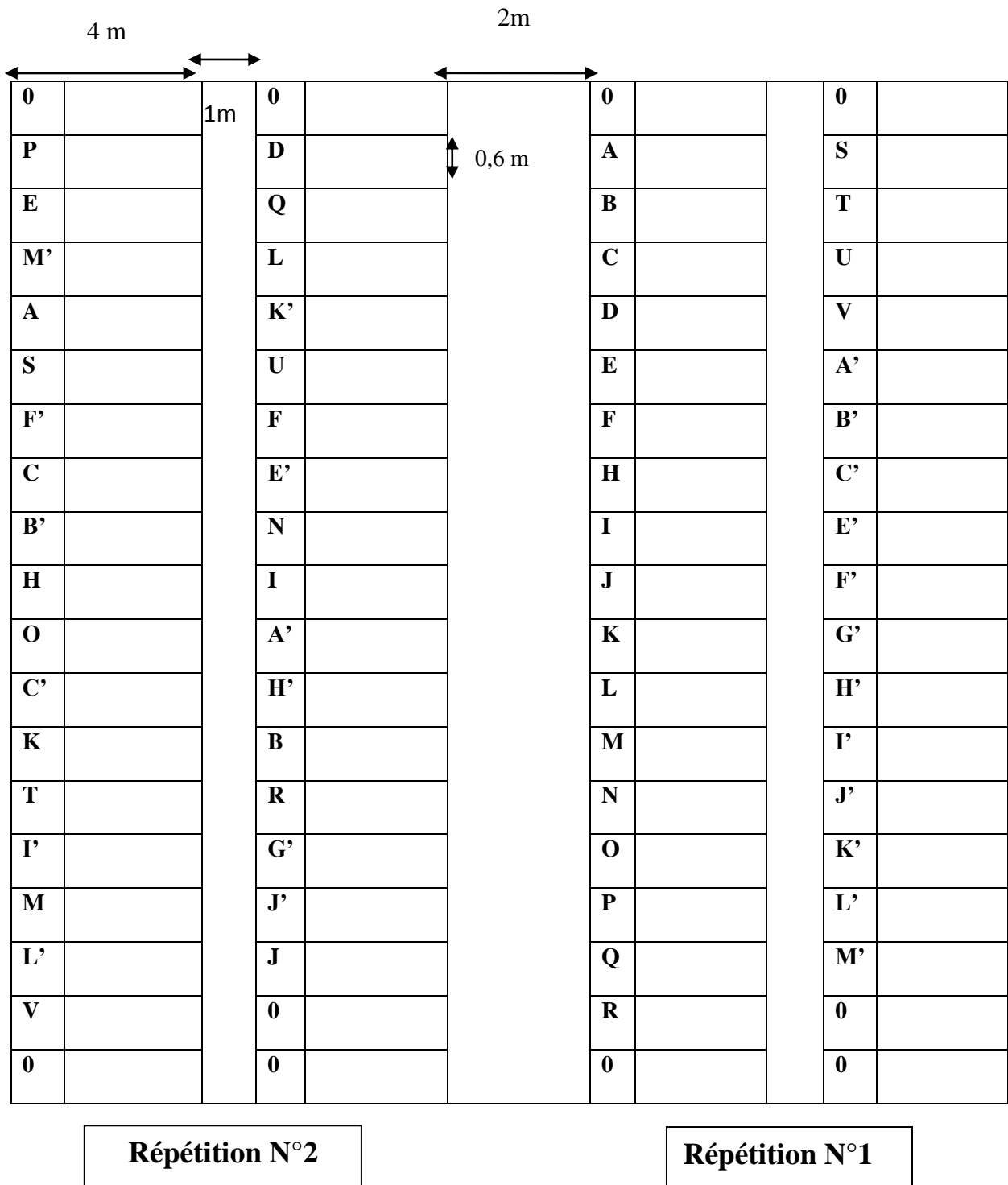


Figure 19 : Plan de l'essai d'évaluation de 33 accessions de sésame marocain évaluées dans l'environnement Afourar en 2013 et l'environnement Ain Taoujdate en 2014.

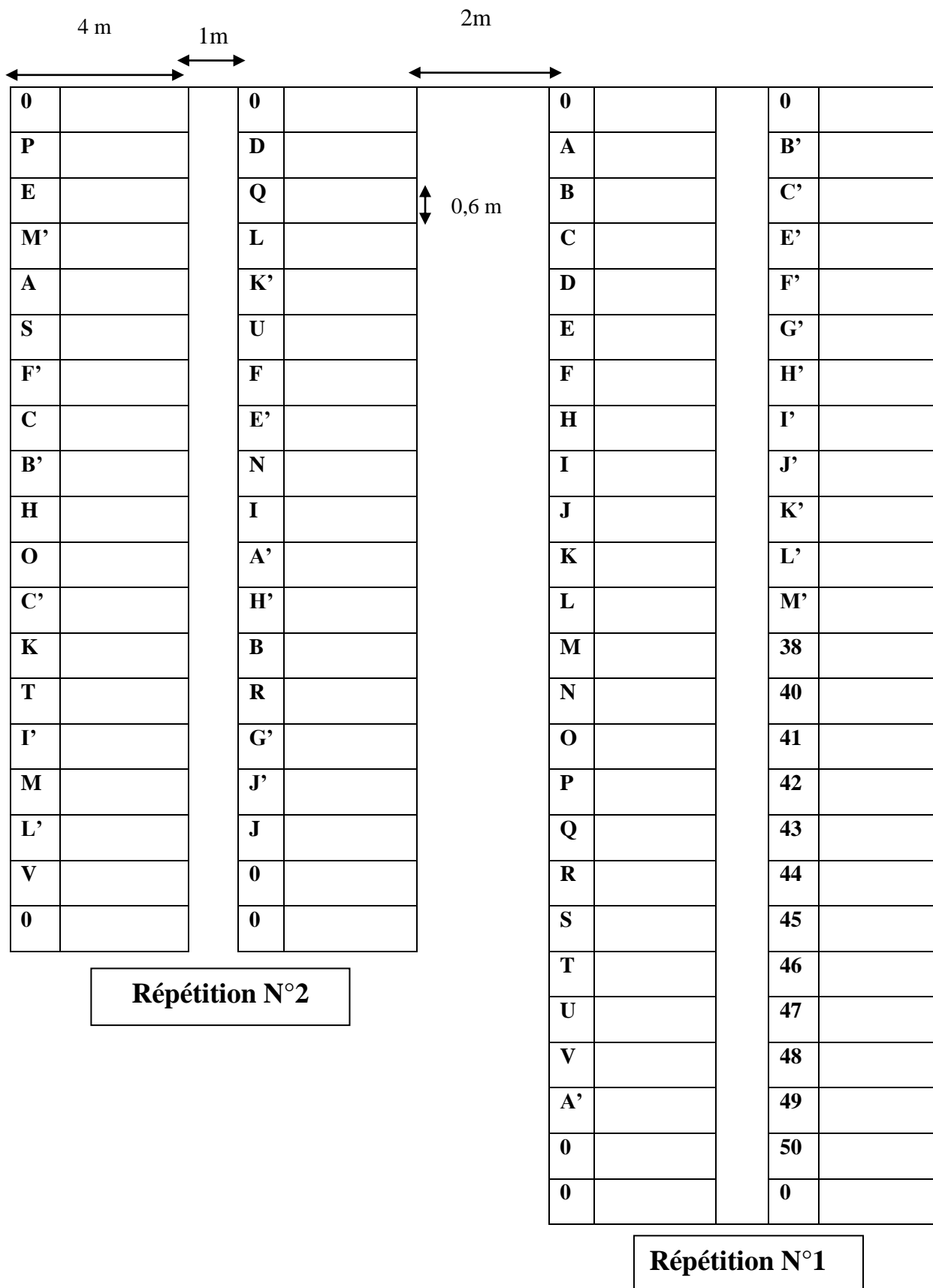


Figure 20 : Plan de l'essai d'évaluation de 33 accessions de sésame marocain et 12 matériels génétiques étrangers évalués dans l'environnement Afourar en 2014.

II.2. Expérimentation

L'essai a été réalisé sur une parcelle de 600 m² (20 m * 30 m) selon un dispositif expérimental en blocs aléatoires complet (BAC) avec deux répétitions. Chaque accession est plantée en deux lignes continues de 4 m de longueur, espacées de 60 cm.

Les accessions du sésame collectées dans la zone Tadla (Tableau 7) sont caractérisées et évaluées dans trois environnements différents. Le premier essai a été conduit, durant l'année 2013, dans la station expérimentale de l'INRA à Afourar, avec un semis très tardif (17 juin 2013). Le deuxième essai a été conduit, durant l'année 2014, aux stations expérimentales de l'INRA à Ain Taoujdate et à Afourar. Les accessions ont été semées en fin d'avril et en fin de mai 2014 dans les deux stations expérimentales, respectivement. En plus des accessions marocaines de sésame (Tableau 7), 12 matériels génétiques étrangers (Tableau 6) ont été aussi semés dans l'environnement 2.

II.3. Suivi de l'essai expérimental

L'installation, l'entretien et la récolte des essais ont été effectués par le personnel et les ouvriers des deux stations expérimentales. Les tâches de labour du sol et de préparation du lit de semences ont été réalisées mécaniquement, alors que les autres tâches d'entretien et de récolte ont été faites manuellement. L'irrigation utilisée est de type gravitaire. La première a été appliquée au semis. La deuxième irrigation a été apportée 15 à 30 jours après semis selon les conditions climatiques (température). De même, les autres irrigations ont été appliquées à des intervalles de 10 à 15 jours.

II.4. Les paramètres étudiés

L'évaluation des accessions de sésame a été faite sur des plantes préalablement marquées. Cinq plantes par accession ont été prises au hasard au niveau de chaque bloc, et donc 10 plantes au total par accession et par environnement ont été considérées. Les 5 plantes du bloc 1 de l'environnement 1 ont servi également au prélèvement des feuilles utilisées dans la caractérisation moléculaire. Les caractères évalués sont le taux de croissance (= (Taille à T2 - Taille à T1) / (T2 - T1)), la hauteur finale de la plante, le nombre de ramification, le nombre de gousses par plante, la taille des gousses, le nombre de graines par gousse, le poids de milles graine, le rendement en graines par plante, le rendement par hectare (le poids des graines récoltées de 1 m² (kg/m²) puis converti en T/ha) et la teneur en huile (% MS). Les analyses statistiques (ANOVA) ont été réalisées à l'aide de la procédure glm du programme SAS.

Chapitre III : Caractérisation biochimiques de 33 accessions de sésame au Maroc

I. Matériels et méthodes

I.1. Matériel végétal

Trente trois accessions de sésames marocain issues de la prospection, ayant des graines jaunes et marron, sont utilisées dans cette étude. Les accessions sont collectées à partir de différents endroits dans la zone de Tadla (Figure 18), cultivées pendant l'année 2011. Les endroits où l'échantillonnage a eu lieu sont Bni Ayat, Tagzirt, Krakeb, Ouled Ziyane, Ouled Yaïch, Had Boumoussa, Ouled Barakate, Krifate, El Bazaza, Ouled Ayad, Ouled M'bark et Ouled Slimane. Après avoir collecté les graines de sésame, elles ont été immédiatement séchées et stockées à 4 °C jusqu'à l'analyse.

I.2. Détermination de la teneur en huile

Deux méthodes ont été utilisées pour la détermination du contenu lipidique,

I.2.1. Définition

On entend par teneur en matière grasse totale, le pourcentage en masse de substance déterminée par pesée après une extraction à l'hexane ou à l'éther de pétrole comme solvant, par le Soxhlet.

I.2.2. Méthode de référence (Soxhlet)

La méthode normée du Soxhlet (NF EN ISO 659) a servi de référence pour la détermination de la teneur en huile. Cette méthode consiste en une extraction de l'huile par un solvant organique (hexane) sur une matrice solide (broyat de graines). L'extraction est réalisée en enceinte fermée selon un processus semi continu. L'extraction de l'huile a été réalisée en utilisant 5 g de l'échantillon broyé pour un volume de 50 ml de solvant, pendant 8 heures selon la procédure décrite par Visavadiya et al., (2009) en prenant la matière première à l'épuisement complet. Le n-hexane a été utilisé comme solvant dans l'extraction, car il a un meilleur effet par rapport à d'autres solvants polaires tels que l'alcool, l'acétone, l'éther, etc. Après l'extraction, le solvant a été évaporé sous pression réduite en utilisant un évaporateur rotatif (Heidolph VV 2000) à 40 °C. Le résultat est exprimé comme le pourcentage de lipides dans la matière sèche.

I.2.3. Estimation de la teneur en huile par Résonance Magnétique Nucléaire (RMN)

La méthode RMN (Oxford-4000), utilisée pour l'analyse structurale des molécules, permet de déterminer la composition des mélanges (norme NF EN ISO 10565). Cette application nécessite de mesurer séparément les aires des signaux provenant des constituants qui doivent être distincts. La RMN du proton est largement utilisée dans l'industrie pour de nombreux dosages de l'eau, de l'huile et d'autres composés comportant des hydrogènes.

Cette méthode de détermination quantitative permet l'analyse sans préparation ni destruction du matériel biologique (directement sur graine entière). Pratiquement, l'appareil est étalonné par des standards, dont l'aire correspond à 100 % et à 0 % d'huile.

Les teneurs en huile sont mesurées sur des graines intactes, préalablement séchées, en utilisant une résonance magnétique (RMN) analyseur nucléaire Oxford 4000 (Oxford Analytical Instruments Ltd, Abingdon, OX, Royaume-Uni).

I.3. Détermination des indices de qualité des huiles extraite (Caractéristiques physico-chimiques)

Nous avons déterminé quelques indices chimiques qui caractérisent les matières grasses. Nous avons utilisé les normes AFNOR (Association Française de Normalisation) ainsi que le Règlement (EEC) N° 2568/91. Ces indices permettent de faire quelques estimations sur les masses moléculaires moyennes des acides gras et des triglycérides déterminés par l'indice de saponification (indice de saponification), sur le nombre des insaturations par la mesure de l'indice d'iode (indice d'iode), sur l'état d'oxydation des huiles (indice de peroxyde et coefficient d'extinction) et sur l'acidité.

I.3.1. Détermination de l'acidité

I.3.1.1. Définition

La détermination de l'acidité des corps gras renseigne sur leur degré d'hydrolyse et représente un facteur important pour évaluer la qualité d'une huile. Elle est largement utilisée comme un critère classique de classification des huiles. Les matières grasses fraîches ne contiennent que très peu d'acides gras libres. L'acidité est une variable qui dépend essentiellement des conditions de conservation et d'extraction. Il y a deux manières d'exprimer la teneur d'une matière grasse en acides gras libres : l'indice d'acidité ou l'acidité. Ces deux caractéristiques d'une même propriété sont mesurées de la même façon. L'acidité est le pourcentage d'acides gras libres exprimé conventionnellement, selon la nature des corps gras, en acide oléique,

palmitique ou laurique, alors que l'indice d'acidité est le nombre de milligrammes de potasse caustique KOH nécessaire pour neutraliser l'acidité libre de un gramme de matière grasse.

I.3.1.2. Principe

Le principe repose sur une mise en solution d'une prise d'essai dans un mélange de solvants, puis titrage avec une solution éthanolique d'hydroxyde de sodium.

I.3.1.3. Expression de résultats

L'indice d'acide est calculé par la relation suivante :

$$\text{Acidité (\% d'acide oléique)} = (V \times c \times M) / 10 \times m$$

où :

V : volume, en millilitres, de la solution titrée d'hydroxyde de potassium utilisée ;

c : concentration exacte, en moles par litre, de la solution titrée d'hydroxyde de potassium utilisée ;

M : poids molaire, en grammes par mole, de l'acide adopté pour l'expression du résultat (= 282) ;

m : poids en grammes, de la prise d'essai.

I.3.2. Détermination de l'indice de peroxydes

I.3.2.1. Définition

Les corps gras peuvent s'oxyder en présence d'oxygène et de certains facteurs (UV, eau, chaleur, trace de métaux...). Cette oxydation appelée auto oxydation ou rancissement aldéhydique conduit dans un premier temps à la formation de peroxydes (ou hydroperoxydes) par fixation d'une molécule d'oxygène sur le carbone situé en position α par rapport à une liaison éthylénique des acides gras insaturés constitutifs des glycérides. Pour évaluer les premières étapes de cette oxydation, on mesure l'indice de peroxyde.

C'est la quantité de peroxyde présent dans l'échantillon, exprimée en milliéquivalents d'oxygène actif contenu dans un kilogramme de produit, oxydant l'iodure de potassium avec libération d'iode. L'indice de peroxyde nous permet d'évaluer l'état de fraîcheur de l'huile.

I.3.2.2. Principe

La prise d'essai en solution dans un mélange acide acétique et chloroforme est traitée par une solution d'iodure de potassium. L'iode libéré est titré avec une solution de thiosulfate de sodium.

I.3.2.3. Expression de résultats

L'indice de peroxyde (**IP**) est exprimé en milliéquivalent d'oxygène par Kg d'huile selon la relation :

$$\text{IP (Még O}_2\text{ / Kg)} = ((V-V_0) \times 1000 \times T) / m$$

V : est le volume de thiosulfate de Na de l'échantillon

V₀ : est le volume requis pour titrer le blanc

T : est le titre exact de thiosulfate de sodium utilisé

m : est la prise d'essai en grammes

I.3.3. Détermination de l'indice d'iode

I.3.3.1. Définition

L'hydrogénation concerne les acides gras insaturés qui peuvent fixer l'hydrogène en donnant des acides gras saturés. Cette réaction est utilisée dans la technologie des corps gras pour relever le point de fusion des produits. Les acides gras insaturés peuvent fixer aussi des halogènes comme le brome et l'iode. Ainsi, pour apprécier le degré d'insaturation des acides gras d'un lipide, on détermine son indice d'iode.

L'indice d'iode d'une matière grasse est le nombre de grammes d'halogène exprimé en iode fixé par 100 grammes de corps gras. Sa détermination est basée sur la fixation d'halogènes par les doubles liaisons des acides gras insaturés, il permet donc d'évaluer le taux des insaturations moyennes de l'huile.

I.3.3.2. Principe

Le principe repose sur une mise en solution d'une prise d'essai dans un solvant et addition du réactif de Wijs. Au terme d'un laps de temps déterminé, l'addition d'une solution d'iodure de potassium et d'eau puis titrage de l'iode libéré par une solution de thiosulfate de sodium.

I.3.3.3. Expression de résultats

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

$$\text{Indice d'iode} = (12,69 \text{ c (V1 - V2)})/m$$

où :

c: valeur numérique de la concentration exacte, en moles par litre, de la solution de thiosulfate de sodium volumétrique standard utilisée ;

V1: valeur numérique du volume, en millilitres, de la solution de thiosulfate de sodium volumétrique standard utilisée pour l'essai à blanc ;

V2: valeur numérique du volume, en millilitres, de la solution de thiosulfate de sodium volumétrique standard utilisée pour la détermination ;

m: valeur numérique de la masse, en grammes, de la prise d'essai.

I.3.4. Détermination de l'indice de saponification

I.3.4.1. Définition

La valeur de l'indice de saponification nous permet d'estimer les longueurs des chaînes de carbone des acides gras constituant l'huile d'une part, et de calculer les masses moléculaires moyennes des acides gras et des triglycérides de l'huile.

C'est le nombre de milligrammes de KOH nécessaires pour transformer en savon les acides gras libres et les glycérides contenues dans 1 gramme de corps gras.

I.3.4.2. Principe

Le principe repose sur une réaction à chaud d'une quantité connue de corps gras avec un excès connu de potasse alcoolique. Les acides libres sont neutralisés, les esters sont saponifiés : Lorsque la saponification est terminée, on dose la potasse restante par un acide de concentration molaire connue, en présence de phénolphtaléine.

I.3.4.3. Expression de résultats

L'indice de saponification est calculé par la relation suivante :

$$\text{Indice de saponification} = (N (V0 - V1) 56,1)/m$$

où :

V0 : volume de HCl en ml dans le test à blanc en ml

V : volume de HCl en ml nécessaire pour neutraliser l'excès de la potasse

m : masse d'huile prise en gramme

N : la normalité de la solution potassique,

56,1 : masse molaire de KOH,

I.3.5. Détermination des coefficients d'extinction K232 et K270

I.3.5.1. Définition

Tous les corps gras naturels contiennent de l'acide linoléique en quantité plus ou moins importante. L'oxydation d'un corps gras conduit à la formation d'hydroperoxyde linoléique qui absorbe la lumière au voisinage de 232 nm.

Si l'oxydation se poursuit, il se forme des produits secondaires d'oxydation, en particulier des dicétones et des cétones insaturées qui absorbent la lumière vers 270 nm, L'examen spectrophotométrique dans l'ultraviolet peut fournir des indications sur la qualité d'une matière grasse, sur son état de conservation et sur les modifications dues aux processus technologiques.

L'extinction spécifique à 232 nm et à 270 nm d'un corps gras peut donc être considérée comme une image de son état d'oxydation en permettant la détection et l'évaluation des produits d'oxydation primaire et secondaire. Plus son extinction à 232 nm est forte, plus il est peroxydé ; plus celle à 270 nm est forte, plus il est riche en produits secondaires d'oxydation.

I.3.5.2. Principe

La matière grasse étudiée est dissoute dans le solvant requis, puis on détermine l'extinction de la solution à la longueur d'onde prescrite, par rapport au solvant pur. On calcule les extinctions spécifiques à partir des lectures spectrophotométriques.

I.3.5.3. Expression de résultats

Les valeurs de ces absorptions sont exprimées comme extinction spécifique $E_1 \text{ cm } 1 \%$ (extinction d'une solution de matière grasse à 1 % dans le solvant prescrit, pour une épaisseur de 1 cm) noté de façon conditionnelle par K (dit également coefficient d'extinction). Elles sont calculées comme suit :

$$K_{\lambda} = E_{\lambda} / c.s$$

où :

$K\lambda$: extinction spécifique à la longueur d'onde λ ;

$E\lambda$: extinction mesurée à la longueur d'onde λ ;

c : concentration de la solution en grammes par 100 millilitres ;

s : épaisseur de la cuvette en centimètres

Les résultats sont exprimés avec deux décimales.

I.4. Détermination de la chlorophylle et des caroténoïdes des huiles

Les huiles végétales contiennent des composés mineurs qui lui confèrent des qualités organoleptiques et nutritionnelles. Parmi ces composés mineurs les pigments tels que les chlorophylles et les caroténoïdes.

La variation de la teneur des huiles en chlorophylles doit être contrôlée attentivement. En effet la photo-oxydation des pigments chromophores en particulier les pigments chlorophylliens entraîne une altération des huiles. Ces pigments excités, par des réactions lumineuses, conduisent à la formation de radicaux libres à partir des chaînes d'acides gras insaturées. La chlorophylle se trouve ainsi directement impliquée dans les phénomènes d'oxydation (Rawls et Vansanten, 1968).

Le β -carotène, est généralement le composé le plus abondant et le plus commun dans les corps gras d'origine végétale. On se base sur le fait que les pigments caroténoïdes présentent des structures voisines et donc qu'ils ont tous la propriété d'absorber la lumière entre 400 et 500 nm et ceci de façon assez semblable.

Les analyses des teneurs en chlorophylle et en caroténoïdes ont été effectuées en utilisant un spectrophotomètre (Jasco Spectraphysic chroma_lab V630, Japon), selon la méthode décrite par Minguez-Mosquera et al., (1991). Une quantité de 7,5 g d'huile a été dissoute dans 25 ml de cyclohexane. L'absorption à 470 nm et à 670 nm a été mesurée. Les longueurs d'onde d'extinction spécifiques appliquées étaient $E0 = 2000$ pour la lutéine (un composant caroténoïde), et $E0 = 613$ pour la phéophytine (un composant de la chlorophylle). Les équations utilisées pour le calcul de la teneur en pigment étaient les suivants :

$$\text{Teneur en caroténoïdes (mg / kg)} = (A_{470} \times 106) / (2000 \times 100 \times d)$$

$$\text{Teneur en chlorophylle (mg / kg)} = (A_{670} \times 106) / (613 \times 100 \times d)$$

Où : A représente l'absorbance et d l'épaisseur de la cellule du spectrophotomètre (1 cm). Les données rapportées ont été basés sur le poids de l'huile échantillon.

I.5. Détermination de la teneur en polyphénols totaux des huiles extraites

Les teneurs en polyphénols totaux ont été déterminées en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu selon la méthode décrite par Scalbert et al., (1989). Les polyphénols totaux sont dosés par le suivi de leur capacité à réduire les acides phosphotungstique et phosphomolybdique, contenus dans le réactif de Folin, en oxydes de tungstène et molybdène. Ces derniers présentent une coloration bleutée mesurée à 760 nm. Après solubilisation de 1 g d'huile dans 2 mL du méthanol-eau à 70 % (70,30), les phénols sont extraits trois fois par 5 mL d'un mélange méthanol-eau (30/40). Ainsi, 2,5 ml du réactif Folin Ciocalteu (dilué 10 fois par l'eau) et 2 ml de la solution de bicarbonate de sodium (75 g / l) sont ajoutés à 0,5 ml de l'extrait dilué. Les tubes à essai sont maintenus 5 minutes dans un bain d'eau à 50 °C et ensuite transférés dans de l'eau froide. Après refroidissement, l'absorbance est mesurée à 760 nm en utilisant un spectrophotomètre UV visible (Spectraphysic Jasco 430, Japon). La concentration a été calculée en utilisant l'acide gallique comme standard, et les résultats sont exprimés en mg d'équivalents d'acide gallique par kg d'huile.

I.6. Détermination de l'activité antioxydante des huiles extraites des accessions de sésame

Le DPPH (2,2 diphényl-1-picrylhydrazyl) est généralement le substrat le plus utilisé pour l'évaluation rapide et directe de l'activité antioxydante en raison de sa stabilité en forme de radicaux libres et la simplicité de l'analyse. Il absorbe dans le visible à la longueur d'onde de 515 à 520 nm (Bozin et al., 2008). La méthode de DPPH présente plusieurs avantages du fait qu'elle est indépendante, simple et rapide. Le test consiste à mettre le radical DPPH (de couleur violette) en présence des molécules dites « antioxydantes » afin de mesurer leur capacité à réduire le radical DPPH. La forme réduite (de couleur jaune) n'absorbe plus, ce qui se traduit par une diminution de l'absorbance à cette longueur d'onde.

Le potentiel antioxydant des extraits d'huile de différents accessions de sésame est mesurée en utilisant la méthode décrite par Leitao et al., (2002). En bref, un ml de DPPH 0,3 mM dans du méthanol a été mélangé avec 2,5 ml de l'extrait dissous dans du méthanol à une concentration d'huile de 0,13 mg / ml. Un contrôle sans extrait a également été réalisé. Le mélange a été agité vigoureusement et on laisse reposer 30 min à l'obscurité et l'absorbance a été mesurée à 518 nm. L'activité antioxydante de l'extrait a été calculée en utilisant la formule :

% d'activité antioxydante = (absorbance de l'échantillon – absorbance du blanc) / absorbance du contrôle) * 100

I.7. Détermination de la composition en acides gras

I.7.1. Définition

Les huiles contiennent une fraction glycéridique, saponifiable, et une fraction insaponifiable. La fraction glycéridique est constituée des esters du glycérol et d'acides gras. La chaîne carbonée de ces derniers peut être saturée, contenant une double liaison ou plusieurs doubles liaisons. On les appelle respectivement des acides gras saturés (AGS), monoinsaturés (AGMI) ou polyinsaturés (AGPI).

La composition individuelle de chaque acide gras a été calculée selon les aires des pics de l'espèce qui apparaissent dans le chromatogramme en pourcentage relatif des surfaces du pic totale de tous les acides gras dans l'échantillon d'huile à l'aide de la formule suivante :

$$\text{AG\%} = [(\text{Aire de l'acide gras}) / \Sigma \text{ Aires des acides gras}] \times 100$$

Les valeurs du pourcentage des groupes considérés des acides gras sont obtenues à partir de la somme des pourcentages des acides gras appropriés :

- Acides gras saturés, somme des valeurs du pourcentage du total des acides gras saturés, à savoir, l'acide palmitique + l'acide stéarique + l'acide arachidique + l'acide béhénique;
- Acides gras insaturés, somme des valeurs du pourcentage du total des acides gras insaturés, à savoir l'acide oléique + l'acide eicosénoïque + l'acide linoléique + l'acide linoléinique
- Acides gras monoinsaturés, somme des valeurs de pourcentage d'acides gras monoinsaturés, à savoir l'acide oléique + l'acide eicosénoïque ;
- Acides gras polyinsaturés, la somme des valeurs de pourcentage des acides gras polyinsaturés, à savoir l'acide linoléique + acide linoléinique.

I.7.2. Détermination du taux de désaturation des acides gras

Deux rapports ont été utilisés : le ratio de désaturation de l'acide oléique (RDO) et le ratio de désaturation de l'acide linoléique (RDL). Le RDL et RDO sont déterminés selon la méthode rapportée par Pleines et Friedt, (1988) et ils estiment, à l'intérieur de la voie de désaturation, l'efficacité de la désaturation de l'acide oléique à linoléique (RDO) et de l'acide linoléique en acide linoléinique (RDL).

Ils ont été calculés comme suit :

$$\mathbf{RDO = (\% 18: 2 + \% 18: 3) / (\% 18: 1 + \% 18 : 2 + \% 18 : 3)}$$

$$\mathbf{RDL = \% 18: 3 / (\% 18: 2 + \% 18: 3)}$$

RDO : Ratio de désaturation de l'acide oléique ;

RDL : Ratio de désaturation de l'acide linoléique ;

% 18 :1 : le pourcentage de l'acide oléique par rapport au total des acides gras ;

% 18 :2 : le pourcentage de l'acide linoléique par rapport au total des acides gras ;

% 18 :3 : le pourcentage de l'acide linoléique par rapport au total des acides gras.

Chapitre IV : Caractérisation moléculaire des accessions de sésame du Maroc via les marqueurs ISSR

Certes, le premier arrangement d'une collection donnée par le biais des marqueurs phénotypiques est indispensable, cependant, ces derniers ne suffisent pas pour accomplir une identification ou une classification bien définitive et crédible. Nous avons opté, dans cette étude, pour les marqueurs ISSR pour la caractérisation moléculaire de 33 accessions de sésame marocain.

I. Matériel végétal

Cette étude est réalisée sur 33 accessions de sésame marocain semées dans l'environnement 1 et 12 matériels génétiques étrangers de l'environnement 2.

Le matériel végétal est composé de jeunes feuilles récoltées de chaque accession, à raison de 5 répétitions. Les feuilles ainsi récoltées ont été stockées à -80°C en attendant leur utilisation ultérieure. La lyophilisation est effectuée par un lyophilisateur type WPA Biowave S2100.

La caractérisation moléculaire a été faite au laboratoire de Biotechnologies Végétales de l'Unité de Recherche d'Amélioration des Plantes et Conservation des Ressources Phyto-Génétiques (UR-APCRG) de l'INRA-Meknès.

II. Protocole d'extraction de l'ADN génomique

L'extraction de l'ADN nécessite trois étapes primordiales, dont :

- Une action physique : consiste à détruire les structures cellulaires (particulièrement la paroi cellulaire) par broyage mécanique ;
- Une action chimique (lyse chimique) tendant à solubiliser les composantes biochimiques du tissu et détruire les parois cellulaires ;
- Une purification (isolation) de l'ADN, des autres molécules biologiques présentes dans les cellules comme les protéines, les polysaccharides et les composés phénoliques (séparation par affinité aux phases). Puis, précipitation de l'ADN par l'isopropanol et lavage de cet ADN par l'éthanol à 70 %.

Le protocole utilisé pour l'extraction de l'ADN est celui du CTAB (Doyle et Doyle, 1987) (Figure 21, Annexe 3).

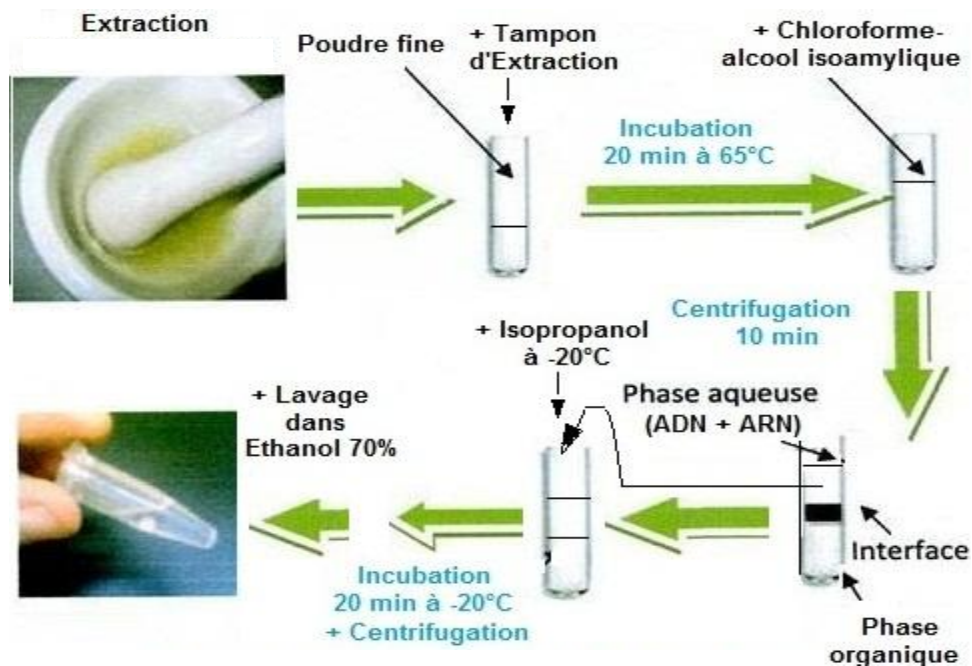


Figure 21 : Extraction et purification de l'ADN des plantes.

III. Evaluation de la qualité et de la quantité d'ADN extrait

La qualité de l'ADN extrait a été d'abord vérifiée sur gel d'agarose (0,8 %). En effet, 10 µl d'ADN ont été migrés dans le tampon TBE (Tampon Tris Borate) pendant 1 heure à 80 volts. Le gel, après sa coloration dans un bain de bromure d'éthidium (0,1 %), a été visualisé sous une lampe UV.

Par ailleurs, la quantité d'ADN extraite a été évaluée par la mesure de la DO à 260 nm. Elle est déterminée selon la formule suivante :

$$\text{Quantité d'ADN (ng/}\mu\text{l)} = \text{valeur de l'absorbance à 260 nm} \times 50 \times \text{facteur de la dilution}$$

Une autre mesure de la DO à 280 nm permet d'évaluer également la quantité de protéine contenue dans la suspension d'ADN. Ainsi, le rapport entre ces deux mesures DO₂₆₀/ DO₂₈₀ constitue un moyen évaluatif numérique d'appréciation de la qualité et ou la pureté de l'ADN. En effet, plus le rapport tend vers 2 plus l'extrait d'ADN est qualifié meilleur ou pure et son utilisation dans plusieurs techniques d'amplification est vouée au succès.

IV. Procédures d'amplification de l'ADN du sésame par PCR

La technique ISSR basée sur la réaction PCR, utilise des amorces à simples séquences répétées pour amplifier les régions ou nucléotides présentes dans les espaces inter-

microsatellites (Zietkiewicz et al., 1994). La composition du mélange réactionnel est celle décrite par FAO/IAEA (2002) avec quelques modifications nécessaires. Le mélange réactionnel pour l'amplification de l'ADN a été préparé dans un volume final de 25 µl en présence de 20 ng d'ADN (Tableau 8).

Tableau 8 : Composition du mélange réactionnel pour PCR/ ISSR adapté au sésame.

Mélange réactionnel pour l'amplification de l'ADN
1x Tampon de Taq polymerase
1,7 mM MgCl ₂
0,2 mM pour chaque dNTPs
0,5 µM d'amorce
1 U de Taq polymerase
20 ng/µl d'ADN

V. Amplification de l'ADN du sésame par PCR/ISSR

Les réactions PCR ont été conduites fidèlement selon le programme du cycle thermique suivant :

Programme PCR/ISSR

- Dénaturation initiale à 94 °C pendant 4 min
- Dénaturation de l'ADN à 94 °C pendant 1 min
- Hybridation de l'amorce à la température d'hybridation correspondante pendant 1 min
- Extension de l'amorce à 72 °C pendant 1 min
- Elongation finale à 72 °C pendant 6 min

Sept amorces ISSR (Operon Technologies, Alameda, USA) désignées F7, F8, F9, F11, F15, IMA 8Z et UBC 807, ont été utilisées (Tableau 39). Les températures idéales d'hybridation de chaque amorce (Tableau 39), ont été choisies à partir des résultats du test gradient PCR (températures de 44 à 60,5 °C).

Les amplifias ont été séparés sur gel d'agarose à 2 % dans un tampon TBE pendant 4h à 150 volts. Après coloration avec le bromure d'éthidium (0,1 %), le gel est visualisé sous UV et photographié. Les fragments d'ADN révélés sur les gels sont appelés bandes ou marqueurs.

VI. Analyse des données ISSR

La photographie de chaque gel PCR/ISSR est transférée vers le logiciel Mesurim Pro, pour le traitement et la détermination de bandes produites par chaque marqueur ISSR. Les profils de

chaque accession générés par les différentes amorces sont directement comparés entre eux par marquage ou sélection de leurs bandes respectives et de celles du marqueur moléculaire dont les tailles sont connues. Seules les bandes nettes obtenues sont retenues. Les bandes ont été marquées visuellement en tant que "1" pour la présence et " 0 " pour l'absence d'une bande pour générer une matrice de données binaire.

Le dendrogramme a été construit sur la base des données de la matrice binaire selon la méthode d'UPGMA (Unweighted Pair Group Method).

VII. Paramètres descriptifs de la diversité génétique

La similarité et le taux du polymorphisme ont été calculés. Un histogramme de comparaison des individus en fonction des nombres de marqueurs qui les différencient est établi.

Le taux du polymorphisme (P) est une estimation du nombre de locus polymorphes par rapport à l'ensemble des locus étudiés. Le polymorphisme ou diversité intra-spécifique est défini comme étant la présence à un locus de deux ou plusieurs formes alléliques (Pernès, 1984).

Il est calculé comme suit :

$$P = \text{Nombre de locus polymorphes} / \text{Nombre de locus étudiés}$$

La similarité est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Similarité} = 1 - \text{la distance entre deux individus}$$

Alors que la similarité moyenne est égale à 1 moins la distance moyenne entre les individus. Cette distance moyenne représente la moyenne des distances génétiques entre les paires des individus calculées selon l'approche classique basée sur les fréquences alléliques dans chaque population en retenant la distance de Nei (1978), en utilisant le logiciel NTSYS-pc.

$$DG_{ij} = 1 - 2 N_{ij} / (N_i + N_j)$$

avec :

DG_{ij} : distance génétique entre les individus i et j ,

N_{ij} : nombre de bandes communes entre i et j ,

N_i : nombre de bandes présentes pour i ,

N_j : nombre de bandes présentes pour j .

Le paramètre dit PIC (Polymorphism information content) lié à la diversité génétique pour chaque amorce utilisée, a été évalué selon la formule d'Anderson et al., (1993) :

$$PIC_j = 1 - \sum P_{ij}^2$$

avec j : amorce concernée, P_{ij} : fréquence de marqueur i révélé par amorce j à travers la somme de bande.

Chapitre V : Etude de l'effet du stress salin, du stress hydrique et de la température sur la germination des graines de sésame

Dans la nature, les plantes sont souvent soumises à des fluctuations des conditions environnementales qui peuvent occasionner différents stress abiotiques tel que le stress hydrique, le stress salin et le stress thermique. Ainsi, il s'est avéré intéressant d'étudier la germination des graines et le développement de jeunes plantules de différentes accessions de sésame sous ces conditions de stress abiotiques.

I. Matériel végétal

L'expérimentation a été réalisée dans le laboratoire de Bioprocédés et Biointerfaces à la Faculté des sciences et Techniques de Béni Mellal. Le matériel végétal utilisé est composé de quatre accessions de sésame : deux accessions marocaines et deux accessions américaines. Les accessions marocaines, caractérisées par des semences jaunes et brunes, ont été collectées dans le cadre de l'enquête menée dans la zone de Tadla, sujet de la première partie du travail de cette thèse. Les accessions américaines, caractérisées par des semences noires et blanches, ont été fournies par Dr Bradley Morris de l'ARS-USDA de (Griffin, GA, Etats Unis d'Amérique). Les semences de toutes ces accessions ont été multipliées et des échantillons des nouvelles semences obtenues ont été utilisés dans cette étude.

II. Méthodologie

Le stress hydrique a été induit par du polyethylene glycol (PEG-6000). Sept niveaux de stress, avec les potentiels osmotiques de -0,2, -0,4, -0,6, -0,8, -1, -1,2 et -1,4 MPa, ont été préparés et utilisés comme décrit par Michel et Kaufmann, (1973).

Le stress salin, avec les mêmes potentiels osmotiques (de -0,2 à -1,4 MPa), a été ajusté à l'aide de NaCl, selon les concentrations décrites par Coons et al., (1990). L'eau distillée a servi de témoin.

Pour l'effet de la température, les semences ont été mises à germer à 12, 15, 18, 21, 25, 30 et 40 °C.

L'expérimentation a été menée selon un dispositif expérimental en factorielle double complètement aléatoire, avec trois répétitions. Le premier facteur est la couleur de la graine (semences) avec quatre niveaux. Le deuxième facteur est la solution au stress (NaCl ou PEG) avec huit niveaux, ou la température de germination avec sept niveaux.

Pour chaque traitement, hydrique, salin et thermique, 100 graines de chaque accessions ont été mises à germer dans des boîtes de Pétri sur un papier filtre humidifié avec les niveaux appropriés de NaCl et de PEG-6000 et d'eau distillé pour l'effet de la température. Les boîtes de Pétri ont été recouvertes pour empêcher la perte d'humidité par évaporation.

Pour le stress salin et hydrique, l'expérimentation a été conduite à une température de germination de 25 °C pendant sept jours.

Lorsque la radicule atteint une longueur de 2 mm, la graine a été considéré germée (ISTA, 1985). Les graines germées ont été comptées à un intervalle régulier tous les jours jusqu' à la fin de la période d'essai (sept jours). Le pourcentage de germination (PG) et le taux de germination (TG), déterminés le septième jour, ont été calculés comme suit (Farooq et al., 2005):

$$\mathbf{PG = (N7 / 100) \times 100}$$

$$\mathbf{TG = \Sigma [(Gi - Gi-1) / i]}$$

N7 = nombre de graines germées sur le 7ème jour

Gi = nombre de graines germées au jour i

Gi-1 = nombre de graines germées au jour i-1

Le temps moyen de germination (TMG) exprimé en jours, est l'inverse du taux de germination TG :

$$\mathbf{TMG = 1/TG}$$

La longueur des racines et la longueur des pousses, exprimées en cm, ont été mesurées le septième jour à la fin de l'expérience (Bray, 1963). La longueur des pousses a été mesurée entre les cotylédons et le collet, tandis que la longueur des racines a été mesurée entre le collet et l'extrémité de la racine.

Une analyse de la variance (ANOVA) a été effectuée pour déterminer les différences statistiquement significatives entre la couleur des semences, les niveaux su stress salin, les niveaux du stress hydrique et les différentes températures, ainsi que pour étudier l'effet de l'interaction couleur des semences x salinités et couleur des semences x stress hydrique et couleur des semences x températures. Le test Duncan de comparaison multiple a été appliqué pour comparer les moyennes des différents facteurs étudiés (traitements). Le programme statistique utilisé est SAS 9.1.3 pour Windows, 917 Instituto Cay NC (USA).

Partie III : Résultats et Discussions

Chapitre I : Etude de la conduite technique du sésame et collecte d'accessions de sésame dans la zone Tadla

I. Etude descriptive

La superficie moyenne emblavée par le sésame dans la zone enquêtée est de l'ordre de 2 ha, avec une variation de 0,5 à 10 ha. Plus de 90 % des agriculteurs enquêtés réservent à cette culture une superficie qui ne dépasse pas 3 ha.

I.1. Précédent cultural

Dans la zone du Tadla, le sésame est une culture dérobée qui vient après les blés, la betterave à sucre, la luzerne ou après jachère. Cependant, 81 % des agriculteurs cultivent le sésame après le blé dur ou le blé tendre. Cette pratique a une influence directe sur la date de semis car la récolte des céréales ne se fait qu'en mois de mai ou juin.

I.2. Préparation du lit de semence

Plusieurs séquences de travail du sol sont utilisées pour la préparation du lit de semence. Le travail profond est utilisé par les agriculteurs de la région dont 68,5 % ont recours à la charrue à disques. L'outil de reprise est le cover crop adopté par 100 % des agriculteurs. En revanche, 30 % des agriculteurs utilisent seulement le cover crop avec un minimum de deux passages croisés comme séquence de travail du sol sans avoir recours au travail profond. Certains agriculteurs pratiquent le zéro labour juste après la récolte des céréales du fait que le sésame est moins exigeant en matière de travail du sol.

I.3. Semis

Dans la zone Tadla, la date du semis du sésame s'étale de la fin du mois d'avril à la fin du mois de juin. 53,6 % des agriculteurs sèment le sésame au mois de mai, 36,8 % au mois de juin et 9,6 % au mois d'avril. La semence utilisée chez la totalité des agriculteurs est une semence autoproduite localement issue de la récolte de l'année antérieure et qui n'a subi aucun traitement. 64,8 % des agriculteurs utilisent une semence locale de couleur jaune et 33,3 % une semence locale de n'importe quelle couleur, alors que 1,8 % ont recours aux semences égyptiennes de couleur jaune.

La dose de semis varie d'un agriculteur à un autre, soit de 7 kg/ha à 20 kg/ha. Cependant, les doses de 7 à 10 kg/ha sont pratiquées par 48,6 % des agriculteurs de la zone enquêtée. Le mode de semis manuel à la volée est pratiqué par tous les agriculteurs concernés par cette étude.

I.4. Entretien de la culture

Le sésame est une culture qui subit le minimum de techniques d'entretien. 20 % des agriculteurs ne font aucune intervention culturale alors que 11,4 % utilisent des traitements chimiques contre les mauvaises herbes. Le désherbage se fait manuellement ou à l'aide de l'opération de pâturage chez plus que 67 % des agriculteurs.

I.5. Fertilisation

Pour l'engrais de fond, 42 % des agriculteurs apportent un engrais phosphaté souvent sous forme de DAP (18-46-0) au moment du semis. Pour l'engrais de couverture, 86 % des agriculteurs apportent un engrais de couverture azoté sous forme d'ammonitrate ou d'urée. Les quantités varient entre 1 et 3 q/ha. Il est important de noter que 11 % des agriculteurs ne pratiquent aucune fertilisation durant tout le cycle de la culture.

I.6. Protection phytosanitaire

83 % des producteurs enquêtés ont recours au moins à un traitement phytosanitaire (insecticide) au cours du cycle de la culture. Les pucerons et la chenille blanche sont les principaux ennemis de la culture rencontrés dans la zone. Le nombre de traitements varie selon le degré de l'infestation et il peut atteindre 5 traitements durant le cycle de production. L'insecticide le plus utilisée est le 'Karaté' suivi par le 'Dursban'. Il est à signaler que les traitements ne sont effectués qu'après apparition des attaques et infestation de la culture.

I.7. Irrigation

L'irrigation gravitaire est utilisée par 97,2 % des agriculteurs enquêtés, alors que seulement 2,8 % ont recours à l'irrigation par goutte à goutte. L'eau utilisée pour l'irrigation est celui du barrage ou des séguias. Dans l'absence de l'eau de ces deux sources, les agriculteurs ont recours au pompage qu'ils jugent une nécessité pour la réalisation du sésame.

Le nombre d'irrigations varie d'un agriculteur à l'autre. Généralement, il y a 5 à 11 irrigations durant le cycle de la culture, avec une moyenne de 7 irrigations. La première irrigation

s'effectue le jour du semis, la deuxième 15 à 40 jours après le semis alors que le reste des irrigations se fait selon une fréquence de 7 à 10 jours entre deux irrigations successives et selon le besoin de la culture.

I.8. Récolte et séchage

La période des récoltes commence à la fin du mois d'août et se termine à la fin d'octobre selon la date du semis et la maturité de la plante jugée par le début de jaunissement de la plante et la chute des feuilles.

La totalité des agriculteurs procède à la récolte manuelle. La plante est coupée entièrement à 10 cm du sol et rassemblé en andains. Les andains sont ensuite transportés de la parcelle à une aire de séchage. Le temps de séchage varie entre 20 et 30 jours selon les conditions climatiques. Les andains sont maintenus en position verticale (debout) pour garantir une bonne ouverture des gousses.

La séparation des graines se fait trois fois durant le cycle de séchage, majoritairement pour 86% des agriculteurs enquêtés. Cependant, le nombre de séparations peut varier de 2 à 5 selon les conditions climatiques. La première opération se fait à partir du 10^{ème} jour de séchage et les deux autres opérations sont espacées de 5 jours à une semaine. La qualité de la graine varie en fonction de la séparation. La récolte de la première séparation est appréciée avec des graines de couleur jaunâtre, alors que la récolte de la dernière séparation donne lieu à des graines de couleur brune.

I.9. Rendement

Les rendements enregistrés chez les agriculteurs enquêtés varient de 0,4 à 1,6 t/ha avec une moyenne de 0,9 t/ha.

I.10. Stockage et commercialisation

L'écoulement de la majorité de la production du sésame se fait immédiatement après la récolte. 38,8 % des producteurs enquêtés n'ont pas recours au stockage et ce par manque de moyens financiers. Par contre, 61,2 % des agriculteurs concernés par l'étude procèdent au stockage de cette denrée pour pouvoir la vendre à des prix meilleurs que ceux offerts à la récolte. Selon la période de vente et la qualité de la production, les prix oscillent entre 6 et 25 dh/kg avec un prix moyen de vente de l'ordre de 18 dh/kg.

II. Etude analytique

L'analyse statistique multi-variable en composante principales (ACP) a été réalisée pour les variables quantitatives et qualitatives à savoir, la superficie récoltée (superf), la date de semis (datsem), la dose de semis (dossem), les semences utilisées (semence), le mode de désherbage (modesherb), le nombre d'irrigation (nombirrig), la période de la récolte (perrecol), le séchage (séchage), le rendement en graine (rendement), teneur en huile (teneur en huile), l'acidité, l'indice de peroxyde, l'indice de saponification, les coefficients d'extinction (K232, K266, K270, K274, Δ K270) et le profils en acides gras (acide palmitique, acide stéarique, acide oléique, acide linoléique et acide arachidique) comme illustrés dans les tableaux : (29, 30, 31 et 32).

Les analyses de corrélation simple entre les variables étudiées (Tableau 9) montrent que les coefficients de corrélation les plus pertinents et les plus significatifs sont ceux reliant le coefficient d'extinction K270 à K274 et à K266 nm (0,99), suivi par le coefficient reliant le K274 à K266 (0,97), et le coefficient existant entre l'acide linoléique et l'acide oléique (-0,82) et entre l'acide linoléique et l'acide stéarique (-0,76). Ensuite vient le coefficient reliant la date du semis et la teneur en huile (-0,65) et enfin celui entre la teneur en huile et la période de récolte (-0,56).

Quand les valeurs de l'absorbance en UV à 266 et 274 nm augmentent la valeur du coefficient d'extinction K270 augmente. Des valeurs élevées du K270, K266 et K274 indiquent l'existence des produits secondaires d'oxydation (Tanouti et al., 2010). La corrélation négative entre l'acide oléique et l'acide linoléique et celle entre ce dernier et l'acide stéarique est expliquée par le fait que l'acide linoléique est synthétisé par désaturation à partir de l'acide oléique qui est lui aussi synthétisé à partir de l'acide stéarique (Wu et al., 2009). Ainsi, quand la teneur en acide linoléique augmente, les teneurs en acide oléique et en acide stéarique diminuent. Pour la corrélation négative reliant la teneur en huile à la date de semis et à la période de récolte, la précocité du semis et de la récolte engendre l'augmentation de la teneur en huile et vis versa. Toutefois, il a été rapporté que la teneur en huile est favorisée par des dates de semis précoce (Mshelia et al., 2014). Thandar et al., (2010), évaluant l'effet de la période de récolte sur la teneur en huile et en protéines du sésame, ont trouvé que la récolte retardée a donné lieu à des valeurs faibles pour la teneur en huile.

Tableau 9 : Matrice des corrélations simples entre les variables étudiées

	superf	datsem	dossem	semence	engrais	modesherb	nombirrig	perrecol	sechage	rendement	tenhuile	acidite	indicper	K232	K266	K270	K274	DK270	indicsap	acpalm	acstea	acolei	aclino	acarac	
superf	1,00																								
datsem	0,34	1,00																							
dossem	-0,13	0,33	1,00																						
semence	-0,13	-0,21	0,02	1,00																					
engrais	0,37	0,31	-0,06	-0,04	1,00																				
modesher	-0,38	-0,27	-0,05	0,28	-0,46	1,00																			
nombirrig	0,07	-0,02	-0,33	0,09	-0,04	0,17	1,00																		
perrecol	0,10	0,71	0,23	-0,41	0,23	-0,29	0,19	1,00																	
sechage	-0,18	-0,25	0,15	0,32	-0,31	0,30	-0,18	-0,25	1,00																
rendement	0,11	-0,10	-0,34	0,34	0,24	0,13	0,25	0,01	-0,12	1,00															
tenhuile	-0,38	-0,65	-0,25	0,23	-0,46	0,10	-0,06	-0,56	0,05	-0,06	1,00														
acidite	0,25	0,25	0,40	-0,16	0,13	-0,33	-0,13	0,36	0,05	-0,04	-0,26	1,00													
indicper	-0,14	-0,21	0,26	0,02	-0,51	0,02	-0,13	-0,38	0,04	-0,41	0,33	-0,12	1,00												
K232	0,01	-0,35	0,19	0,08	-0,44	0,01	-0,14	-0,46	0,11	-0,23	0,49	-0,10	0,63	1,00											
K266	0,25	0,15	-0,24	0,08	0,36	-0,22	-0,02	-0,03	0,12	-0,19	-0,13	-0,15	-0,14	-0,17	1,00										
K270	0,25	0,17	-0,21	0,07	0,38	-0,22	-0,03	-0,03	0,12	-0,22	-0,11	-0,13	-0,14	-0,13	0,99	1,00									
K274	0,25	0,20	-0,16	0,05	0,41	-0,19	-0,03	-0,01	0,13	-0,25	-0,12	-0,11	-0,14	-0,11	0,97	0,99	1,00								
DK270	-0,04	-0,23	-0,22	0,10	-0,05	-0,30	-0,28	-0,31	-0,03	-0,08	0,44	0,00	-0,13	0,18	0,05	0,05	-0,02	1,00							
indicsap	0,27	0,32	0,00	-0,15	0,37	-0,09	0,45	0,31	-0,33	0,28	-0,47	0,21	-0,34	-0,21	-0,18	-0,17	-0,14	-0,16	1,00						
acpalm	0,04	-0,09	0,03	0,48	-0,35	0,44	0,36	-0,25	0,33	0,21	-0,01	-0,20	0,23	0,19	-0,23	-0,25	-0,25	-0,30	0,12	1,00					
acstea	0,12	0,44	0,04	-0,25	0,46	-0,26	0,17	0,39	-0,20	-0,13	-0,34	0,02	-0,17	-0,39	0,30	0,32	0,35	-0,27	0,13	0,11	1,00				
acolei	-0,25	-0,14	0,02	-0,22	0,25	-0,22	0,11	-0,12	0,08	-0,34	0,04	0,05	0,01	-0,14	0,14	0,17	0,19	0,12	0,08	-0,14	0,43	1,00			
aclino	0,12	-0,05	-0,03	0,07	-0,28	0,05	-0,22	0,00	-0,16	0,24	0,13	-0,02	0,01	0,28	-0,20	-0,23	-0,28	0,19	-0,08	-0,24	-0,76	-0,82	1,00		
acarac	0,08	0,38	0,05	-0,23	0,39	-0,07	-0,07	0,42	0,09	-0,35	-0,46	0,25	-0,24	-0,56	0,48	0,50	0,54	-0,40	-0,11	-0,32	0,52	0,22	-0,41	1,00	

Les 7 premiers axes de l'ACP expliquent près de 80 % de l'inertie totale (Tableau 10). Les trois premiers axes seront considérés dans cette analyse. L'axe 1 contribue de 23 % à la variation totale et se trouve positivement corrélé à la date de semis, à l'utilisation d'engrais, à la teneur en acide stéarique et à la teneur en acide arachidique et négativement corrélé à la teneur en huile. L'axe 2 expliquant 14,63 % de la variation totale, est corrélé positivement au coefficient d'extinction K270 et négativement au période de la récolte et à l'indice de saponification. L'axe 3 contribue de plus de 10 % de la variation totale et se trouve corrélé positivement avec le nombre d'irrigation, le mode de désherbage, le rendement et la teneur en acide palmitique alors qu'il est négativement corrélé à la dose de semis et l'acidité.

Tableau 10 : Corrélation entre les variables étudiées et les 7 axes principaux de l'ACP

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	Axe 5	Axe 6	Axe 7
superf	0,16	-0,08	-0,04	0,25	0,16	0,44	0,12
datsem	0,27	-0,21	-0,12	-0,05	0,23	0,11	-0,05
dossem	0,01	-0,12	-0,27	-0,35	0,23	0,04	0,27
semence	-0,14	0,11	0,29	0,10	0,23	-0,01	0,39
engrais	0,31	-0,03	0,04	0,19	-0,14	0,02	0,25
modesher	-0,18	-0,01	0,33	-0,13	0,22	-0,27	-0,17
nombirri	0,03	-0,13	0,40	-0,001	-0,14	0,22	-0,21
perrecol	0,25	-0,30	-0,11	-0,06	0,08	-0,12	-0,18
sechage	-0,08	0,20	0,11	-0,19	0,28	-0,22	0,37
rendeme	-0,05	-0,22	0,31	0,33	-0,01	-0,08	0,17
tenhuile	-0,28	0,24	-0,04	0,06	-0,23	-0,01	-0,06
acidite	0,11	-0,18	-0,26	-0,09	0,04	-0,02	0,42
indicper	-0,20	0,14	-0,16	-0,27	0,08	0,38	-0,17
K232	-0,26	0,13	-0,18	-0,04	0,06	0,43	0,01
K266	0,25	0,37	0,06	0,17	0,16	0,07	-0,05
K270	0,25	0,37	0,04	0,15	0,15	0,08	-0,03
K274	0,26	0,36	0,04	0,11	0,16	0,09	-0,03
DK270	-0,10	0,15	-0,21	0,27	-0,29	-0,05	0,26
indicsap	0,13	-0,32	0,15	0,07	-0,15	0,24	0,11
acpalm	-0,14	-0,07	0,41	-0,20	0,18	0,28	0,15
acstea	0,30	0,02	0,14	-0,23	-0,15	0,13	-0,05
acolei	0,13	0,18	0,05	-0,29	-0,47	-0,01	0,18
aclino	-0,19	-0,14	-0,24	0,38	0,27	-0,06	-0,16
acarac	0,32	0,10	-0,02	-0,169	0,15	-0,26	-0,11

En ce qui concerne la projection des individus dans les plans formés par les axes principaux 1, 2 et 3, 5 groupes différents pourrait être distingués dans le plan (1, 2), le plan (1, 3) et le plan (2, 3). Les figure 22, 23 et 24 montrent, respectivement, les projections des agriculteurs dans le plan (1, 2), (1, 3) et (2, 3). Le groupe 1 qui referme trois agriculteurs, se trouve à

l'extrémité négative de l'axe 1 et positive de l'axe 2 et se distinguent donc par la non utilisation des engrais, par des graines ayant une teneur faible en acide stéarique et en acide arachidique, par une date de semis tardive et par des valeurs élevées en coefficients d'extinctions. Le 2^{ème} groupe constitué d'un seul agriculteur, se situe à l'extrémité positive des deux axes principaux 1 et 2. Il se caractérise par une date de semis précoce, par l'utilisation des engrais, par des teneurs importantes en acide stéarique et en acide arachidique et par des valeurs élevées des coefficients d'extinctions.

Par contre, le groupe 3 constitué de deux agriculteurs et se trouvant à l'extrémité positive des deux axes 1 et 3, est distingué par un semis précoce, par un nombre d'irrigation élevé, par l'utilisation d'engrais, par un rendement élevé dont les semences contiennent une forte teneur en acide stéarique, en acide palmitique et en acide arachidique. Le groupe 4 constitué d'un seul agriculteur, se trouve dans l'extrémité négative des deux axes principaux 2 et 3. Il se distingue par une faible dose de semis, par une récolte précoce, par une faible acidité et un indice de saponification faible.

Pour le groupe 5, situé à l'extrémité positive de l'axe 2 et l'extrémité négative de l'axe 3 et constitué de deux agriculteurs, est distingué par une dose de semis faible, par un nombre d'irrigation faible, par un désherbage manuel, par une récolte précoce, par un indice de saponification faible, par des coefficients d'extinctions élevés, par un rendement en graine faible et par une teneur faible en acide palmitique. Le faible rendement peut être dû à la non utilisation des engrais et au désherbage manuel. Il ressort aussi qu'il y a une relation entre l'utilisation des engrais et la teneur en acides gras. Seo et al., (1986), ont constaté que les teneurs en acide oléique et linoléique du sésame augmentent avec l'utilisation d'une double quantité d'azote, de phosphate et de potassium. De même pour le tournesol, Ali et Ullah, 2012, ont rapporté de bonnes proportions en acides oléique, linoléique et palmitique en utilisant 150 kg d'azote/ha comme fertilisant.

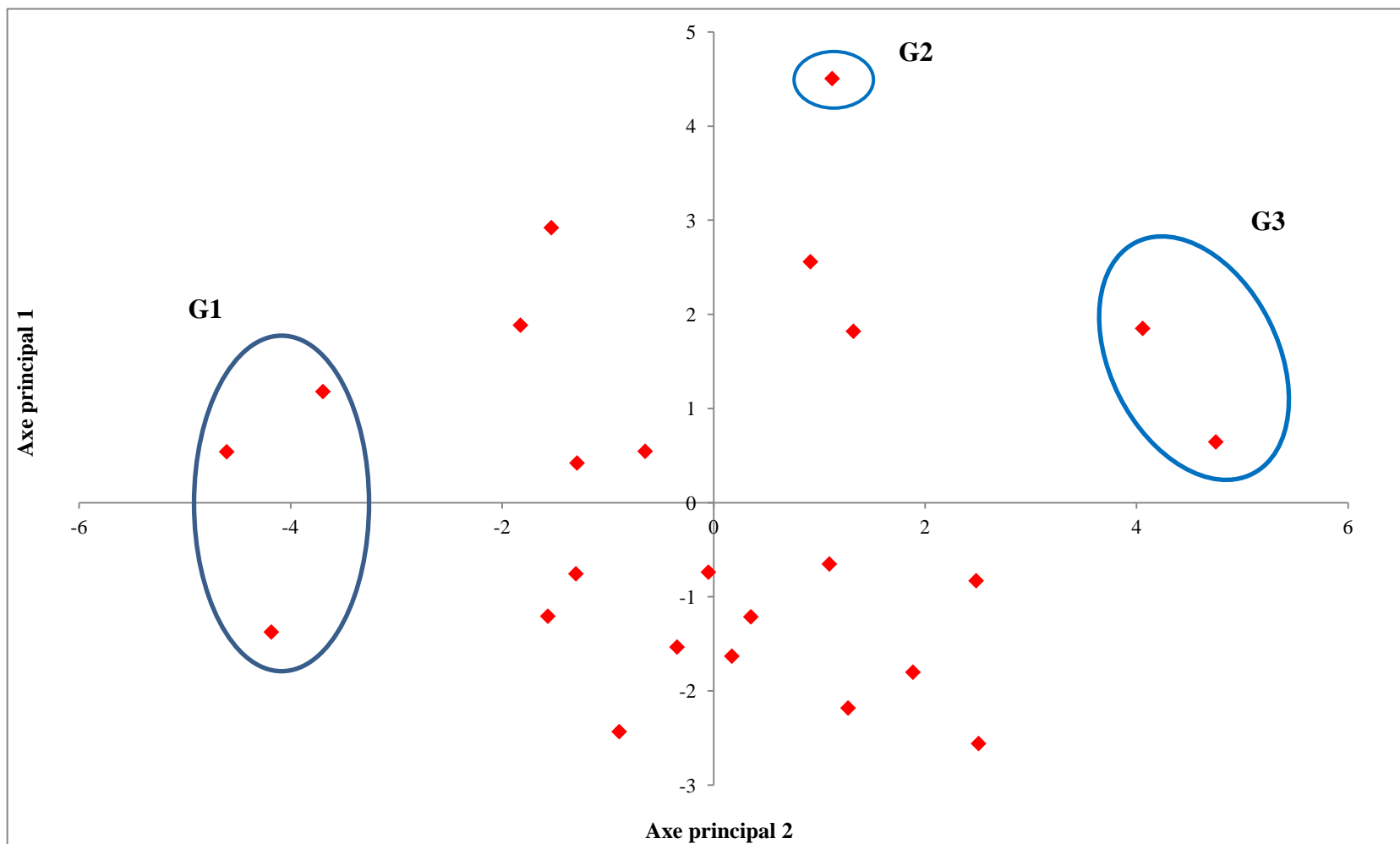


Figure 22 : Projection des individus (agriculteurs) sur le plan de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) formé par les axes principaux 1 et 2.

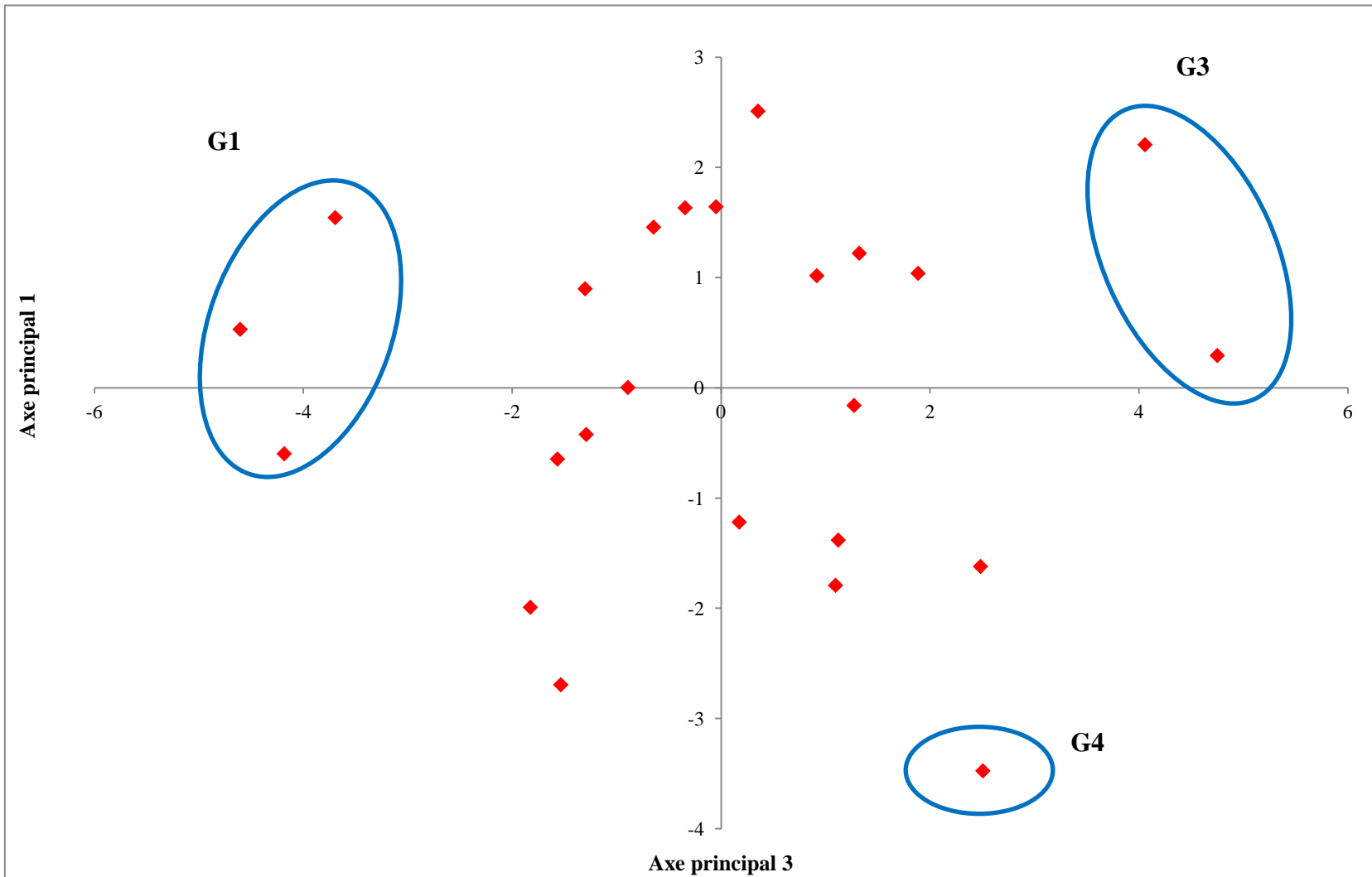


Figure 23 : Projection des individus (agriculteurs) sur le plan de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) formé par les axes principaux 1 et 3.

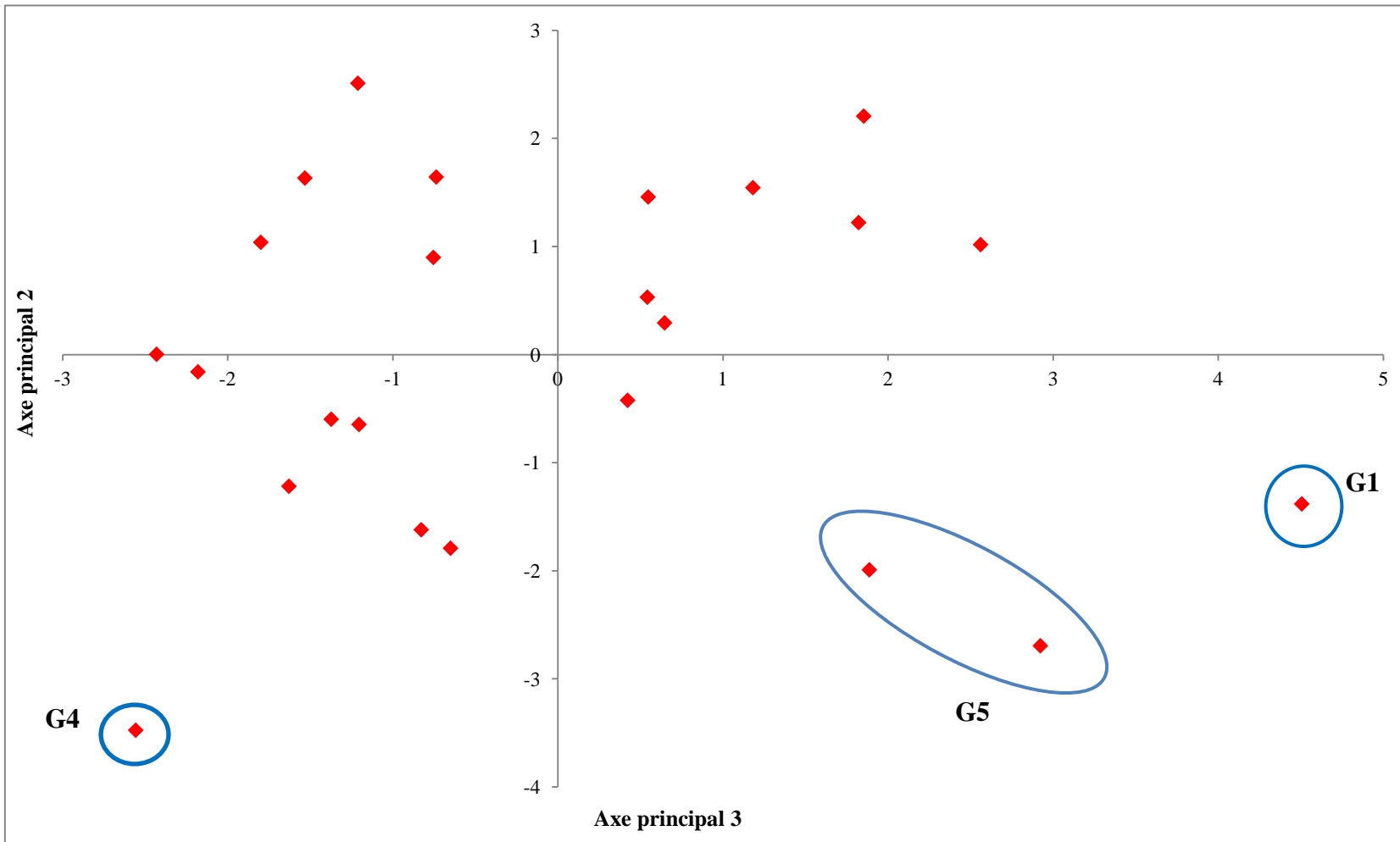


Figure 24 : Projection des individus (agriculteurs) sur le plan de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) formé par les axes principaux 2 et 3.

Conclusion

La zone Tadla est de loin la plus grande contributrice à la production nationale du sésame. Mais cette culture reste peu développée et moins valorisée malgré le potentiel de production qu'elle a sous les conditions de la région. Le diagnostic objet de cette enquête a relevé plusieurs faiblesses liées à la production de cette plante oléagineuse. Les surfaces cultivées par le sésame et les rendements enregistrés varient d'un agriculteur à un autre mais restent en général faibles et en deçà des potentialités de la région. Ces faiblesses constituant les freins du développement de la filière sésame, sont liées notamment au faible recourt aux techniques modernes de production et aux conditions environnementales. Notamment la préparation du sol, la date, la dose et le mode de semis, le type d'irrigation, l'entretien de la culture, le manque de raisonnement de la fertilisation et l'utilisation des produits phytosanitaires et la qualité des semences utilisées. Aussi, le circuit de commercialisation n'est pas organisé, la valorisation locale du produit est faible et il y a absence d'organisation professionnelle. Le faible rendement peut être dû à la non utilisation ou l'utilisation non raisonnée des engrais et au désherbage manuel. Il ressort aussi qu'il y a une relation entre l'utilisation des engrais et la teneur en acides gras. Les analyses de corrélation révèlent une corrélation négative reliant la teneur en huile à la date du semis et la période de récolte.

Chapitre II : Caractérisation agromorphologiques des accessions de sésame au Maroc

I. Effet de l'accession et de l'environnement sur les caractères étudiés

L'analyse de la variance (Tableau 11) a montré qu'il n'y a pas de différences significatives entre les accessions pour les caractères étudiés, sauf la hauteur d'insertion de la première gousse, le nombre de graines par gousse et le poids de mille graines. Cependant, l'environnement a un effet hautement significatif sur tous les caractères étudiés, sauf la largeur et la longueur de la gousse et la teneur en huile ($P < 0,01$) (Tableau 11).

L'interaction environnement x accessions a eu un effet hautement significatif ($P < 0,01$) sur la hauteur de la plante, le nombre de gousses par plante, le rendement en graines par plante et la teneur en huile, et un effet significatif ($P < 0,05$) sur les caractères ; nombre de ramifications, la hauteur de la première ramification et le taux de croissance (Tableau 11). De même, il y a des différences significatives entre les cinq plantes de la même accession (plantes par accession) pour la hauteur de la plante, la teneur en huile, le nombre de ramifications, le nombre de graines par gousse et la hauteur de la première ramification (Tableau 11).

Tableau 11 : Résultats de l'analyse de la variance (carré moyen et niveau de signification) de 33 accessions de sésame évaluées en trois environnements différents, à Afourar et Ain Taoujtate pendant 2013 et 2014.

Source de variation	HTR (cm)	NRP	HPR (cm)	HPG (cm)	NPG	LAG (cm)	LOG (cm)	NGG	TCE (%)	PMG	RGH (T/ha)	RGP (g)	TRH (%)
Environnement	349971,06 ***	472,25 ***	18472,84 ***	124789,87 ***	222487,1 ***	4,52 ns	2048167 ns	5696,27 ***	4,2 **	29,7 ***	96,15 ***	6620,8 ***	63,16 ns
Accessions	783,09 ns	31,47 ns	141,31 ns	358,22 **	3110,75 ns	1,76 ns	1372132,6 ns	183,13 **	0,88 ns	0,19 *	2,59 ns	135,62 ns	226,81 ns
Environnement x Accessions	617,01 ***	15,93 *	78,46 *	152,47 ns	6963,82 ***	3,98 ns	2021099 ns	64,32 ns	0,69 *	0,09 ns	2,994 ns	275,76 ***	139,66 ***
plantes par accession	339,79 ***	16,46 **	71,33 *	128,66 ns	1860,81 ns	3,78 ns	1722080,8 ns	94,85 **	0,4 ns	0,08 ns	2,25 ns	87,75 ns	29,68 ***

1 HTR (cm) : hauteur de la plante, NRP : nombre de ramification, HPR (cm) : hauteur de la première ramification, HPG (cm) : hauteur de la première gousse, NPG : nombre de gousses par plante, LAG (cm) : largeur de la gousse, LOG (cm) : longueur de la gousse, NGG : nombre de graines par gousse, TCE (%) : taux de croissance, PMG : poids de milles graines (g), RGH (T/Ha) : rendement en graines par Ha, RGP (g) : rendement en graines par plante et TRH (%) : teneur en huile.

2 *, **, *** : effet significatif au seuil de 5%, 1% et 1%, respectivement, ns : effet non significatif.



Figure 25 : Photos de l'essai dans l'environnement 1 et l'environnement 3

II. Diversité des environnements

Les valeurs moyennes des caractères étudiés montrent que l'environnement d'Afourar en 2014 est le plus favorable pour la majorité des caractères évalués (Tableau 12). Ainsi, il présente les valeurs les plus élevées de la hauteur de la plante (165,12 cm), de la hauteur à la première ramification (31,06 cm), de la hauteur à la première gousse (93,9 cm), de la largeur et la longueur des gousses (0,65 cm et 2,58 cm respectivement), du nombre de graines par gousses (65,74), du poids de mille graines (3,56 g), du rendement en graines par plante (1,49 t/ha) et du rendement en graines par hectare (21,13 g). Les valeurs moyennes du nombre de

ramification et du nombre de gousses par plante les plus élevées sont enregistrés dans l'environnement Ain Taoujdate en 2014, soit 12,90 et 119 respectivement.

La culture dans l'environnement d'Afourar en 2013 a présenté une valeur moyenne de la teneur en huile de 52,77 % contre 51,83 % et 51 % pour l'environnement d'Ain Taoujdate en 2014 et d'Afourar en 2014 respectivement. Le taux de croissance le plus élevé a été enregistré dans l'environnement Afourer 2013 avec une valeur moyenne de 1,38 % tandis que les valeurs enregistrées sont de 1,28 et 1,15 % pour l'environnement Afourer 2014 et Ain Taoujdate 2014 respectivement. L'environnement Ain Taoujdate est avéré le moins favorable pour la majorité des paramètres mesurés et présente les valeurs moyennes les plus faibles pour la hauteur de la plante (97,87 cm), la hauteur à la première ramification (16,06 cm), la hauteur à la première gousse (53,27 cm), la largeur (0,59 cm) et la longueur (2,06 cm) des gousses, le nombre de graines par gousse (56,8), le taux de croissance (1,15), le PMG (2,98) et le rendement en graines par hectare (0,41 t/ha). Quant à l'environnement Afourer 2013, il a présenté les valeurs élevées du TCE (1,38) et du TRH (52,77 %) et les valeurs faibles du nombre de gousses par plante (65,5) et du rendement en graines par plante (12,76 g). Les valeurs moyennes des autres paramètres pour cet environnement sont inférieures à celles enregistrées dans l'environnement Afourer 2014 et supérieures par rapport à celles trouvées dans l'environnement Ain Taoujdate 2014.

Hoballah, (2001), a rapporté un effet important de l'environnement sur la hauteur de la plante, le nombre de ramification par plante et le nombre de gousses par plante.

Nous remarquons que les valeurs les plus élevées de la hauteur de la plante ont été enregistrées dans l'environnement 2. Cela est peut être dû aux conditions de l'environnement 2, favorable à ce paramètre. L'environnement 2 est caractérisé par un semis précoce en comparaison avec l'environnement 1. La raison possible pourrait être que la culture semée tôt avait profitée d'une photopériode prolongée pour la croissance végétative et par conséquent les plantes atteignent une hauteur maximale.

Nous constatons donc qu'il y a un effet de la période de semis et de la date de la récolte sur la hauteur de la plante. En outre, un effet très significatif de la date de semis sur la hauteur de la plante a été trouvé pour le sésame (Hamza et Abd El-Salam, (2015), Alam Sarkar et al., (2007) et Olowe, (2007)). Ces auteurs ont constaté que la plus grande hauteur de la plante a

été obtenue dans le cas du semis précoce ; le 9 Avril pour le sésame égyptien, le 26 Février pour le sésame du Bangladesh et le 1 Juillet pour le sésame Nigérien, respectivement.

Tableau 12 : Valeurs moyennes des caractères étudiés pour les trois environnements.

Environnement	HTR	NRP	HPR	HPG	NGP	LAG	LOG	NGG	TCE	PMG	RGH	RGP	TRH
environnement 1	113,89	10,92	27,96	67,38	65,48	0,63	2,28	62,09	1,38	3,09	0,75	12,76	52,77
environnement 2	165,12	10,37	31,06	93,39	85,73	0,65	2,58	65,74	1,28	3,56	1,49	21,13	51,00
environnement 3	97,87	12,90	16,06	53,27	119,04	0,59	2,06	56,81	1,15	2,98	0,41	20,22	51,83

1 HTR(cm) : hauteur de la plante, NRP : nombre de ramification, HPR (cm) : hauteur de la première ramification, HPG (cm) : hauteur de la première gousse, NPG : nombre de gousses par plante, LAG (cm) : largeur de la gousse, LOG (cm) : longueur de la gousse, NGG : nombre de graines par gousse, TCE (%) : taux de croissance, PMG : poids de milles graines (g), RGH (T/Ha) : rendement en graines par Ha, RGP (g) : rendement en graines par plante et TRH (%) : teneur en huile.

2 *, **, *** : effet significatif au seuil de 5%, 1% et 1%, respectivement, ns : effet non significatif.

III. Diversité des accessions

III.1. Taux de croissance

Les moyennes du taux de croissance des accessions étudiées par environnement sont montrées dans le tableau 13. Dans l'environnement 1, ce taux varie de 0,85 à 1,85 % pour les accessions A' et J, respectivement, avec une moyenne de 1,38 %. Pour l'environnement 2, le taux de croissance varie de 0,88 à 2,68 % pour les accessions E' et O, respectivement, avec une valeur moyenne de 1,28 %.

Le taux de croissance des accessions dans l'environnement 3 varie de 0,67 à 1,72 %, avec une moyenne de 1,15 %. Globalement, tout environnement confondu, ce caractère varie de 0,95 % pour l'accession L', à 1,63 % chez l'accession O avec un taux moyen de 1,27 %. Ces valeurs sont en accord à celles trouvés par Haruna, (2011) pour le sésame nigérien (de 0,77 à 1,48 %).

Tableau 13 : Valeurs moyennes du taux de croissance de 33 accessions de sésame évalués dans trois environnements différents

Taux de croissance (%)				
Accession	Environnement 1 Afourar 2013	Environnement 2 Afourar 2014	Environnement 3 Ain Taoujdate 2014	Moyenne des trois environnements
A	1,70±0,46	1,58±0,22	1,49±0,38	1,59
B	1,40±0,26	1,03±0,37	1,60±0,44	1,34
C	1,56±0,61	1,91±0,70	1,32±0,62	1,59
D	1,70±0,52	1,22±0,32	1,11±0,67	1,34
E	1,67±0,21	1,36±0,44	1,18±0,44	1,40
F	1,60±0,39	1,11±0,24	1,43±0,29	1,38
H	1,68±0,63	1,02±0,33	1,28±0,31	1,32
I	1,51±0,39	1,01±0,38	1,17±0,23	1,23
J	1,85±0,55	1,01±0,29	0,74±0,51	1,20
K	1,57±0,33	1,12±0,39	1,02±0,23	1,23
L	1,25±0,49	0,98±0,27	0,91±0,36	1,04
M	1,43±0,38	1,30±0,33	0,67±0,30	1,13
N	1,24±0,51	1,17±0,31	1,09±0,41	1,16
O	1,26±0,32	2,68±5,22	0,95±0,26	1,63
P	1,36±0,79	1,71±0,98	1,17±0,48	1,41
Q	1,61±0,35	1,55±0,98	1,23±0,42	1,46
R	1,31±0,37	1,38±0,87	1,50±0,61	1,39
S	1,59±0,37	1,58±0,43	0,86±0,34	1,34
T	1,15±0,46	1,73±1,01	1,00±0,57	1,29
U	1,35±0,44	1,51±1,04	1,35±0,67	1,40
V	1,19±0,29	1,18±0,41	0,90±0,28	1,09
A'	0,85±0,49	0,99±0,29	1,19±0,50	1,01
B'	1,36±0,34	0,91±0,27	1,01±0,48	1,09
C'	0,99±0,35	1,36±0,88	1,28±0,81	1,21
E'	1,59±0,25	0,88±0,25	1,01±0,47	1,16
F'	0,98±0,35	1,21±0,45	1,15±0,55	1,11
G'	1,30±0,49	0,99±0,45	1,32±0,80	1,20
H'	1,30±0,27	1,07±0,62	1,57±0,51	1,31
I'	1,45±0,28	1,28±0,90	1,45±0,38	1,39
J'	1,39±0,25	1,10±0,77	0,84±0,41	1,11
K'	1,36±0,36	1,12±0,37	1,05±0,40	1,17
L'	1,10±0,43	0,88±0,38	0,88±0,42	0,95
M'	1,38±0,45	1,42±0,42	1,72±0,77	1,50
Moyenne	1,38	1,28	1,15	1,27

III.2. Hauteur de la plante

Les valeurs observées de la hauteur de la plante par environnement sont présentées dans le tableau 14. Ce caractère varie de 92,45 à 128,50 cm pour les accessions C et E' ; respectivement, dans l'environnement 1, de 151,8 à 181,33 cm pour les accessions I et T, respectivement, dans l'environnement 2 et de 82,12 à 120,42 cm pour les accessions J' et L, respectivement, dans l'environnement 3. Les valeurs moyennes respectives des trois environnements sont de 113,9, 165,1 et 97,87 cm. La hauteur de la plante globale moyenne, tout environnement confondu, est de 125,59 cm, avec une variation de 118,76 cm à 133,87 cm, pour les accessions B et L, respectivement. Ces valeurs sont en accord avec celles trouvées par Abdou et al., (2015) pour des cultivars de sésame du Niger (entre 78 et 180 cm). Elles sont comparables aux valeurs rapportées par Furat et Uzun, (2010) (117,7 à 158,3 cm) qui ont évalué la diversité de 103 populations locales turques et celle rapportées par Akbar et al., (2011) (121,7 à 150,2 cm) pour des cultivars du Pakistan.

Tableau 14 : Valeurs moyennes de la hauteur de la plante de 33 accessions de sésame évalués dans trois environnements différents

Hauteur de la plante (cm)				
Accession	Environnement 1 Afourar 2013	Environnement2 Afourar 2014	Environnement 3 Ain Taoujdate 2014	Moyenne des trois environnements
A	98,00±5,87	158,50±16,50	109,42±15,39	121,97
B	98,70±5,25	155,60±11,44	102,00±12,69	118,76
C	92,45±28,61	165,55±5,72	105,87±19,46	121,29
D	114,50±14,90	162,60±16,04	106,57±25,55	127,89
E	116,70±10,15	165,10±12,95	104,50±29,52	127,76
F	118,70±6,43	157,10±17,81	108,00±13,78	127,93
H	111,70±12,16	162,00±14,87	110,37±16,30	128,02
I	112,30±16,67	151,88±7,91	102,50±17,23	122,22
J	111,90±5,26	158,55±14,52	88,62±22,57	119,69
K	111,90±5,46	159,55±11,65	103,50±18,39	124,98
L	116,90±6,44	164,30±14,54	120,42±16,21	133,87
M	101,50±9,51	169,66±15,09	94,12±9,84	121,76
N	109,10±9,36	164,80±13,96	96,00±9,62	123,30
O	108,50±10,76	165,86±14,95	107,62±19,47	127,32
P	116,50±11,03	166,77±12,78	99,87±16,84	127,71
Q	116,70±16,04	167,55±9,18	83,00±8,22	122,49
R	117,90±17,58	170,88±14,70	95,25±24,20	128,01
S	116,50±10,01	180,80±26,97	99,37±9,28	132,22
T	112,70±3,4	181,33±19,85	92,75±29,11	128,92
U	118,70±6,79	163,88±12,95	92,62±15,51	125,06
V	122,50±6,92	169,33±16,35	87,62±19,15	126,48
A'	115,50±13,71	175,10±12,28	92,75±16,79	127,78
B'	117,30±11,45	169,62±15,45	95,00±11,79	127,30
C'	104,70±9,40	173,37±18,12	86,83±19,39	121,63
E'	128,50±9,37	166,30±13,08	97,87±21,10	130,89
F'	118,30±6,36	157,70±11,61	97,37±14,80	124,45
G'	124,90±12,04	162,70±12,26	98,43±14,90	128,67
H'	128,10±5,55	161,00±15,15	103,12±15,16	130,74
I'	115,10±7,46	170,00±11,78	101,25±20,08	128,78
J'	126,50±7,11	167,88±16,55	82,12±10,82	125,50
K'	119,10±11,37	165,77±25,62	91,28±6,36	125,38
L'	126,30±8,22	167,70±13,67	82,75±14,52	125,58
M'	123,70±16,76	170,11±9,01	101,62±25,12	131,81
Moyenne	113,9	165,1	97,87	125,59

III.3. Nombre de rameaux principaux par plante

Le nombre de rameaux principaux par plante se situe entre 9,6 et 14,27, pour les accessions H et C dans l'environnement 1, entre 9,4 et 12,2, pour les accessions E et L' dans l'environnement 2 et entre 10 et 18,85 pour les accessions L' et A dans l'environnement 3 (Tableau 15). Les valeurs moyennes respectives sont de l'ordre de 10,96, 11,43 et 12,97. Le nombre moyen global de rameaux par plante, tout environnement confondu, est de 11,45, avec une variation de 9,86 à 13 pour les accessions M et A, respectivement. Les plantes de l'environnement 3 ont été les plus ramifiées, en comparaison avec ces mêmes plantes de l'environnement 1 et l'environnement 2. Le nombre moyen de rameaux par plante des accessions marocaines est supérieur à celui des populations locales turques, qui est de l'ordre de 3,7 (Furat et Uzun, 2010), à celui du sésame nigérien, 6,7 (Abdou et al., 2015) et à celui des accessions indiennes, et qui est de l'ordre de 7 (Akhila et Beevy, 2011). Par contre la valeur moyenne observée des accessions marocaines est comparable à celle du matériel pakistanais, 10,6 (Akbar et al., 2011).

Tableau 15 : Valeurs moyennes du nombre de rameaux par plante de 33 accessions de sésame évalués dans trois environnements différents

Nombre de rameaux par plante				
Accession	Environnement 1 Afourar 2013	Environnement 2 Afourar 2014	Environnement 3 Ain Taoujdate 2014	Moyenne des trois environnements
A	10,66±1,41	9,75±1,28	18,85±3,43	13,09
B	11,00±1,05	10,60±1,35	13,25±4,39	11,62
C	14,27±8,32	10,22±0,66	11,75±5,89	12,08
D	10,00±2,66	9,40±1,35	17,57±4,68	12,32
E	11,00±1,40	9,40±1,89	14,25±7,74	11,55
F	11,00±1,70	10,60±1,34	10,12±5,81	10,57
H	9,60±1,58	10,57±2,22	13,50±5,73	11,22
I	11,20±1,58	10,22±0,66	10,00±6,50	10,47
J	12,40±1,26	10,00±1,00	13,25±5,94	11,88
K	11,20±1,40	10,66±1,00	13,00±5,85	11,62
L	11,60±0,84	10,20±1,47	14,00±6,92	11,93
M	9,80±1,75	9,77±0,66	10,00±4,53	9,86
N	11,40±2,50	10,00±1,33	12,50±8,05	11,30
O	11,00±1,70	10,00±1,15	10,37±5,29	10,46
P	11,40±0,97	8,88±3,48	14,25±5,17	11,51
Q	11,40±1,35	11,33±1,94	15,43±4,57	12,72
R	10,80±1,68	10,44±1,94	10,50±6,48	10,58
S	9,80±2,40	9,80±1,47	13,50±6,82	11,03
T	10,80±2,14	10,00±0,00	14,50±4,86	11,77
U	10,20±1,13	10,00±1,41	11,00±5,01	10,40
V	10,20±1,75	10,44±0,88	10,87±6,03	10,50
A'	10,00±1,63	11,00±1,41	10,50±4,63	10,50
B'	11,20±1,68	12,00±2,61	13,50±5,83	12,23
C'	11,00±1,94	12,00±1,85	15,33±5,31	12,78
E'	10,60±2,12	10,00±0,94	17,25±5,65	12,62
F'	10,40±2,63	10,00±1,33	13,00±4,27	11,13
G'	11,60±1,84	10,20±0,63	12,57±4,27	11,46
H'	10,40±1,26	10,00±0,94	12,37±3,92	10,92
I'	11,80±2,74	10,40±0,84	12,75±3,53	11,65
J'	10,00±1,88	11,11±2,66	10,25±4,20	10,45
K'	10,60±1,90	12,00±3,16	14,57±5,12	12,39
L'	11,00±2,16	12,20±2,39	10,00±8,48	11,07
M'	12,40±1,57	11,11±1,05	13,75±3,77	12,42
Moyenne	10,96	10,43	12,97	11,45

III.4. Hauteur à la première ramification

Les hauteurs à la première ramification varient de 17,40 cm pour l'accession Q à 31,8 cm pour les accessions B et E' avec une moyenne de 27,72 cm pour l'environnement 1, de 26 cm pour les accessions B' et L' à 41,10 cm pour l'accession D dans l'environnement 2 avec une moyenne de 31,85 cm et de 11 à 26 cm pour les accessions R et M' dans l'environnement 3 avec une valeur moyenne de 15,57 cm (Tableau 16). Les hauteurs moyennes à la première ramification sont de l'ordre de 27,72, 31,85 et 15,57 cm respectivement. La hauteur moyenne globale à la première ramification, tout environnement confondu, est de 25,05cm, avec une variation de 21,26 à 28,49 cm pour les accessions B' et M', respectivement. Les hauteurs moyennes à la première ramification trouvées sont supérieurs à la hauteur moyenne à la première ramification rapportée par Ali, (2015) pour le sésame du Soudan (19,2 cm), et inférieurs à celles trouvées par Olowe, 2006, pour le sésame nigérien (54 cm) et par Noorka et al, 2011, (36 cm) étudiant la réponse de la variété du sésame égyptienne « Taka 2 » à la densité de la population et à la fertilisation par l'azote sur les sols sandy.

Tableau 16 : Valeurs moyennes de la hauteur à la première ramification de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents

Hauteur à la première ramification (cm)				
Accession	Environnement 1 Afourar 2013	Environnement 2 Afourar 2014	Environnement 3 Ain Taoujdate 2014	Moyenne des trois environnements
A	31,44±9,82	30,87±9,72	15,28±3,09	25,86
B	31,80±5,09	30,90±5,84	14,87±2,94	25,86
C	31,36±20,17	30,22±10,11	14,87±2,53	25,48
D	29,40±4,22	41,10±9,73	14,714±1,50	28,40
E	27,00±4,88	36,20±9,93	12,75±1,28	25,32
F	29,20±6,70	28,80±6,01	16,125±2,47	24,71
H	28,50±3,75	33,00±12,06	17,125±5,27	26,21
I	24,40±3,83	34,66±5,24	14,37±3,06	24,48
J	26,50±7,24	34,11±6,05	14,75±4,02	25,12
K	26,50±5,06	31,88±8,32	19,50±7,42	25,96
L	30,40±5,77	36,10±9,71	16,42±7,76	27,64
M	28,45±5,33	35,55±4,82	19,37±7,26	27,79
N	27,10±6,22	33,90±5,76	14,50±2,67	25,17
O	27,00±2,62	30,28±6,70	14,75±2,05	24,01
P	25,30±3,92	36,11±8,46	14,37±2,26	25,26
Q	17,40±4,65	32,66±7,16	14,71±3,94	21,59
R	28,60±7,92	34,55±4,93	11,00±5,60	24,72
S	28,30±7,30	30,50±10,65	17,62±4,40	25,47
T	25,90±2,96	34,55±6,26	15,87±3,44	25,44
U	30,20±6,20	33,77±6,47	14,87±2,53	26,28
V	27,80±3,22	29,88±6,09	17,00±2,32	24,89
A'	24,80±3,36	27,90±8,18	13,37±2,13	22,02
B'	25,40±3,60	26,00±10,82	12,37±3,70	21,26
C'	29,00±7,67	21,37±10,95	16,33±3,72	22,23
E'	31,80±11,49	29,70±11,55	15,00±6,34	25,50
F'	27,70±5,27	33,90±10,60	17,37±4,83	26,32
G'	29,50±5,38	30,30±12,78	17,28±12,75	25,69
H'	25,60±2,80	33,10±4,79	15,00±5,756	24,57
I'	25,80±5,67	34,30±8,19	17,50±8,19	25,87
J'	29,60±8,75	28,00±6,91	14,62±2,326	24,07
K'	28,30±7,24	27,22±13,66	11,57±1,61	22,37
L'	29,10±7,34	26,00±11,66	12,87±5,54	22,66
M'	25,70±4,22	33,77±7,44	26,00±13,76	28,49
Moyenne	27,72	31,85	15,57	25,05

III.5. Hauteur à la première gousse

Tableau 17 : Valeurs moyennes de la hauteur à la première gousse de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents

Hauteur à la première gousse (cm)				
Accession	Environnement 1 Afourar 2013	Environnement 2 Afourar 2014	Environnement 3 Ain Taoujdate 2014	Moyenne des trois environnements
A	62,66±9,27	93,62±4,31	62,57±15,03	72,95
B	64,20±7,00	93,20±5,84	53,25±10,81	70,22
C	66,36±16,05	91,22±6,65	48,50±14,93	68,69
D	77,60±7,93	98,50±10,01	61,00±11,15	79,03
E	68,80±11,11	92,60±8,98	59,75±25,51	73,72
F	64,60±7,76	93,50±4,92	53,12±10,48	70,41
H	65,10±8,50	92,42±11,51	60,12±15,75	72,55
I	67,30±8,48	90,55±5,34	59,00±17,87	72,28
J	69,40±8,73	95,88±12,71	58,25±15,81	74,51
K	66,40±6,40	92,22±13,99	61,50±12,24	73,37
L	70,40±9,08	94,80±7,84	66,71±13,58	77,30
M	64,90±17,56	98,33±6,80	49,12±16,40	70,78
N	70,50±9,22	96,80±7,91	48,75±17,26	72,02
O	63,40±8,90	99,28±5,05	48,37±14,67	70,35
P	63,10±9,01	99,66±9,92	53,87±12,24	72,21
Q	70,10±9,22	102,66±11,25	51,57±3,55	74,78
R	68,30±10,02	99,44±11,67	46,50±15,60	71,41
S	67,60±7,04	90,60±18,54	58,12±8,56	72,11
T	70, ±8,30	101,77±7,39	52,12±16,59	74,63
U	64,20±15,10	97,66±16,72	48,50±14,93	70,12
V	67,70±9,17	105,33±30,97	51,25±20,60	74,76
A'	63,50±10,51	95,20±8,66	52,25±19,57	70,32
B'	67,00±9,41	92,12±9,35	49,12±11,54	69,41
C'	67,30±8,24	89,37±3,66	45,66±18,39	67,44
E'	73,50±10,42	88,20±14,25	58,87±19,88	73,52
F'	68,40±7,49	94,20±9,19	48,62±12,86	70,41
G'	70,20±14,44	89,80±11,04	51,85±17,60	70,62
H'	72,80±10,06	95,20±10,60	50,87±18,35	72,96
I'	71,70±7,82	92,70±18,22	49,00±12,72	71,13
J'	68,90±7,82	96,33±10,80	40,87±13,29	68,70
K'	63,70±15,23	87,88±13,86	44,71±10,75	65,43
L'	68,30±9,40	90,80±9,39	45,25±19,81	68,12
M'	67,60±7,67	99,88±8,04	54,25±22,79	73,91
Moyenne	67,74	94,90	52,82	71,82

Les hauteurs à la première capsule varient entre 62,66 et 77,6 cm pour les accessions A et D dans l'environnement 1, entre 87,88 et 105,33 cm pour les accessions K' et V dans l'environnement 2 et entre 40,87 et 66,71 cm pour les accessions J' et L dans l'environnement 3, avec des valeurs moyennes respectives de 67,74 cm, 94,90 cm et 52,82 cm (Tableau 17). La hauteur moyenne globale à la première gousse, tout environnement confondu, est de 71,82 cm, avec une variation de 65,43 à 77,30 cm pour les accessions K' et L, respectivement. Ces hauteurs sont supérieures à celles trouvées pour une collection de landracés de sésame turque, 42,8 cm (Furat et Uzun, 2010), à celles rapportées pour le sésame du Ghana 43 cm (Ofosuhenne et Yeboah-Badu, 2010) et à celles trouvées pour 18 accessions de sésame de différentes régions d'Iran et qui varient de 31 à 67 cm avec une moyenne de 49 cm (Parsaeian et al., 2011).

III.6. Nombre de gousses par plante

Le nombre de gousses par plante varie de 49,4 à 88,6 pour les accessions E et L' avec une moyenne de 65,17 pour l'environnement 1, de 55,75 à 163,37 pour les accessions A et C' avec une moyenne de 83,41 dans l'environnement 2 et de 74,25 à 228,75 pour les accessions Vet E avec une moyenne de 122,82 dans l'environnement 3 (Tableau 18). Le nombre de gousses par plante, pour tout environnement confondu, est de 90,82, avec une variation de 65,25 à 113,38 cm pour les accessions U et E, respectivement. Les nombres moyens de gousses par plante trouvés dans les trois environnements sont en accord avec les nombres moyens obtenus par Furat et Uzun, (2010) pour une collection de landracés de sésame turque (85,7), Pham et al., 2011 pour le sésame du Vietnam et Cambodge (77), Abdou et al., 2015 pour le sésame nigérien (81,1) et Bandila et al., 2011 pour le sésame Indien (72,30). Les nombres de gousses par plante sont supérieurs au nombre moyen trouvé pour le sésame iranien (44,50) (Parsaeian et al., 2011).

Le nombre moyen de gousses par plante trouvé dans l'environnement 3 peut être dû au fait que les accessions de l'environnement 3 ont le nombre de ramification le plus élevé par rapport aux deux autres environnements. Toutes fois une corrélation positive entre le nombre de ramifications et le nombre de gousses par plante ($r=0,93$) a été rapporté par Olowe, (2007).

Tableau 18 : Valeurs moyennes du nombre de gousses par plante de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents

Nombre de gousses par plante				
Accession	Environnement 1 Afourar 2013	Environnement 2 Afourar 2014	Environnement 3 Ain Taoujdate 2014	Moyenne des trois environnements
A	65,66±23,22	55,75±18,80	161,57±85,93	94,33
B	53,30±14,10	58,40±16,21	204,50±108,48	105,40
C	55,97±25,66	93,33±53,52	161,75±92,05	103,68
D	65,40±20,94	57,80±26,674	174,86±177,68	99,35
E	49,40±13,07	62,00±31,397	228,75±87,36	113,38
F	69,40±18,91	81,20±29,24	96,25±30,71	82,28
H	56,90±21,18	84,00±33,763	149,50±104,48	96,80
I	69,10±18,80	72,555±37,69	147,50±59,29	96,39
J	74,70±28,32	67,11±32,65	98,00±60,21	79,94
K	64,90±22,46	75,55±22,22	146,00±107,37	95,48
L	66,80±22,48	58,30±22,09	122,71±63,43	82,60
M	66,10±17,12	67,66±23,34	81,50±17,52	71,75
N	57,90±16,40	61,80±26,97	131,75±49,31	83,82
O	63,80±27,50	72,00±50,72	152,38±74,48	96,06
P	59,10±22,05	64,66±19,13	162,25±75,28	95,34
Q	59,10±22,05	80,88±37,83	79,00±22,09	72,99
R	65,30±20,94	60,55±28,86	132,13±91,85	85,99
S	51,80±14,77	74,40±24,86	115,88±41,00	80,69
T	54,90±22,31	89,55±43,63	114,63±107,75	86,36
U	49,50±18,57	60,88±18,57	85,38±43,98	65,25
V	61,10±13,65	104,00±38,43	74,25±36,98	79,78
A'	57,70±21,37	100,80±58,13	104,25±31,44	87,58
B'	54,70±19,21	131,50±45,64	132,75±63,61	106,32
C'	65,60±29,65	163,37±50,38	66,83±48,51	98,60
E'	68,20±29,70	91,20±41,78	84,63±44,60	81,34
F'	65,00±29,29	92,80±88,09	124,00±38,39	93,93
G'	78,70±21,87	96,80±34,03	125,57±62,57	100,36
H'	78,20±54,06	73,20±26,78	103,50±49,22	84,97
I'	74,30±37,33	91,80±34,51	137,00±38,38	101,03
J'	73,60±35,75	96,88±32,57	86,38±55,42	85,62
K'	79,80±26,24	113,11±73,58	101,00±35,51	97,97
L'	88,60±34,89	124,80±73,38	75,00±45,06	96,13
M'	86,20±28,21	74,22±24,00	91,88±26,22	84,10
Moyenne	65,17	83,41	122,82	90,47

III.7. Largeur et longueur des gousses

La largeur des gousses des différentes accessions de sésame varie de 0,61 à 0,81 cm pour les accessions C' et C, de 0,62 à 0,67 cm pour les accessions I et K et de 0,57 à 0,63 cm pour les accessions T et I dans les environnements 1, 2 et 3 respectivement avec des valeurs moyennes respectives de 0,63, 0,64 et 0,59 cm (Tableau 19). La largeur des gousses, tout environnement confondu, est de 0,62 cm, avec une variation de 0,61 à 0,68 cm pour les accessions V et C, respectivement.

En ce qui concerne la longueur, elle change de 2,14 à 3,33 cm pour les accessions C' et S avec une moyenne de 2,30 cm dans l'environnement 1, de 2,39 à 3 cm pour les accessions J' et V avec une moyenne de 2,59 cm pour l'environnement 2 et de 1,82 à 2,28 cm avec une moyenne de 2,03 cm pour l'environnement 3 (Tableau 20). La longueur des gousses, tout environnement confondu, est de 2,31 cm, avec une variation de 2,16 à 2,66 cm pour les accessions J et S, respectivement.

Les valeurs moyennes de la longueur des gousses des accessions marocaines évaluées dans l'environnement 2 sont supérieures aux longueurs des gousses des deux environnements 1 et 3, et sont comparables aux valeurs trouvées par Akbar et al., 2011 (2,59 cm) et celles rapportées par Pham et al., 2011 (2,60 cm). Les gousses des accessions marocaines sont caractérisées par des largeurs moyennes supérieures à la largeur moyenne des gousses du sésame du Pakistan (0,49 cm) (Akbar et al., 2011) et inférieures aux largeurs moyennes (1,03 cm) du sésame de l'Inde, du Vietnam, du Kenya, du Salvador et de la Tanzanie (Pham et al., 2010).

Il est à noter que toutes les accessions marocaines dans les trois environnements ont présentées un nombre de deux gousses par insertion.

Tableau 19 : Valeurs moyennes de la largeur des gousses de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents

Largeur des gousses (cm)				
Accession	Environnement 1 Afourar 2013	Environnement 2 Afourar 2014	Environnement 3 Ain Taouhdate 2014	Moyenne des trois environnements
A	0,62±0,02	0,63±0,02	0,61±0,05	0,62
B	0,62±0,02	0,64±0,02	0,58±0,02	0,62
C	0,81±0,63	0,66±0,03	0,58±0,02	0,68
D	0,65±0,05	0,65±0,02	0,59±0,03	0,63
E	0,62±0,01	0,65±0,04	0,59±0,04	0,62
F	0,63±0,01	0,63±0,05	0,59±0,04	0,62
H	0,62±0,03	0,66±0,02	0,62±0,05	0,63
I	0,62±0,02	0,63±0,02	0,63±0,05	0,63
J	0,62±0,02	0,64±0,03	0,60±0,03	0,62
K	0,63±0,02	0,67±0,03	0,58±0,02	0,62
L	0,62±0,02	0,65±0,03	0,62±0,02	0,63
M	0,66±0,19	0,65±0,02	0,60±0,02	0,64
N	0,62±0,02	0,65±0,03	0,59±0,03	0,62
O	0,62±0,02	0,66±0,03	0,60±0,03	0,63
P	0,62±0,03	0,64±0,02	0,59±0,03	0,62
Q	0,63±0,02	0,64±0,02	0,59±0,03	0,62
R	0,63±0,02	0,64±0,02	0,59±0,02	0,62
S	0,63±0,02	0,65±0,02	0,58±0,03	0,62
T	0,62±0,02	0,65±0,02	0,57±0,01	0,62
U	0,63±0,02	0,65±0,01	0,58±0,02	0,62
V	0,61±0,02	0,65±0,02	0,56±0,06	0,61
A'	0,62±0,02	0,65±0,02	0,58±0,02	0,62
B'	0,63±0,02	0,66±0,03	0,58±0,02	0,62
C'	0,61±0,01	0,60±0,01	0,58±0,02	0,61
E'	0,63±0,02	0,65±0,03	0,61±0,03	0,63
F'	0,65±0,03	0,65±0,03	0,60±0,02	0,63
G'	0,65±0,02	0,64±0,03	0,58±0,03	0,62
H'	0,62±0,02	0,66±0,02	0,61±0,03	0,63
I'	0,63±0,03	0,64±0,04	0,59±0,01	0,62
J'	0,65±0,03	0,64±0,03	0,59±0,03	0,63
K'	0,63±0,03	0,66±0,02	0,59±0,03	0,63
L'	0,62±0,02	0,64±0,03	0,59±0,02	0,62
M'	0,63±0,02	0,65±0,05	0,60±0,03	0,63
Moyenne	0,63	0,64	0,59	0,62

Tableau 20 : Valeurs moyennes de la longueur des gousses de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents

Longueur des gousses (cm)				
Accession	Environnement 1 Afourar 2013	Environnement 2 Afourar 2014	Environnement 3 Ain Taoujdate 2014	Moyenne des trois environnements
A	2,26±0,39	2,45±0,25	2,05±0,23	2,25
B	2,18±0,22	2,44±0,27	1,96±0,16	2,19
C	2,14±0,17	2,61±0,23	1,90±0,07	2,22
D	2,31±0,29	2,44±0,14	1,93±0,21	2,23
E	2,25±0,18	2,612±0,20	2,03±0,17	2,30
F	2,29±0,19	2,504±0,20	2,11±0,26	2,30
H	2,19±0,16	2,53±0,25	2,19±0,26	2,30
I	2,33±0,25	2,501±0,22	2,17±0,34	2,33
J	2,21±0,16	2,40±0,23	1,87±0,29	2,16
K	2,35±0,15	2,66±0,16	2,04±0,25	2,35
L	2,22±0,18	2,66±0,16	2,25±0,16	2,38
M	2,31±0,26	2,67±0,25	1,94±0,19	2,31
N	2,20±0,20	2,60±0,25	2,07±0,23	2,29
O	2,24±0,23	2,56±0,18	2,03±0,27	2,28
P	2,18±0,24	2,58±0,23	2,00±0,23	2,25
Q	2,20±0,13	2,58±0,20	1,82±0,14	2,20
R	2,32±0,26	2,58±0,18	2,19±0,27	2,36
S	3,33±0,21	2,69±0,47	1,97±0,27	2,66
T	2,19±0,20	2,65±0,24	2,01±0,21	2,28
U	2,31±0,24	2,62±0,17	2,04±0,22	2,32
V	2,16±0,21	3,00±0,39	2,01±0,16	2,39
A'	2,28±0,16	2,65±0,21	2,28±0,29	2,40
B'	2,29±0,25	2,65±0,21	1,93±0,15	2,29
C'	2,12±0,16	2,59±0,23	2,03±0,25	2,25
E'	2,33±0,24	2,77±0,26	2,00±0,19	2,37
F'	2,54±0,36	2,52±0,29	2,02±0,27	2,36
G'	2,48±0,29	2,62±0,26	1,94±0,06	2,35
H'	2,28±0,19	2,75±0,21	2,23±0,21	2,42
I'	2,37±0,27	2,59±0,18	1,92±0,17	2,29
J'	2,56±0,37	2,39±0,68	2,01±0,10	2,32
K'	2,26±0,26	2,57±0,21	2,07±0,15	2,30
L'	2,27±0,23	2,56±0,18	2,02±0,22	2,28
M'	2,16±0,20	2,51±0,19	2,12±0,24	2,26
Moyenne	2,30	2,59	2,03	2,31

III.8. Nombre de graines par gousse

Le nombre de graines par gousse varie de 54,42 à 67 pour les accessions C et U avec une moyenne de 62, de 56,19 à 73,7 pour les accessions A et A' avec moyenne de 65,72 et de 53 à 60,86 pour les accessions I' et K' avec une moyenne de 56,47 graines par gousse, pour l'environnement 1, 2 et 3 respectivement (Tableau 21). Une interaction accession x plantes existe pour ce paramètre.

Le nombre moyen de graines par gousses, tout environnement confondu, est de 61,39, avec une variation de 56,75 à 64,78 pour les accessions A et A', respectivement. Le nombre moyen de graines par gousse des accessions marocaines dans les trois environnements est en accord avec le nombre moyen de graines par gousse trouvé par Parsaeian et al., (2011) (61,93) pour une collection de 18 sésames de l'Iran et du sésame de l'Inde, de Pakistan de l'Irak, de la chine et de la zone méditerranéenne. Cependant, il est inférieur au nombre de graines par gousse du sésame de la Turquie (75,3) (Furat et Uzun, 2010) et du Vietnam et du Cambodge (86) (Pham et al., 2011).

Tableau 21 : Valeurs moyennes du nombre de graines par gousse de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents

Nombre de graines par gousse				
Accession	Environnement 1 Afourar 2013	Environnement 2 Afourar 2014	Environnement 3 Ain Taoujdate 2014	Moyenne des trois environnements
A	57,78±11,29	56,19±20,94	56,29±4,23	56,75
B	60,20±13,01	63,60±5,80	55,50±3,82	59,77
C	54,42±20,02	65,78±6,12	55,25±5,01	58,48
D	65,50±7,29	60,00±4,90	53,71±3,55	59,74
E	64,80±6,61	68,40±3,10	57,25±5,12	63,48
F	61,60±5,87	64,80±5,59	58,00±6,85	61,47
H	59,40±9,62	64,71±6,70	58,75±5,44	60,95
I	62,70±7,45	66,00±5,10	56,25±8,78	61,65
J	60,00±7,12	62,89±5,01	53,75±3,77	58,88
K	62,80±7,32	68,89±2,85	59,75±6,27	63,81
L	62,20±5,45	69,80±5,53	60,29±5,35	64,10
M	65,60±9,83	69,33±7,21	54,00±4,66	62,98
N	60,40±7,82	65,60±3,86	57,50±7,39	61,17
O	62,40±8,21	66,29±5,47	58,88±5,59	62,52
P	62,00±7,18	63,56±5,55	54,50±6,30	60,02
Q	63,80±6,56	59,40±21,68	53,14±7,82	58,78
R	60,80±4,54	67,11±4,81	59,75±3,45	62,55
S	61,20±10,72	66,60±9,89	55,25±4,77	61,02
T	59,40±7,49	61,56±22,84	54,75±6,67	58,57
U	67,00±8,01	61,49±23,20	54,00±3,70	60,83
V	62,00±7,83	69,11±4,81	54,00±2,39	61,70
A'	62,40±4,30	73,70±6,04	58,25±8,97	64,78
B'	63,60±9,28	67,50±5,42	54,63±4,31	61,91
C'	56,80±7,90	58,40±23,57	58,00±5,80	57,73
E'	62,40±7,65	69,90±7,25	56,25±6,27	62,85
F'	63,60±8,47	67,40±4,99	54,50±4,75	61,83
G'	66,80±7,00	66,20±6,00	54,00±3,83	62,33
H'	63,00±8,34	71,00±5,27	60,25±6,36	64,75
I'	58,20±10,69	67,40±5,34	53,00±3,85	59,53
J'	66,70±7,80	67,78±4,74	54,50±4,87	62,99
K'	65,40±6,11	66,78±4,29	60,86±5,15	64,34
L'	60,80±8,18	66,40±6,52	58,50±5,32	61,90
M'	60,00±5,16	65,11±4,01	60,25±6,36	61,79
Moyenne	61,99	65,72	56,47	61,39

III.9. Poids de mille graines

Tableau 22 : valeurs moyennes du poids de mille graines de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents

Poids de milles graines (g)				
Accession	Environnement 1 Afourar 2013	Environnement 2 Afourar 2014	Environnement 3 Ain Taoujdate 2014	Moyenne des trois environnements
A	3,03±0,18	3,24±0,64	2,79±0,21	3,02
B	3,19±0,13	3,48±0,28	3,13±0,20	3,27
C	2,92±0,50	3,77±0,19	2,89±0,30	3,19
D	3,03±0,11	3,80±0,31	2,86±0,16	3,23
E	3,16±0,10	3,78±0,37	2,93±0,39	3,29
F	3,21±0,09	3,53±0,24	3,01±0,35	3,25
H	3,10±0,13	3,69±0,34	2,98±0,23	3,26
I	3,11±0,15	3,46±0,51	3,04±0,28	3,20
J	3,06±0,10	3,32±0,29	2,86±0,41	3,08
K	3,06±0,08	3,66±0,41	2,93±0,29	3,22
L	3,04±0,12	3,51±0,38	3,05±0,19	3,20
M	3,11±0,11	3,49±0,46	2,97±0,24	3,19
N	3,11±0,14	3,59±0,30	2,89±0,30	3,20
O	3,08±0,11	3,38±0,24	2,97±0,23	3,14
P	3,05±0,07	3,73±0,24	2,92±0,30	3,23
Q	3,09±0,08	3,31±0,63	2,83±0,17	3,08
R	3,01±0,06	3,72±0,14	3,09±0,29	3,27
S	3,10±0,09	3,75±0,17	2,82±0,40	3,22
T	3,14±0,08	3,43±0,69	2,94±0,23	3,17
U	3,16±0,13	3,23±0,71	2,97±0,41	3,12
V	3,13±0,09	3,77±0,26	2,95±0,25	3,28
A'	3,18±0,12	3,74±0,28	3,14±0,29	3,36
B'	3,13±0,09	3,50±0,29	2,96±0,30	3,20
C'	3,10±0,09	3,29±0,77	2,64±0,20	3,01
E'	3,06±0,06	3,67±0,32	3,01±0,19	3,24
F'	3,07±0,07	3,64±0,24	2,98±0,20	3,23
G'	3,06±0,07	3,67±0,20	2,96±0,34	3,23
H'	3,11±0,09	3,65±0,22	3,04±0,12	3,27
I'	3,17±0,11	3,57±0,25	3,03±0,21	3,26
J'	3,06±0,06	3,54±0,34	3,03±0,29	3,21
K'	3,09±0,10	3,64±0,15	2,88±0,13	3,20
L'	3,06±0,06	3,55±0,20	2,88±0,30	3,16
M'	3,13±0,08	3,65±0,21	3,02±0,26	3,27
Moyenne	3,09	3,56	2,95	3,20

Le PMG varie de 2,92 à 3,31 g pour les accessions C et F dans l'environnement 1, de 3,23 à 3,8 g pour les accessions U et D dans l'environnement 2 et de 2,64 à 3,14 g pour les accessions C' et A' dans l'environnement 3 (Tableau 22).

Les valeurs moyennes respectives du PMG pour les trois environnements sont de 3,09, 3,56 et 2,95 g. L'environnement 2 a présenté les valeurs élevées du PMG suivi par l'environnement 1 puis l'environnement 3 avec les PMG les plus faibles. Le PMG moyen, tout environnement confondu, est de 3,20 g, avec une variation de 3,01 à 3,36 g pour les accessions C' et A', respectivement. La valeur moyenne du PMG des accessions pour les trois environnements est en accord avec les résultats de Parsaeian et al., (2011) pour le sésame Iranien (3,20 g), supérieure aux valeurs trouvées par Pham et al., (2011) pour le sésame du Viêt Nam et du Cambodge (2,84) et par Akbar et al., 2011 pour le sésame du Pakistan (2,6 g). Alors que la valeur moyenne trouvée par Furat et Uzun, (2010), qui est de 3,7 g est élevée par rapport à la valeur moyenne du PMG des accessions marocaines.

III.10. Rendement en graines par hectare

Les rendements par hectare varient de 0,4 à 1,15 t/ha pour les accessions B et C avec une moyenne de 0,76 t/ha dans l'environnement 1, de 0,72 à 1,88 t/ha pour les accessions C' et P avec une moyenne 1,32 t/ha dans l'environnement 2 et de 0,1 à 0,68 t/ha pour les accessions R et H' avec une moyenne de 0,39 t/ha dans l'environnement 3 (Tableau 23).

Le rendement moyen par hectare, pour tout environnement confondu, est de 0,83 t/ha, avec une variation de 0,63 à 1,02 t/ha pour les accessions B et M', respectivement.

Les rendements moyens des accessions marocaines dans l'environnement 1 et 2 sont supérieurs aux rendements moyens pour le sésame du Niger, 0,52 t/ha, enregistrés par Abdou et al., (2015), aux rendements trouvés par Furat et Uzun, 2010 pour le sésame turque qui est de 0,65 t/ha et aux rendements rapportés par Ofosuhene et Yeboah-Badu, (2010) pour le sésame du Ghana (0,68 t/ha). Par contre, ils sont inférieurs par rapport aux rendements moyens (1,87 t/ha) enregistrés par Parsaeian et al., (2011) pour une collection de sésame de l'Iran, Pakistan, Zone méditerranéenne, Inde, Chine et Iraq et au rendement moyen (2,7 t/ha) trouvé par Anastasi et al., (2015) travaillant sur la performance agronomique et la qualité des graines de sésame des variétés italiennes locales et des variétés améliorées cultivées en milieu méditerranéen.

Tableau 23 : Valeurs moyennes du rendement total en graines (t/ha) de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents

Rendement total en graines (t/ha)				
Accession	Environnement 1 Afourar 2013	Environnement 2 Afourar 2014	Environnement 3 Aint Taoujdate 2014	Moyenne des trois environnements
A	0,57±0,27	1,44±0,19	0,63±0,12	0,88
B	0,40±0,05	1,32±0,18	0,17±0,04	0,63
C	1,15±1,61	1,34±0,22	0,34±0,25	0,94
D	0,67±0,06	1,36±0,10	0,16±0,09	0,73
E	0,88±0,05	1,47±0,10	0,33±0,08	0,89
F	0,92±0,17	1,63±0,10	0,47±0,07	1,01
H	0,62±0,28	1,55±0,02	0,50±0,36	0,89
I	0,69±0,10	1,14±0,02	0,44±0,00	0,75
J	0,93±0,16	1,09±0,12	0,18±0,15	0,73
K	0,63±0,01	1,57±0,03	0,60±0,02	0,93
L	0,80±0,11	1,57±0,15	0,17±0,07	0,85
M	0,74±0,02	1,30±0,21	0,29±0,06	0,78
N	0,56±0,04	0,90±0,05	0,42±0,13	0,63
O	0,64±0,00	1,41±0,02	0,67±0,16	0,91
P	0,52±0,05	1,88±0,31	0,32±0,25	0,90
Q	0,86±0,21	1,59±0,09	0,06±0,03	0,84
R	0,72±0,32	1,57±0,09	0,05±0,02	0,78
S	0,76±0,16	1,46±0,10	0,28±0,26	0,84
T	0,79±0,12	1,53±0,17	0,48±0,45	0,93
U	0,75±0,18	1,25±0,18	0,43±0,35	0,81
V	0,84±0,07	1,55±0,42	0,18±0,11	0,86
A'	0,65±0,11	1,64±0,43	0,64±0,04	0,98
B'	0,69±0,17	1,17±0,00	0,55±0,02	0,80
C'	0,78±0,13	0,72±15,30	0,54±0,25	0,68
E'	0,88±0,42	0,88±0,00	0,60±0,30	0,79
F'	0,92±0,18	1,13±0,12	0,52±0,27	0,86
G'	0,89±0,19	0,87±0,46	0,30±0,17	0,69
H'	0,74±0,23	1,06±0,03	0,68±0,08	0,82
I'	1,01±0,02	1,40±0,08	0,51±0,06	0,97
J'	0,77±0,23	1,31±0,35	0,17±0,04	0,75
K'	0,81±0,25	1,06±0,25	0,35±0,00	0,74
L'	0,77±0,12	0,87±0,17	0,32±0,26	0,65
M'	0,85±0,00	1,68±0,12	0,52±0,11	1,02
Moyenne	0,76	1,32	0,39	0,83

III.11. Rendement en graines par plante

Les rendements en graines par plante varient de 9,66 à 16,35 g pour les accessions S et E' dans l'environnement 1, de 12,85 à 39,81 g pour les accessions D et C' dans l'environnement 2 et de 10,98 à 38,19 g pour les accessions C' et E de l'environnement 3 (Tableau 24). Les rendements moyens correspondants aux trois environnements sont 12,72, 20,76 et 20,60 g respectivement. Le rendement moyen par plante, tout environnement confondu, est de 18,03g, avec une variation de 14,29 à 21,47 g pour les accessions M et E, respectivement. Les rendements en graines par plante des accessions marocaines évaluées dans les trois environnements sont en accord avec le rendement moyen trouvé par Pham et al., (2010) travaillant sur le sésame du Vietnam et du Cambodge (18,96 g). Par ailleurs, ils sont supérieurs aux rendements trouvés pour le sésame de l'Inde (5,63 g) par Bandila et al., (2011) et pour le sésame de différentes régions du monde rapporté par Parsaeian et al., 2011 (8,78 g). Les rendements moyens pour les trois environnements restent faibles par rapport aux rendements trouvés par Akbar et al., (2011) pour le sésame du Pakistan (32,4 g) et ceux trouvés par Pham et al., (2010) pour le sésame des différentes régions du monde (32,3g).

Tableau 24 : Valeurs moyennes du rendement en graines par plante de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents

Rendement en graines par plante (g)				
Accession	Environnement 1 Afourar 2013	Environnement 2 Afourar 2014	Environnement 3 Ain Taoujdate 2014	Moyenne des trois environnements
A	11,71±5,37	16,57±14,45	24,49±17,10	17,59
B	10,28±4,28	12,97±4,54	35,61±18,11	19,62
C	14,66±12,28	23,10±13,98	25,89±16,24	21,22
D	13,08±4,87	12,85±5,02	28,04±31,54	17,99
E	10,08±2,64	16,14±8,49	38,19±16,71	21,47
F	13,63±3,89	19,16±8,55	16,57±4,87	16,45
H	10,64±4,81	22,24±8,30	26,58±18,51	19,82
I	13,39±4,57	17,26±8,38	25,69±13,67	18,78
J	13,48±4,87	14,15±7,37	15,36±9,80	14,33
K	12,35±4,20	18,81±5,29	26,14±21,30	19,10
L	12,75±5,13	14,39±5,88	22,54±12,19	16,56
M	13,72±4,75	16,00±7,01	13,17±3,49	14,29
N	10,70±2,50	15,78±7,67	21,95±8,90	16,14
O	12,61±6,43	15,42±9,37	26,54±14,72	18,19
P	11,01±4,12	15,31±4,71	25,70±13,03	17,34
Q	12,43±3,69	23,07±13,53	11,92±4,03	15,81
R	11,93±3,93	15,88±7,56	24,19±16,31	17,33
S	9,66±2,65	18,30±5,48	18,16±7,34	15,37
T	10,23±4,64	24,73±14,71	18,24±16,09	17,74
U	10,41±3,90	19,14±13,44	13,56±6,47	14,37
V	11,87±3,29	27,85±12,47	12,43±6,96	17,38
A'	11,29±3,85	26,56±16,91	19,33±7,09	19,06
B'	10,76±3,71	30,30±8,90	21,96±12,43	21,01
C'	11,52±5,55	39,81±13,65	10,98±9,65	20,77
E'	12,80±5,39	24,13±13,91	13,95±6,79	16,96
F'	12,92±7,28	23,14±22,33	20,06±6,47	18,71
G'	16,10±4,77	25,08±9,22	21,33±11,47	20,84
H'	16,35±13,91	18,78±6,29	19,11±9,63	18,08
I'	13,88±8,83	21,75±6,93	22,02±6,94	19,21
J'	15,29±8,10	23,11±7,94	13,84±8,27	17,41
K'	16,20±5,60	27,83±18,34	17,44±5,60	20,49
L'	16,25±5,50	29,51±17,46	12,32±6,11	19,36
M'	16,04±4,89	16,15±4,54	16,72±5,69	16,30
Moyenne	12,72	20,76	20,60	18,03

III.12. La teneur en huile des accessions marocaines

Les teneurs en huile des accessions marocaines varient de 47,13 à 57,92 % pour les accessions C et B' de l'environnement 1, de 42,22 à 54,99 % pour les accessions K' et V de l'environnement 2 et de 47,78 à 56,99 % pour les accessions C et Q de l'environnement 3 (Tableau 25). Les teneurs moyennes sont respectivement de 53,20, 51,08 et 51,78 % (Tableau 25). La teneur moyenne en huile, pour tout environnement confondu, est de 52,02 %, avec une variation de 48,42 à 54,49 % pour les accessions J' et B'.

Il a été rapporté que la zone de culture de sésame a un effet sur la variabilité de la teneur en huile (Uzun et al., 2008). La variation de la teneur en huile reflète des différences dans les facteurs environnementaux qui influent sur la composition des graines, comme la disponibilité des précipitations et le régime d'irrigation, la température et les heures d'ensoleillement entre les années de culture.

Les études antérieures dans différents pays ont rapporté des teneurs en huile allant de 34-60 % (Ashri, 1998), de 42-62 % (Abdullahi et al., 1991), de 43-54 % (Bahkali et al., 1998) et de 52-63 % (Nweke et al., 2011). La teneur en huile la plus élevée a été rapportée par Nweke et al., (2011) et Baydar et al., (1999) dans les germoplasmes de sésame turc, avec une teneur de 63,25 %. Parmi les 33 accessions évaluées, la teneur en huile de 31 accessions est supérieure à 50 % d'huile. Cela indique que les graines de sésame des accessions marocaines sont une excellente source d'huile et peut être utile pour des fins industrielles et commerciales au Maroc ainsi que dans d'autres régions du monde ayant des conditions environnementales similaires.

Tableau 25 : Valeurs moyennes de la teneur en huile de 33 accessions de sésame évaluées dans trois environnements différents

Teneur en huile (%)				
Accession	Environnement 1 Afourar 2013	Environnement 2 Afourar 2014	Environnement 3 Ain Taoujdate 2014	Moyenne des trois environnements
A	49,20	48,12	49,44	48,92
B	52,00	53,88	50,55	52,14
C	47,83	53,88	47,78	49,83
D	52,81	53,88	50,00	52,23
E	52,80	53,33	50,00	52,04
F	54,00	53,33	54,44	53,92
H	53,48	52,22	51,11	52,27
I	55,60	52,77	52,22	53,53
J	54,00	51,11	51,67	52,26
K	55,60	50,55	52,22	52,79
L	54,41	50,55	52,78	52,58
M	54,00	52,23	50,00	52,08
N	54,80	52,23	51,11	52,71
O	54,40	50,55	53,88	52,94
P	50,40	51,11	53,33	51,61
Q	51,76	47,14	56,99	51,96
R	54,40	52,22	51,99	52,87
S	55,24	52,78	50,00	52,67
T	50,41	47,14	56,11	51,22
U	52,20	46,64	52,22	50,35
V	51,60	54,99	52,22	52,94
A'	55,20	51,67	51,11	52,66
B'	57,92	53,88	51,66	54,49
C'	54,00	49,11	54,45	52,52
E'	54,80	53,33	51,11	53,08
F'	52,40	50,55	50,55	51,17
G'	54,40	53,88	52,22	53,50
H'	52,40	50,00	50,00	50,80
I'	50,68	50,00	53,88	51,52
J'	49,72	46,66	48,88	48,42
K'	57,88	42,22	51,11	50,40
L'	52,80	52,78	52,22	52,60
M'	52,72	51,11	51,67	51,83
Moyenne	53,20	51,08	51,78	52,02

III.13. Corrélation entre les paramètres agromorphologiques mesurés

Afin d'établir d'éventuelles relations entre les 14 paramètres utilisés au cours de cette étude, une matrice de corrélation a été réalisée. Les coefficients de corrélation entre ces paramètres sont donnés dans le tableau 26.

Cette matrice montre que les corrélations les plus importantes et significatives ont été observées entre le rendement en graines par plante et le nombre de gousses par plante, la hauteur de la plante et la hauteur à la première gousses, le rendement en graines par hectare et le nombre de gousses par insertion et la hauteur à la première gousse et la hauteur à la première ramification. La hauteur de la plante a été corrélée significativement et positivement avec la hauteur à la première ramification ($r=0,46$), à la hauteur à la première gousse ($r=0,807$) et au poids de mille graines ($r=0,64$). Ces résultats pourraient signifier que les accessions qui ont manifesté une grande taille ont la plus grande hauteur à la première gousse et la plus grande hauteur à la première ramification et un grand poids de mille graines. Il existe aussi une corrélation significative et positive entre la hauteur à la première ramification et la hauteur à la première gousse ($r=0,55$) et au poids de mille graines ($r=0,51$). Cela indique que plus la hauteur à la première ramification est élevée plus la hauteur à la première gousse et le poids de mille graines sont élevés. Le rendement en graines par plante a été positivement corrélé au nombre de gousses par plante ($r=0,89$). Donc, plus la plante contient un grand nombre de gousses plus son rendement sera élevé, ce qui explique que ce nombre de gousses est la composante la plus importante dans la détermination du rendement en graine. Le nombre de graines par gousse se trouve positivement corrélé avec le poids de mille graines ($r=0,51$), ce qui veut dire que les accessions dont les gousses contiennent un grand nombre de graines, auront un poids de mille graines élevé. Par conséquent, ces corrélations se trouvent intéressantes et pourraient être suggérées comme critère de sélection important pour l'amélioration du rendement des semences de sésame. Le rendement élevé en graines peut être combiné avec d'autres traits telles que la teneur en huile, la maturation synchrone ou la résistance aux maladies afin d'être utilisés pour l'amélioration variétale du sésame.

Ofohene et Yeboah-Badu, (2010) ont trouvé une forte corrélation significative entre le rendement en graines par plante et le nombre de gousses par plante ($r=0,98$) chez le sésame du Ghana. Ercan et al., (2002), travaillant sur une collection de populations locales de sésame turque, ont observé une corrélation positive entre la hauteur de la plante et la hauteur à la première gousse ($r=0,776$).

Le nombre de rameaux principaux par plante a été trouvé corrélé positivement avec le nombre de gousses par plante ($r=0,29$) et négativement avec le poids de mille graines ($r= -0,28$). Des observations similaires ont été rapportées par Akbar et al., (2011) pour le sésame du Pakistan, avec une corrélation positive entre le nombre de rameaux et le nombre de gousses par plante ($r=0,47$) et une corrélation négative entre le nombre de rameaux et le poids de mille graines ($r=-0,38$). Ces mêmes auteurs ont pu trouver que la hauteur de la plante est corrélée positivement avec le nombre de gousses par plante et le nombre de rameaux par plante.

Tableau 26 : Matrice de corrélation entre les caractéristiques agromorphologiques des accessions de sésame marocain.

	HTR	NRP	HPR	HPG	NGP	LAC	LOG	NGG	TCE	PMG	RGH	RGP	TRH
HTR	1												
NRP	-0,14***	1											
HPR	0,46***	-0,218***	1										
HPC	0,807***	0,01	0,55***	1									
NCP	0,04	0,29***	-0,36***	-0,106**	1								
LAC	-0,03	-0,02	0,003	-0,04	-0,03	1							
LOG	0,094*	-0,01	0,05	0,05	0,02	0,0005	1						
NGG	0,37***	-0,23***	0,18***	0,28***	-0,113**	-0,04	-0,22***	1					
TCE	0,098*	0,01	0,07	0,09	0,02	-0,02	0,117**	-0,112**	1				
PMG	0,64***	-0,28***	0,33***	0,518***	-0,09	-0,02	-0,128***	0,513** *	-0,06	1			
RGH	0,25***	-0,01	0,12**	0,216***	0,01	0,00	0,202***	-0,13***	0,133** *	0,01	1		
RGP	0,27***	0,21***	-0,18***	0,08	0,89***	-0,03	0,104*	0,0002	0,07	0,09	0,14***	1	
TRH	-0,02	-0,09	-0,07	-0,04	-0,07	0,002	-0,316***	0,38***	-0,13***	0,24***	-0,39***	-0,25***	1

- 1 HTR (cm) : hauteur de la plante, NRP : nombre de ramification, HPR (cm) : hauteur de la première ramification, HPG (cm) : hauteur de la première gousse, NPG : nombre de gousses par plante, LAG (cm) : largeur de la gousse, LOG(cm) : longueur de la gousse, NGG : nombre de graines par gousse, TCE(%) : taux de croissance, PMG : poids de milles graines (g), RGH (T/Ha) : rendement en graines par Ha, RGP (g) : rendement en graines par plante et TRH (%) : teneur en huile.
- 2 *, **, *** : effet significatif au seuil de 5%, 1% et 1%, respectivement, ns : effet non significatif.

VI. Diversité des accessions marocaines en comparaison avec les 12 matériels génétiques étrangers

L'analyse de la variance (Tableau 27) a montré qu'il y a des différences significatives entre les accessions du sésame marocain, et les matériels génétiques étrangers pour les caractères étudiés, sauf la longueur des gousses et le taux de croissance ($P < 0,01$). Les valeurs moyennes des caractères étudiés sont présentées dans le tableau 28.

Tableau 27 : Résultats de l'analyse de la variance (carré moyen et niveau de signification) de 33 accessions de sésame en comparaison avec les 12 matériels génétiques étrangers évalués à Afourar pendant 2014.

Source de variation	Accessions
HTR	353,89122 ***
NRP	74,335143 ***
HPR	577,95383 ***
HPG	1034,55775 ***
NPG	5000,9958 ***
LAG	0,00186619 ***
LOG	9892219,3 ns
NGG	175,940154 **
TCE	1,4468 ns
PMG	0,31550032 ***
RGH	0,90089984 ***
RGP	325,45703 ***
TRH	56,553852 ***

- 1 HTR (cm) : hauteur de la plante, NRP : nombre de ramification, HPR (cm) : hauteur de la première ramification, HPG (cm) : hauteur de la première gousse, NPC : nombre de gousses par plante, LAG (cm) : largeur de la gousse, LOG (cm) : longueur de la gousse, NGG : nombre de graines par gousse, TCE (%) : taux de croissance, PMG : poids de milles graines (g), RGH (T/Ha) : rendement en graines par Ha, RGP (g) : rendement en graines par plante et TRH (%) : teneur en huile.
- 2 *, **, *** : effet significatif au seuil de 5%, 1% et 1%, respectivement, ns : effet non significatif.

Les valeurs des caractères étudiés pour les 33 accessions du sésame marocain et les 12 matériels génétiques étrangers montrent que les accessions marocaines présentent les valeurs les plus élevées de la hauteur de la plante, le nombre de gousses par plante, la hauteur à la première ramification, le taux de croissance, le rendement en graines par plante et la teneur en huile (Tableau 28). Tandis que les matériels génétiques étrangers présentent les valeurs les plus élevées de la hauteur à la première gousse, de la taille des gousses, du nombre de graines par gousses, du nombre de ramifications, du PMG et du rendement total (Tableau 28).

Ainsi, la hauteur de la plante varie respectivement de 134,6 à 181,33 cm pour le matériel génétique étranger 42 et l'accession T avec une moyenne de 161,73 cm. Ces hauteurs sont comparables à celles trouvées par Abdou et al., (2015) pour le sésame nigérien (78-180 cm).

La hauteur à la première ramification varie de 0 cm pour les matériels génétiques étrangers 41, 42, 43, 46 et 47 à 41,1 cm pour l'accession D avec moyenne 27,31 cm tandis que la hauteur à la première capsule varie de 53,2 à 107,4 cm pour les matériels génétiques étrangers 50 et 48 avec une moyenne de 88,4 cm. Ces valeurs moyennes sont supérieures aux hauteurs trouvées par Furat et Uzun, (2010) (43 cm).

Le nombre de gousses par plante varie de 31,2 à 163,4 pour les accessions 42 et C' avec une moyenne de 79,6. Ce nombre est comparable au nombre (77 gousses par plante) rapporté par Pham et al., (2011) et inférieur au nombre de gousses par plante trouvés par Furat et Uzun, (2010) et qui est de 85,7.

La largeur des gousses varie de 0,59 à 0,69 cm pour les matériels génétiques étrangers 41 et 48 avec moyenne 0,65 cm, alors que la longueur des gousses varie de 2,4 à 4 cm pour l'accession J' et le matériel génétique étranger 43 avec une moyenne de 2,72 cm.

Le nombre de graines par gousse varie de 51,2 à 81,6 pour l'accession A et le matériel génétique étranger 50 avec un nombre moyen de 68,1. Ce dernier est inférieur au nombre de graines par gousse trouvé pour le sésame de la Turquie (75,3) (Furat et Uzun, 2010).

Le nombre de ramifications par plante varie de 0 pour les matériels génétiques étrangers 41, 42, 43, 46 et 47 à 14 pour le matériel génétique étranger 50 avec un nombre moyen de 8,83. Les matériels génétiques étrangers 41, 42, 46 et 47 sont donc non ramifiés.

Le taux de croissance varie de 0,69 à 2,68 pour le matériel étranger 38 et l'accession O avec une moyenne de 1,62.

Le PMG varie de 2,93 à 4,05 g pour les matériels génétiques étrangers 42 et 48 avec un poids moyen de 3,57 g. Ce poids moyen est supérieur aux PMG rapportés par Pham et al., (2011) (2,84 g) et par Akbar et al., (2011) (2,6).

Le rendement en graines par plante varie de 6,94 à 39,81 g pour le matériel étranger 42 et l'accession C'. Le rendement moyen en graine par plante de 20,45 g, est inférieur aux rendements en graines par plante trouvés par Pham et al., (2010) (32,3 g) et par Akbar et al., (2011) (32,4 g).

Le rendement en graines par hectare varie de 0,23 à 2,2 t/ha pour les matériels étrangers 40 et 41 avec un rendement moyen de 1,24 t/ha. Ce rendement est supérieur aux rendements trouvés par Furat et Uzun, (2010) et Abdou et al., (2015).

La teneur en huile varie respectivement de 42,2 à 55 % pour les accessions K' et V avec une teneur moyenne de 50,2 %.

Tableau 28 : Valeurs moyennes des caractères étudiés dans l'environnement 2 pour les 33 accessions marocaines et les 12 matériels génétiques étrangers

Accession	TCE	HTR	NRP	HPR	HPG	NGP	LAC	LOG	NGG	PMG	RG	RGP	TH
A	1,58	158,5	9,75	30,87	93,62	55,75	0,63	2,45	56,19	3,24	1,44	16,57	48,12
B	1,03	155,6	10,6	30,9	93,2	58,4	0,64	2,44	63,6	3,48	1,32	12,97	53,88
C	1,91	165,55	10,22	30,22	91,22	93,33	0,66	2,61	65,78	3,77	1,34	23,1	53,88
D	1,22	162,6	9,4	41,1	98,5	57,8	0,65	2,44	60	3,8	1,36	12,85	53,88
E	1,36	165,1	9,4	36,2	92,6	62	0,65	2,612	68,4	3,78	1,47	16,14	53,33
F	1,11	157,1	10,6	28,8	93,5	81,2	0,63	2,504	64,8	3,53	1,63	19,16	53,33
H	1,023	162	10,57	33	92,42	84	0,66	2,53	64,71	3,69	1,55	22,24	52,22
I	1,01	151,88	10,22	34,66	90,55	72,555	0,63	2,501	66	3,46	1,14	17,26	52,77
J	1,01	158,55	10	34,11	95,88	67,11	0,64	2,4	62,89	3,32	1,09	14,15	51,11
K	1,12	159,55	10,66	31,88	92,22	75,55	0,67	2,66	68,89	3,66	1,57	18,81	50,55
L	0,98	164,3	10,2	36,1	94,8	58,3	0,65	2,66	69,8	3,51	1,57	14,39	50,55
M	1,3	169,66	9,77	35,55	98,33	67,66	0,65	2,67	69,33	3,49	1,3	16	52,23
N	1,17	164,8	10	33,9	96,8	61,8	0,65	2,6	65,6	3,59	0,9	15,78	52,23
O	2,68	165,86	10	30,28	99,28	72	0,66	2,56	66,29	3,38	1,41	15,42	50,55
P	1,71	166,77	8,88	36,11	99,66	64,66	0,64	2,58	63,56	3,73	1,88	15,31	51,11
Q	1,55	167,55	11,33	32,66	102,66	80,88	0,64	2,58	59,4	3,31	1,59	23,07	47,14
R	1,38	170,88	10,44	34,55	99,44	60,55	0,64	2,58	67,11	3,72	1,57	15,88	52,22
S	1,58	180,8	9,8	30,5	90,6	74,4	0,65	2,69	66,6	3,75	1,46	18,3	52,78
T	1,73	181,33	10	34,55	101,77	89,55	0,65	2,65	61,56	3,43	1,53	24,73	47,14
U	1,51	163,88	10	33,77	97,66	60,88	0,65	2,62	61,49	3,23	1,25	19,14	46,64
V	1,18	169,33	10,44	29,88	105,33	104	0,65	3	69,11	3,77	1,55	27,85	54,99
A'	0,99	175,1	11	27,9	95,2	100,8	0,65	2,65	73,7	3,74	1,64	26,56	51,67
B'	0,91	169,62	12	26	92,12	131,5	0,66	2,65	67,5	3,5	1,17	30,3	53,88
C'	1,36	173,37	12	21,37	89,37	163,37	0,6	2,59	58,4	3,29	0,72	39,81	49,11
E'	0,88	166,3	10	29,7	88,2	91,2	0,65	2,77	69,9	3,67	0,88	24,13	53,33
F'	1,21	157,7	10	33,9	94,2	92,8	0,65	2,52	67,4	3,64	1,13	23,14	50,55
G'	0,99	162,7	10,2	30,3	89,8	96,8	0,64	2,62	66,2	3,67	0,87	25,08	53,88
H'	1,07	161	10	33,1	95,2	73,2	0,66	2,75	71	3,65	1,06	18,78	50
I'	1,28	170	10,4	34,3	92,7	91,8	0,64	2,59	67,4	3,57	1,4	21,75	50
J'	1,1	167,88	11,11	28	96,33	96,88	0,64	2,39	67,78	3,54	1,31	23,11	46,66
K'	1,12	165,77	12	27,22	87,88	113,11	0,66	2,57	66,78	3,64	1,06	27,83	42,22
L'	0,88	167,7	12,2	26	90,8	124,8	0,64	2,56	66,4	3,55	0,87	29,51	52,78
M'	1,42	170,11	11,11	33,77	99,88	74,22	0,65	2,51	65,11	3,65	1,68	16,15	51,11
38	0,69	136,8	8	21	69,2	46,4	0,65	3	71,2	3,72	1,64	16,25	50
40	1,11	154,25	7,33	29,33	70	102,5	0,61	3	75,5	3,48	0,23	26,6	47,7
41	1,09	142,4	0	0	72	42	0,59	3	67,6	3,16	2,2	9,22	46,4
42	1,26	134,6	0	0	67,2	31,2	0,66	3	74,8	2,93	1,1	6,94	43
43	1,17	162	0	0	61,8	64	0,61	4	79,2	3,55	0,97	18,36	47,6
44	0,97	174	1,6	7,2	60,8	112	0,64	3	81,6	3,6	0,88	32,71	50
45	1,23	137	8,4	31,8	75	85,2	0,69	3	72	3,72	0,77	22,58	51,2
46	1,14	161,6	0	0	70,2	55,2	0,65	3	72	3,6	1,52	14,35	45,2
47	1,43	148,2	0	0	56	64,4	0,64	3	73,2	3,56	0,7	20,57	49
48	1,8	171,6	6	30,2	107,4	58	0,69	3	74,8	4,05	0,95	17,29	46,7
49	1,65	138,4	8,4	30,4	76,2	74,4	0,66	3	74,2	3,99	0,97	22,02	46
50	1,11	145,2	14	23,4	53,2	90,4	0,66	3	81,6	3,83	0,43	27,99	48,5
Moyenne	1,26	161,73	8,83	27,31	88,38	79,61	0,646	2,72	68,09	3,57	1,24	20,45	50,17

HTR (cm) : hauteur de la plante, NRP : nombre de ramification, HPR (cm) : hauteur de la première ramification, HPG (cm) : hauteur de la première gousse, NPG : nombre de gousses par plante, LAG (cm) : largeur de la gousse, LOG (cm) : longueur de la gousse, NGG : nombre de graines par gousse, TCE (%) : taux de croissance, PMG : poids de milles graines (g), RGH (T/Ha) : rendement en graines par Ha, RGP (g) : rendement en graines par plante et TRH (%) : teneur en huile.

Conclusion

Les résultats de la caractérisation agromorphologique des accessions de sésame marocain montrent que la variabilité entre les accessions évaluées n'est observée que pour trois caractères mesurés, à savoir la hauteur à la première gousse, le nombre de graines par gousse et le poids de mille graines. Ainsi, la hauteur moyenne globale à la première gousse est de 71,82 cm, avec une variation respective de 65,43 à 77,30 cm pour les accessions K' et L. Le nombre moyen de graines par gousses est de 61,39 avec une variation de 56,75 à 64,78 pour les accessions A et A', respectivement. Le PMG moyen est de 3,20 g, avec une variation de 3,01 à 3,36 g pour les accessions C' et A'. Tandis que l'environnement a un effet très hautement significatif pour tous les paramètres étudiés à l'exception de la taille des capsules et la teneur en huile. Les valeurs moyennes des caractères étudiés montrent que l'environnement d'Afourar en 2014 est le plus favorable pour la majorité des caractères évalués. De même, l'année 2014 était plus favorable que l'année 2013 pour l'environnement Afourar. Ainsi, l'environnement Afourar en 2014 présente les valeurs les plus élevées de la hauteur de la plante (151,8 à 181,33 cm pour les accessions I et T avec une moyenne de 145,30 cm), de la hauteur de la première ramification (26 à 41,10 cm pour les accessions B' et D avec une moyenne de 31,85 cm), de la hauteur de la première gousse (87,88 à 165,33 cm pour les accessions K' et V avec une moyenne de 94,90 cm), de la largeur des gousses (0,62 à 0,66 cm pour les accessions I et K avec une moyenne de 0,64 cm) et la longueur des gousses (2,39 à 3 cm pour les accessions J' et V avec une moyenne de 2,59 cm), du nombre de graines par gousses (56,19 à 73,70 pour les accessions A et A' avec une moyenne de 65,71), du poids de mille graines (3,23 à 3,8 g pour les accessions U et D avec une moyenne de 3,56 g), du rendement en graines par plante (12,85 à 39,81 g pour les accessions D et C' avec une moyenne de 20,76 g) et du rendement en graines par hectare (0,72 à 1,88 t/ha pour les accessions C' et P avec un rendement moyen de 1,32 t/ha).

Sur la base des traits agromorphologiques, la comparaison entre les 33 accessions marocaines et les 12 matériels génétiques étrangers montre que les accessions marocaines présentent les valeurs les plus élevées de la hauteur de la plante, le nombre de capsules par plante, la hauteur à la première ramification, le taux de croissance, le rendement en graines par plante et la teneur en huile. Tandis que les matériels génétiques étrangers présentent les valeurs les plus élevées de la hauteur à la première capsule, de la taille des gousses, du nombre de graines par gousses, du nombre de ramifications, du PMG et du rendement total.

Chapitre III : Caractérisation biochimique des accessions de sésame marocain

I- Caractérisation biochimiques des 33 accessions de sésame du Maroc

I.1. Teneur en huile des 33 accessions de sésame

La teneur en huile est l'un des paramètres les plus importants à déterminer pour les graines oléagineuses.

L'analyse de variance a révélé des différences significatives entre les accessions pour la teneur en huile ($p < 0,05$). Le tableau 29 montre les teneurs en huile des 33 accessions déterminées par soxhlet et celles estimées par RMN. Ce paramètre a une valeur moyenne globale de 60 % et varie de 48 à 66 % pour les accessions E' et I respectivement, pour les valeurs déterminées par soxhlet, alors qu'il varie de 42,22 à 54,5 % pour les accessions K et A respectivement, estimé par RMN. Cette grande variation peut être attribuée soit à l'effet génotypique, à l'effet de l'environnement et ou de l'interaction de ces deux facteurs, En outre, des différences en ce qui concerne le temps de semis est observé. En effet, le semis de l'accession I est précoce par rapport au semis de l'accession E'. Il a été rapporté que la zone de culture de sésame a un effet sur la variabilité de la teneur en huile (Uzun et al., 2008). La variation de la teneur en huile reflète des différences dans les facteurs environnementaux qui influent sur la composition des graines, comme la disponibilité des précipitations et le régime d'irrigation, la température et les heures d'ensoleillement entre les années de culture. Dutta et al., (2000) et de Alpaslan et al., (2001) ont démontré que l'augmentation de la disponibilité de l'eau au cours du développement des gousses de sésame conduit à de forte teneur en huile. La haute teneur en huile ainsi que sa stabilité est un trait souhaitable dans la sélection pour améliorer les variétés du sésame. Les études antérieures dans différents pays ont rapporté des teneurs en huile allant de 34-60 % (Ashri, 1998), de 42-62 % (Abdullahi et al., 1991), de 43-54 % (Bahkali et al., 1998) et de 52-63 % (Nweke et al., 2011). La teneur en huile la plus élevée a été rapportée par Nweke et al., (2011) et Baydar et al., (1999) dans les germoplasms de sésame turc, avec une teneur de 63,25 %. Cependant, elle reste inférieure à la teneur en huile trouvée dans notre étude, qui est de 66,87 %. Parmi les 33 accessions évaluées, la teneur en huile de 31 accessions est supérieure à 55 % d'huile. Cela indique que les graines de sésame des accessions marocaines sont une excellente source d'huile et peuvent être utile pour des fins commerciales au Maroc ainsi que dans d'autres régions du monde partageant les mêmes conditions environnementales.

Tableau 29 : Teneur en huile des 33 accessions de sésame marocains déterminée par soxhlet et estimée par RMN

Accession	Teneur en huile par soxhlet (%)	Teneur en huile par RMN(%)
A	62,9	54,5
B	64,75	51,81
C	62,5	49,46
D	59,57	48,84
E	63,02	45,2
F	57,82	46,11
H	57,85	46,36
I	66,87	50,88
J	60,03	48,04
K	59,92	42,22
L	63,77	44,95
M	58,72	47,32
N	56,93	48,34
O	51,366	46,54
P	65,45	47,26
Q	62,51	45,68
R	57,97	44,36
S	60,18	45,9
T	60,92	47,29
U	64,85	48,73
V	59,13	48,13
A'	54,89	47,95
B'	50	46,51
C'	56,64	49,2
E'	48	49,43
F'	55,72	47,5
G'	63,28	46,95
H'	61,52	49,6
I'	63,11	50,28
J'	65	47,39
K'	61,55	46,86
L'	59,26	44,02
M'	55,84	45,7
Moyenne	60	47,55

I.3. Détermination des indices de qualité

Les paramètres de qualité utilisés régulièrement pour mesurer les propriétés physiques et chimiques des huiles comestibles sont la teneur en acide gras libre, l'indice de peroxyde, indice d'iode, indice de saponification et de coefficient d'extinction.

I.3.1. L'acidité

L'acidité libre des huiles provenant des accessions étudiées variait entre 0,11 et 0,68 % d'acide oléique pour les accessions V et O, respectivement (Tableau 30). Les différences observées entre les accessions étudiées étaient significatives ($p < 0,05$). Les huiles des accessions O et G' ont les valeurs d'acidité les plus élevées par rapport aux autres huiles, tandis que les huiles des accessions V et K' ont montré les valeurs d'acidité les plus faibles. Ainsi, les valeurs de l'acidité peuvent être influencées par les zones de culture comme signalé par Arslan et al., (2007). Les valeurs d'acidité obtenus sur l'huile de sésame d'accessions marocaines restent inférieures à celles trouvées par Ogbonna et Ukann., (2013) (0,25 à 1,41 % d'acide oléique), Borchani et al., (2010) (1,64 % d'acide oléique), Dim, (2013) (5,54 % d'acide oléique), et Weiss, (1983) (1,90 à 2,00 % d'acide oléique). La valeur maximale acceptable d'acidité pour l'huile de sésame selon le Codex Alimentarius est de 4 % d'acide oléique (Abayeh et al., 1998) et la valeur maximale telle que proposée par la FAO est de 3 % d'acide oléique. Des valeurs élevées de l'acidité sont souvent liées à une forte hydrolyse enzymatique des graines de sésame qui survient lors de la récolte, la manutention ou le traitement d'huile (Gharby et al., 2014).

I.3.2. Indice de saponification

L'indice de saponification varie significativement entre les accessions étudiées. Les valeurs trouvées varient de 82,75 à 182,33 mg de KOH / g d'huile, pour les accessions S et L', respectivement avec une moyenne de 148,73 mg de KOH/ g d'huile (Tableau 30). Ces valeurs restent légèrement inférieures à celles rapportées par Nzikou et al., (2009) (192 mg KOH / g d'huile) et Dim, (2013) (190,74 mg de KOH / g d'huile).

Tableau 30 : Valeurs moyennes et écart-types des indices de qualité de l'huile de sésame des 33 accessions marocaines

Accessions	Indice de saponification (mg de KOH / g d'huile)	Indice de peroxyde (meq O ₂ / kg d'huile)	Acidité (% d'acide oléique)	Indice d'iode (g de I ₂ / 100g d'huile)
A	119,68±0,81	3,5±0,5	0,15±0,01	102,5±4,88
B	140,35±0,17	3,12±0,20	0,16±0,01	112,26±4,88
C	148,85±2,62	2,33±0,57	0,3±0,03	131,78±4,88
D	147,28±0,03	2,17±0,28	0,17±0,0005	112,26±4,88
E	147,26±1,4	4,17±0,28	0,21±0,01	92,73±4,88
F	153,57±0,7	1,67±0,28	0,24±0,01	102,5±4,88
H	148,68±0,02	2,5±0,5	0,3±0,03	92,73±4,88
I	136,74±0,7	1,5±0,5	0,12±0,01	102,5±4,88
J	139,55±0,7	1,17±0,28	0,23±0,0002	102,5±4,88
K	149,17±0,71	2,83±0,28	0,22±0,01	122,02±4,88
L	136,04±1,4	1,25±0,25	0,25±0,02	112,26±4,88
M	153,57±0,7	1,25±0,25	0,2±0,02	112,26±4,88
N	141,65±1,4	2,25±0,25	0,27±0,01	88,35±0,5
O	166,29±2,01	1,75±0,25	0,68±0,0001	119,58±2,44
P	157,08±2,81	1,25±0,25	0,35±0,01	102,5±4,88
Q	165,5±2,8	1,25±0,25	0,27±0,01	102,5±4,88
R	148,67±2,8	2,17±0,28	0,17±0,0005	109,82±2,44
S	82,75±1,4	2,17±0,28	0,18±0,01	102,5±4,88
T	179,52±2,81	2,17±0,28	0,26±0,01	131,78±4,88
U	173,91±2,8	2,67±0,28	0,22±0,01	122,02±4,88
V	135,97±3,79	1,75±0,25	0,11±0,0001	161,18±4,76
A'	164,09±1,4	0,83±0,28	0,15±0,01	78,09±9,76
B'	158,48±1,4	1,17±0,28	0,25±0,0001	151,18±4,76
D'	131,84±2,81	1,67±0,28	0,52±0,01	141,54±4,88
E'	152,87±1,4	1,17±0,28	0,34±0,0003	170,83±4,88
F'	147,26±1,4	1,67±0,28	0,32±0,03	131,78±4,88
G'	145,86±2,8	1,75±0,25	0,62±0,0003	141,54±4,88
H'	152,87±1,4	1,25±0,25	0,17±0,0005	131,78±4,88
I'	143,06±2,8	1,17±0,28	0,2±0,02	82,97±4,88
J'	147,26±1,4	2,75±0,25	0,16±0,01	131,78±4,88
K'	151,47±2,81	1,75±0,25	0,11±0,0001	131,78±4,88
L'	182,33±2,81	2,17±0,28	0,21±0,01	102,5±4,88
M'	151,47±2,81	1,17±0,28	0,57±0,003	122,02±4,88
Moyenne	148,51	1,92	0,26	116,85

I.3.3. Indice de peroxyde

L'indice de peroxyde est une indication du rancissement, Il est le plus important indicateur de la stabilité des huiles comestibles (Lee et al., 2008). Par conséquent, une valeur élevée de peroxyde indique une faible résistance de l'huile à la peroxydation pendant le stockage. La différence entre les accessions marocains était significative ($p < 0,05$). Les valeurs de l'indice de peroxyde varient de 0,75 à 4,17 meq O_2 / kg d'huile pour les accessions C' et E respectivement (Tableau 30). Ces valeurs obtenus sont inférieure à la valeur maximale qui est de 10 meq O_2 / kg, et est acceptable par la Commission du Codex Alimentarius (Abayeh et al., 1998). Ces valeurs sont en concordance avec celles rapporté par Ogbonna et Ukann, (2013), Dim, (2013) et par Gharby et al., (2015) pour le Maroc ($2,7 \pm 0,5$), Soudan ($6,9 \pm 0,16$), le Congo (0,06) et le Nigeria ($3,95 \pm 2,1$). Toutefois, elles restent plus élevées que celles trouvées par Borchani et al., (2010). Ces résultats révèlent que la stabilité oxydative des huiles des accessions de sésame étudiées est relativement bonne du fait de la présence d'antioxydants naturels (sésamol, sésamoline et sésamine, tocophérols).

I.3.4. Indice d'iode

Un degré élevé d'instauration d'une huile donnée conduit à un indice d'iode élevé. Les valeurs de l'indice d'iode des accessions étudiées varient de 78,10 à 170,83 g de I_2 / 100 g d'huile avec une moyenne de 115,34 g de I_2 / 100 g d'huile (Tableau 30). Ces résultats sont en concordance avec ceux trouvés par Ogbonna et Ukann, (2013) ; Dim, (2013) ; Borchani et al., (2010); Nzikou et al., (2009) et Weiss, (1983). Les valeurs d'indice d'iode trouvées sont élevées pour la totalité des accessions, ce qui indique la présence d'une forte concentration des acides gras insaturé. Des études ont signalées que les valeurs de l'indice d'iode varient largement au sein des génotypes, ainsi Seegeler, (1983) a rapporté des valeurs inférieures allant de 117,2 g à 116,5 g de I_2 / 100 g d'huile dans de nombreuses variétés de sésame indiens et éthiopiens, alors que Weiss, (1983) a rapporté des valeurs plus élevées (163 et 161 g de I_2 / 100g d'huile).

I.3.5. Coefficient d'extinction

Les hydro-péroxydes et les diènes conjugués reflètent le degré de formation de produits d'oxydation des lipides (Guille'n et Ruiz, 2004). Une concentration élevée de diènes conjugués et des triènes se traduit par des valeurs élevées de K232 et K270. Le tableau 31 illustre les valeurs des coefficients d'extinction à 232 nm et 270 nm pour les huiles de sésame des différentes accessions étudiées. Le coefficient d'extinction à 232 nm (K232), qui mesure la quantité de diène conjugués, varie de 2,68 et 6,49 pour les accessions L' et A avec une

valeur moyenne de 4,01. Les composés secondaires d'oxydation des huiles évaluées en mesurant le coefficient d'extinction à 270 nm (K270) ont enregistré des valeurs allant de 0,25 à 2,18 pour les accessions F et U avec une extinction moyenne de 1,10. Ces valeurs sont conformes à celles rapportés par Elleuch et al., (2007) et près de celles trouvés par Abdalla et al., (2014) pour l'huile d'olive (de 2,86 à 3,45 pour le K232 et de 0,32 à 0,62 pour le K270), et supérieur à celles rapportés par Gharby et al., (2011) pour l'huile d'argan (K232 de 1,02 à 1,49 et K270 de 0,18 à 0,25).

Tableau 31 : Coefficient d'extinction à 232 nm et à 270 nm des huiles de sésame de 33 accessions Marocaines

Accessions	K232 (232nm)	K270 (270nm)	ΔK
A	6,49	0,89	-0,031
B	6,49	0,78	-0,025
C	6,49	0,74	-0,015
D	6,49	0,78	-0,027
E	6,49	0,80	-0,019
F	0,996	0,25	-0,006
H	6,49	0,93	-0,034
I	6,49	0,82	-0,020
J	4,03	0,62	-0,022
K	6,49	1,06	-0,034
L	6,49	1,29	0,036
M	3,32	1,05	-0,024
N	3,08	0,83	-0,026
O	3,25	0,98	-0,021
P	3,17	0,89	-0,026
Q	2,87	0,86	-0,020
R	3,40	1,94	-0,020
S	3,40	2,04	-0,017
T	3,44	1,81	-0,017
U	3,54	2,18	-0,0233
V	3,53	2,06	-0,0255
A'	3,45	2,12	-0,026
B'	3,54	2,13	-0,023
C'	3,04	0,88	-0,030
E'	2,76	0,72	-0,028
F'	2,96	0,89	-0,028
G'	2,71	0,72	-0,019
H'	2,85	0,83	-0,027
I'	2,96	0,91	-0,030
J'	2,81	0,82	-0,027
K'	2,92	0,90	-0,024
L'	2,68	0,79	-0,024
M'	3,31	1,16	-0,037
Moyenne	4,01	1,10	

I.4. Détermination de la teneur en Chlorophylle et en caroténoïdes

La chlorophylle et les caroténoïdes sont des paramètres de qualité importants de la couleur de l'huile qui est un attribut de base pour évaluer la qualité de l'huile. Ils dépendent de différents facteurs, tels que la maturité du fruit, des conditions climatiques et la nature du sol, ainsi que les procédures d'extraction. Les huiles des accessions marocaines présentent une quantité

notable en caroténoïdes allant de 0,23 à 3,24 mg de lutéine / kg d'huile pour les accessions V et B respectivement avec une teneur moyenne de 1,44 mg de lutéine / kg d'huile (Figure 26), alors que la chlorophylle, varie respectivement de 0,23 à 7,57 mg de phéophytine / kg d'huile pour les accessions E' et C avec une moyenne de 2,80 mg de phéophytine/ kg d'huile (Figure 26). Ces deux composés sont responsables de la couleur jaune de l'huile de sésame. Les valeurs obtenues sont supérieures à celles rapportés par Borchani et al., (2010) pour l'huile de sésame brute (0,04 mg / kg d'huile de chlorophylle et 2,62 mg / kg d'huile de caroténoïdes). La teneur en chlorophylle moyenne enregistrée dans les accessions marocaines de sésame a été trouvée à être élevée par rapport à d'autres huiles végétales. Le contenu de la chlorophylle du tournesol et du palmier dattier sont 0,99 et 2,18 mg / kg d'huile, respectivement (Premović et al., 2010, Herchi et al., 2014).

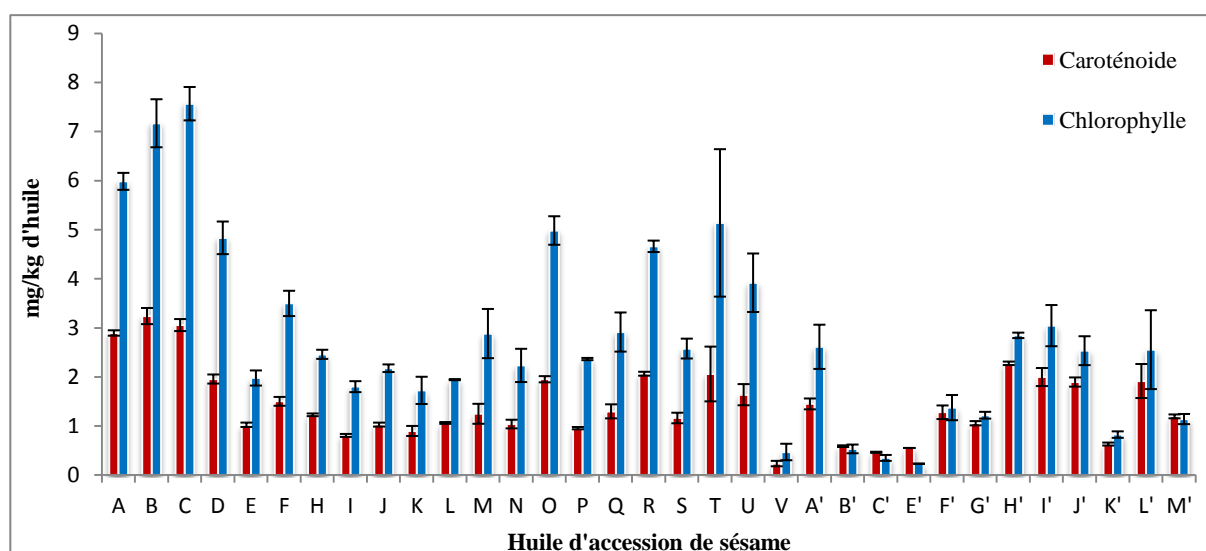


Figure 26 : Teneur en chlorophylle et en caroténoïdes des huiles de 33 accessions de sésame au Maroc.

I.5. Teneur en polyphénols totaux et activité antioxydante

La teneur en polyphénols totaux de l'huile de différentes accessions de sésame évaluées varie de 46,29 à 60,12 mg eq d'acide gallique/ Kg d'huile (Figure 27). La plus haute teneur en polyphénols totaux a été enregistrée chez les accessions B' et H' (60,12 et 60,08 mg eq d'acide gallique / Kg d'huile). L'huile extraite de de l'accession J a enregistré le contenu polyphénolique le plus bas (46,29 mg eq d'acide gallique / kg d'huile). Cette différence peut être due aux techniques d'extraction de l'huile, aux conditions environnementales et écologiques de la zone de la culture (Elleuch et al., 2007). Ces valeurs sont plus élevés que

celles trouvés par Elleuch et al., (2007) (23mg eq d'acide gallique / kg) et par Borchani et al., (2010) (14,21 mg eq d'acide gallique / Kg). Ainsi, l'huile de sésame contient le contenu phénolique total le plus élevé par rapport à d'autres huiles végétales couramment disponibles (Aleksander et al., 2008).

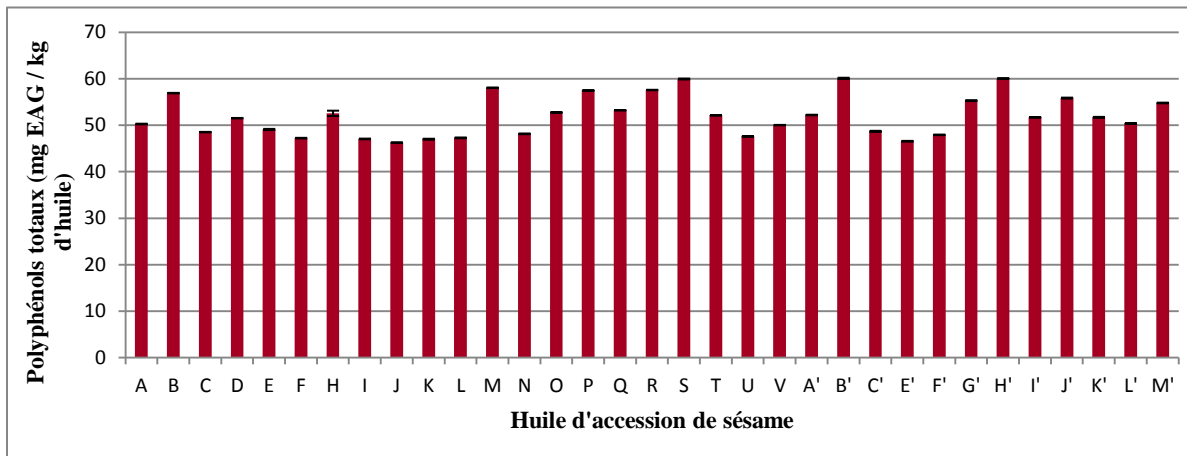


Figure 27 : Teneur en polyphénols totaux des huiles des 33 accessions de sésame au Maroc

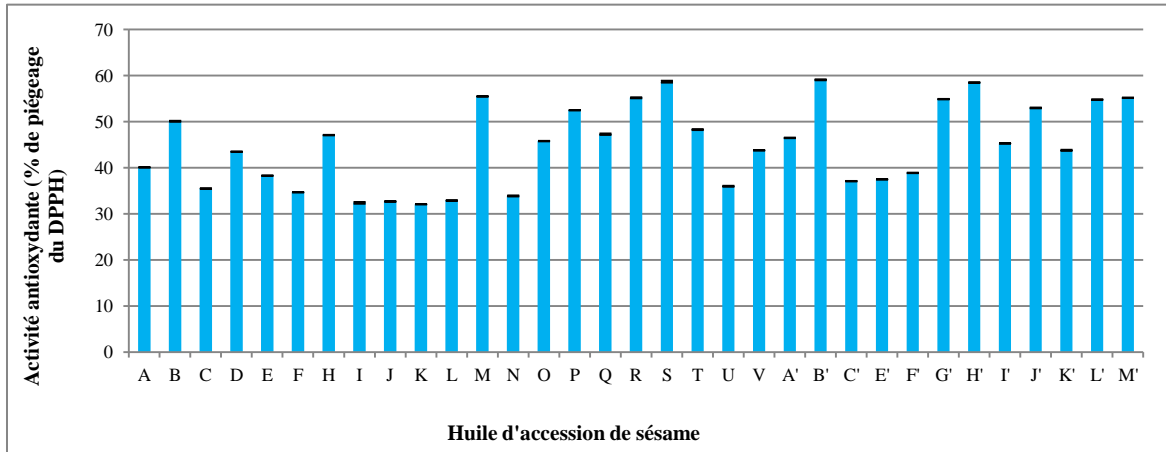


Figure 28 : Activité antioxydante des huiles des 33 accessions de sésame au Maroc déterminée par la méthode DPPH

Le pourcentage de piégeage du DPPH par les antioxydants contenus dans l'huile de sésame des accessions étudiées est représenté sur la figure 28. Tous les extraits d'huile des différentes accessions ont été caractérisés par des différences significatives ($p < 0,05$) dans leur activité antioxydante mesurée selon la méthode DPPH. L'activité antioxydante la plus élevée (59 %) a

été obtenu à partir de l'huile de sésame de l'accession B' suivie par les accessions S et H' (plus de 58 % de piégeage du DPPH•). Ces mêmes accessions ont présenté la plus forte teneur en polyphénols totaux. Les huiles des accessions K, I et J présentent l'activité antioxydante la plus faible (environ 32 % de réduction du DPPH•) et elles avaient les plus basses teneurs en polyphénols. Donc, l'activité antioxydante peut être attribuée à des composés phénoliques présents dans l'huile. Ainsi, une corrélation hautement significative se trouve entre les teneurs en polyphénols totaux et l'activité antioxydante dans les extraits d'huiles étudiés. Dans notre étude, le coefficient de corrélation entre les teneurs en polyphénols totaux et l'activité antioxydante est de 0,944 ($y = 1,945x - 57,33$). Les valeurs trouvées dans la présente recherche sont conformes à celles rapportées précédemment par Bopitiya et Madhujith, (2013), qui ont évalué l'activité antioxydante de l'huile de graines de sésame du Sri Lanka (48 %). En comparaison avec les autres huiles (23,8 % pour l'huile de tournesol, 11% pour l'huile de maïs, 51 % pour l'huile de colza et 17 % pour l'huile de soja (Siger et al., 2008), les valeurs du pourcentage de piégeage du DPPH* par les antioxydants de l'huile de sésame sont plus élevées (32- 59%) indiquant, que le sésame est caractérisé par une activité antioxydante plus intéressante que d'autres cultures oléagineuses. Les accessions marocaines évaluées sont très promotrices pour leur grand niveau d'activité antioxydant. Ainsi, leurs huiles seraient très stables et auront une longue durée de vie. Elles peuvent être considérées comme une bonne source alimentaire d'antioxydants naturels et peuvent également être mélangé avec des huiles comestibles moins stables pour améliorer leur stabilité au cours de la conservation, la cuisson et le chauffage. D'autre part, elles peuvent être utilisées dans la sélection pour améliorer la qualité d'accessions productives de semence au Maroc ainsi que dans d'autres pays du monde. Comme signalé dans des études précédentes, une meilleure compréhension des composants nutritionnels des graines de sésame de différentes couleurs, peut fournir des informations pour le développement de nouveaux génotypes (Kim et al., 2014). Il est bien connu que la composition bioactive ainsi que les propriétés antioxydantes présentent des différences remarquables selon la couleur des téguments des semences des cultures et des plantes comestibles. Chang et al., (2002) ont signalé qu'une corrélation existe entre la couleur du tégument des graines de sésame et leurs activités antioxydantes. Notamment, les graines de sésame noir et brun possèdent d'excellentes capacités d'antioxydantes (Xu et al., 2005).

I.6. Composition en acides gras des huiles de sésame des différentes accessions étudiées

Le tableau 32 montre le profil des acides gras de 33 accessions de sésame. En général, l'huile de graines de sésame contient des acides gras essentiellement insaturés et des quantités

importantes d'acides gras saturés. L'oléique (18: 1) et linoléique (18: 2) sont les principaux acides gras de l'huile de sésame et ils sont présent en grande quantité dans l'huile de toutes les accessions étudiées. Le pourcentage de l'acide oléique des accessions marocaines varie de 35,67 à 40,19 % pour les accessions C et A', avec une valeur moyenne de 38,45 %, alors que l'acide linoléique présente des valeurs allant de 38,99 à 44,91% pour les accessions A' et C, avec une teneur moyenne de 41,48 (Tableau 32). Cependant, les teneurs en acides α -linoléique (18: 3) et éicosénoïque (20: 1) sont très faible dans tous les accessions testées (0,42 à 0,65 % pour les accessions F et C et de 0 à 0,47% pour les accessions C et S, respectivement) (Tableau 32). La plus forte teneur en acide oléique est trouvée pour l'huile de l'accession A', tandis que la plus petite valeur est observée pour l'accession (C). Inversement, l'accession C présente les teneurs les plus élevées d'acide linoléique et de l'acide α -linoléique (44,91 et 0,65 %, respectivement).

L'acide palmitique et l'acide stéarique sont les acides gras saturés de l'huile de sésame avec une teneur moyenne de 9,34 % et 8,15 % respectivement. La teneur en acide palmitique varie de 8,65 à 10,6 % pour les accessions J et V, respectivement. La teneur en acide stéarique varie de 7,27 à 8,96 % pour les accessions I et A', respectivement (Tableau 32). L'acide arachidique, eicosénoïque et béhénique sont des constituants mineurs de l'huile de sésame, avec une valeur moyenne de 1,17, 0,38 et 0,25 % respectivement. Il est bien connu que, pour chaque espèce d'oléagineux, le profil en acides gras est génotype dépendant. En outre, il a été démontré que les acides gras insaturés sont très influencés par les conditions environnementales, principalement la température de l'air pendant la fructification et la biosynthèse de l'huile. L'amplitude des températures maximales et minimales ainsi que la durée d'exposition des plantes à ces températures, pendant la fructification affectent la composition en acides gras (Deng et Scarth, 1998).

Nous avons observé que les teneurs en acide oléique sont inférieures aux teneurs en acide linoléique pour la plupart des accessions. Cependant, dans quelques accessions tels que A, C', K' et H, la teneur en acide oléique et la teneur en acide linoléique sont très proches et avec cette caractéristique l'huile de sésame semble être différente des autres oléagineux (Tableau 34). D'autre part, pour la plupart des accessions étudiées, le total de ces deux acides gras insaturés représente plus de 80 % de la composition totale en acides gras.

Tableau 32 : Composition en acides gras des 33 accessions de sésame de la zone Tadla du Maroc

Accession	Acide Palmitique (%)	Acide Stéarique (%)	Acide Oléique (%)	Acide Linoléique (%)	Acide Linoléique (%)	Acide Arachidique (%)	Acide Eicosénoïque (%)	Acide Béhénique (%)
A	9,39	8,3	39,21	40,59	0,47	1,18	0,39	0,28
B	10,34	8,1	37,94	40,67	0,49	1,11	0,4	0,3
C	9,81	7,47	35,67	44,91	0,65	0,92	0	0
D	10,03	8,63	37,49	41,61	0,46	1,13	0,41	0,25
E	9,24	7,41	39,99	41,37	0,44	0,99	0,36	0,21
F	9,36	8,09	38,63	41,83	0,42	1,08	0,35	0,24
H	9,41	7,81	39,82	40,86	0,42	1,07	0,37	0,23
I	9,32	7,27	37,24	44,11	0,43	1,03	0,35	0,24
J	8,65	8,28	38,31	42,53	0,46	1,16	0,36	0,25
K	8,98	8,51	38,9	41,43	0,42	1,16	0,34	0,26
L	8,68	7,96	39,85	41,72	0,43	1,01	0,34	0
M	9,12	7,71	39,07	41,5	0,52	1,24	0,4	0,25
N	9,28	7,61	37,36	43,06	0,59	1,22	0,43	0,26
O	8,67	8,17	38,07	42,46	0,6	1,32	0,41	0,3
P	9,08	7,75	37,08	43,74	0,56	1,18	0,39	0,23
Q	9,11	7,99	37,04	43,41	0,55	1,25	0,39	0,26
R	9,1	8,06	38,93	41,53	0,51	1,22	0,41	0,24
S	8,93	8,22	37,94	41,92	0,62	1,39	0,47	0,31
T	9,54	7,92	37,31	42,73	0,58	1,24	0,42	0,26
U	8,67	8,19	39,57	41,06	0,5	1,3	0,43	0,27
V	10,6	8,34	38,33	40,33	0,45	1,1	0,37	0,28
A'	9,5	8,96	40,19	38,99	0,5	1,21	0,38	0,27
B'	9,38	8,57	37,15	41,83	0,58	1,28	0,42	0,35
C'	9,7	8,36	39,12	40,35	0,5	1,26	0,41	0,3
E'	9,46	8,59	38,62	40,79	0,52	1,16	0,37	0,27
F'	9,58	8,44	38,3	40,6	0,52	1,22	0,4	0,33
G'	9,11	8,44	39,18	40,72	0,5	1,19	0,37	0,31
H'	9,63	7,8	38,82	40,98	0,48	1,04	0,37	0,31
I'	9,51	8,2	37,35	42,26	0,5	1,13	0,38	0,28
J'	9,48	8,16	37,8	42,03	0,52	1,15	0,37	0,29
K'	9,67	8,44	39,02	40,35	0,51	1,16	0,4	0,28
L'	9,61	8,51	38,82	40,64	0,53	1,2	0,42	0,28
M'	8,93	8,22	37,94	41,92	0,62	1,39	0,47	0,31
Moyenne	9,34	8,15	38,45	41,48	0,51	1,17	0,38	0,25

Pour une meilleure classification de la composition en acides gras des 33 accessions marocaines, une comparaison avec les profils en acides gras du sésame de différents pays du monde a été élaborée (Tableau 33). Les profils en acide gras des accessions étudiées concordent avec ceux du sésame décrits dans la littérature (Ashri, (1998) ; Weiss, (1983) ;

Were et al., (2006) ; Yermanos et al., (1972)). La teneur en acide palmitique est similaire à celle de la collection turque et celle de la collection internationale, tandis que la teneur en acide stéarique est plus élevée que celle trouvée dans la collection du monde, la collection turque, la collection indienne et la collection du Soudan (Tableau 33). Les proportions des acides oléique et linoléique sont révélées être similaires à celles rapportées pour la collection turque et inférieures à celles de la collection du monde. Inversement à notre conclusion, pour les collections indiennes et du Soudan, la teneur en acide oléique est supérieure à la teneur en acide linoléique.

L'huile de sésame marocaine peut être classée dans le groupe standard d'acides oléique-linoléique caractérisé par des teneurs élevées en acides oléique et en acides linoléiques. Cependant, comme cette huile contient une concentration plus élevée de l'acide stéarique, elle pourrait être considérée comme une source de teneur élevée en acide stéarique. Il est indiqué que l'acide stéarique était l'unique parmi les acides gras saturés (AGS) dans l'approvisionnement alimentaire (Kris-Etherton, 2006 ; Pearson, 1994). Contrairement à d'autres prédominances d'acides gras saturés (acides palmitique, myristique et laurique), qui augmentent le taux du cholestérol dans le sang, l'acide stéarique a un effet neutre sur le cholestérol total et le cholestérol LDL contenu dans le sang (Kris-Etherton, 2006 ; Mensink, 2005). Les huiles ayant une teneur accrue en acide stéarique est conçue pour permettre la production de matières grasses solides, sans la nécessité d'hydrogénation (Liu et al., 2002). Dans ce contexte, les huiles des accessions du sésame étudiées peuvent être intéressantes pour l'industrie alimentaire.

En comparaison avec les profils en acides gras d'autres régions dans le monde (Tableau 33), nous constatons que, les accessions étudiées sont caractérisées par une teneur accrue en acide stéarique et pourraient donc être utilisées comme un marqueur de l'authenticité des accessions du sésame marocain de la zone de Tadla au sein des accessions provenant d'autres régions du Maroc et d'autres zones du monde.

Tableau 33 : Composition en acides gras des accessions du sésame cultivées dans la zone Tadla au Maroc par rapport aux autres collections du monde

Constituant	Accessions marocaines	Collection Turque (%) ^a	Collection du Soudan(%) ^b	Collection Indienne (%) ^c	Collection mondiale(%) ^d
Acide Palmitique	8,65-10,34	8,00-10,30	12,96	10-22	8,30-10,90
Acide Stéarique	7,27-8,59	2,07-4,80	5,76	5-10	3,40-6,00
Acide Arachidique	0,92-1,39	0,01-0,31	0,53	-	-
Acide Béhenique	0-0,35	-	-	-	-
Acide Oléique	35,67-39,99	29,30-41,40	41,68	38 -50	32,70-53,90
Acide Linoléique	40,59-44,91	40,70-49,30	38,29	18-43	39,30-59,00
Acide Linoléique	0,42-0,65	0,06-0,75	0,48	≥1	-
Acide Eicosénoïque	0,34-0,47	-	0,15	-	-

a: Uzun et al., (2008), b: Borchani et al., (2010), c: Mondal et al., (2010), et d: Yermanos et al., (1972).

Les variations en acides gras saturés (AGS), acides gras insaturés (AGI), acides gras monoinsaturés (AGMI) et en acides gras polyinsaturés (AGPI) sont présentées dans le tableau 34, avec des teneurs moyennes de 18,95, 80,91, 38,77 et 42,13 %, respectivement. L'accession L présente la plus haute teneur en AGI (82,34 %) et la plus basse teneur en AGS (17,65 %). Une teneur élevée en AGI augmente la qualité de l'huile. La plus haute teneur en AGPI (45,56 %) est enregistrée pour l'accession C. Les AGPI sont considérés comme essentiels et ils doivent être apportés par l'alimentation quotidienne car l'organisme humain ne peut pas les synthétiser (Gunstone, 1992). En outre, des huiles riches en AGPI sont utilisées dans les peintures ainsi que dans les encres d'impression, qui sont des applications industrielles avec un marché en croissance (Van De Mark et Sandefur, 2005). Les huiles particulièrement riches en acide linoléique sont utilisés comme matière première dans la fabrication de l'acide linoléique conjugué (Ma et al., 1999), un élément nutritif thérapeutique prometteur pour ses propriétés antioxydantes et anti-tumorales (Belury, 2002). Cet acide gras a aussi d'autres applications importantes comme composante des produits de soins de la peau (Darmstadt et al., 2002).

I.7. Détermination des Ratios de désaturation des acides gras

Les valeurs du ratio de dé-saturation oléique (RDO) et le ratio de dé-saturation linoléique (RDL) sont présentées dans le tableau 34. La valeur moyenne du RDO (0,52) est très élevée en comparaison avec celle de RDL (0,012).

Tableau 34 : AGS, AGI, AGMI, AGPI, RDO et RDL dans l'huile de graine de 33 accessions de sésame marocain provenant de divers endroits de la zone de Tadla.

Accession	AGS	AGI	AGMI	AGPI	RDO	RDL	C 18 :1/C18 :2	AGPI/AGS
A	19,15	80,66	39,6	41,06	0,509	0,011	0,96	2,14
B	19,85	79,5	38,34	41,16	0,518	0,012	0,93	2,07
C	18,43	81,57	36,01	45,56	0,534	0,016	0,79	2,47
D	20,04	79,97	37,90	42,07	0,529	0,011	0,90	2,09
E	17,85	82,16	40,35	41,81	0,507	0,011	0,96	2,34
F	18,77	81,23	38,98	42,25	0,522	0,010	0,92	2,25
H	18,52	81,47	40,19	41,28	0,509	0,010	0,97	2,23
I	17,86	82,13	37,59	44,54	0,529	0,01	0,84	2,49
J	18,34	81,66	38,67	42,99	0,523	0,011	0,90	2,34
K	18,91	81,09	39,24	41,85	0,518	0,010	0,94	2,21
L	17,65	82,34	40,19	42,15	0,514	0,01	0,95	2,38
M	18,32	81,49	39,47	42,02	0,518	0,012	0,94	2,29
N	18,37	81,44	37,79	43,65	0,539	0,014	0,86	2,37
O	18,46	81,54	38,48	43,06	0,531	0,014	0,89	2,33
P	18,24	81,77	37,47	44,30	0,544	0,013	0,85	2,43
Q	18,61	81,39	37,43	43,96	0,543	0,013	0,85	2,36
R	18,62	81,38	39,34	42,04	0,519	0,012	0,94	2,26
S	18,85	80,95	38,41	42,54	0,526	0,015	0,90	2,25
T	18,96	81,04	37,73	43,31	0,533	0,013	0,87	2,28
U	18,43	81,56	40,00	41,56	0,512	0,012	0,96	2,25
V	20,32	79,48	38,70	40,78	0,515	0,011	0,95	2,00
A'	19,94	80,06	40,57	39,49	0,496	0,013	1,03	1,98
B'	19,58	79,98	37,57	42,41	0,535	0,013	0,88	2,16
C'	19,62	80,38	39,53	40,85	0,511	0,012	0,97	2,08
E'	19,48	80,30	38,99	41,31	0,517	0,013	0,95	2,12
F'	19,57	79,82	38,70	41,12	0,518	0,013	0,94	2,10
G'	19,05	80,77	39,55	41,22	0,513	0,012	0,96	2,16
H'	18,78	80,65	39,19	41,46	0,532	0,011	0,94	2,21
I'	19,12	80,49	37,73	42,76	0,534	0,012	0,88	2,24
J'	19,08	80,72	38,17	42,55	0,530	0,012	0,89	2,23
K'	19,55	80,28	39,42	40,86	0,512	0,012	0,97	2,09
L'	19,60	80,41	39,24	41,17	0,515	0,013	0,95	2,10
M'	19,48	80,3	38,99	41,31	0,539	0,011	0,90	2,12
Moyenne	18,95	80,91	38,77	42,13	0,52	0,012	0,92	2,22

Ces valeurs expliquent la teneur élevée observée de l'acide linoléique et la faible teneur observée de l'acide linoléique dans la présente étude (Tableau 34). La valeur la plus élevée du RDL (0,016) est observée dans l'accession C, ce qui explique sa teneur élevée en acide linoléique (Tableau 32). Des valeurs moyennes relativement élevées du RDO et RDL expliquent les taux élevés en acide linoléique (Velasco et al., 1998). En outre, les valeurs élevées du RDO impliquent que la voie de biosynthèse a été efficace dans la formation d'acides gras polyinsaturés (18: 2 et 18: 3) à partir de dé-saturation des acides gras monoinsaturés (18: 1). Cependant, les faibles valeurs de RDL indiquent que cette voie était moins efficace dans la formation de l'acide linoléique à partir de la dé-saturation de l'acide linoléique. Par conséquent, le contenu en acide linoléique est réduit alors que le taux de l'acide linoléique augmente pour atteindre une concentration plus élevée que celle de l'acide oléique. De toute façon, l'acide oléique et l'acide linoléique sont les principaux composants de l'huile de sésame marocain. D'autre part, le ratio moyen entre les AGPI et AGS est de 2,22, valeur inférieure aux valeurs trouvées dans les études précédentes en Iran : 3,03 (Tavakoli et al., 2013) et 3,18 (Sharif et al., 2009). La teneur en acides gras saturés SFA est plus élevée dans la collection marocaine en raison de la teneur en acide stéarique.

II. Effet de l'environnement et de l'année sur les caractéristiques biochimiques des 33 accessions du sésame marocain

Les graines des récoltes des trois environnements, Afourar 2013, Afourar 2014 et Ain Taoujdate 2014 ont fait l'objet d'analyses de la teneur en huile, des coefficients d'extinction, de la teneur en caroténoïdes et en chlorophylle, de la teneur en polyphénols totaux et de l'activité antioxydante.

II.1. Teneur en huile

La teneur en huile des graines ne constitue pas un critère de détermination de la qualité de l'huile, mais elle est surtout un critère quantitatif à envisager lors d'une sélection. Les teneurs en huile exprimée en pourcentage de matière sèche pour les graines récoltées des trois environnements sont présentées dans le tableau 35.

La teneur en huile des graines des accessions du sésame récoltées dans l'environnement 1 varient de 49,20 à 57,92 % pour les accessions A et B' respectivement avec une valeur moyenne de 53,35 %. Pour les graines des accessions de sésames récoltées dans l'environnement 2, les teneurs en huile, présentant une valeur moyenne de 51,95 %, oscillent

de 42,22 à 55 % pour les accessions K' et C' respectivement. Alors que les teneurs en huile trouvées pour les graines d'accessions de sésame dans l'environnement 3 varient de 47,78 à 57 % pour les accessions C et Q respectivement. Les graines des accessions récoltées dans l'environnement 3 présentent une teneur moyenne en huile de 51,79 %.

Tableau 35 : Teneurs en huile des 33 accessions de sésame marocain évaluées dans trois environnements différents

Accession	Environnement 1 Afourar 2013	Environnement 2 Afourar 2014	Environnement 3 Ain Taoujdate 2014
A	49,20	53,89	49,44
B	52,00	53,89	50,56
C	52,40	53,89	47,78
D	52,80	53,89	50,00
E	52,80	53,33	50,00
F	54,00	53,33	54,44
H	53,48	52,22	51,11
I	55,60	52,78	52,22
J	54,00	51,11	51,67
K	55,60	50,56	52,22
L	54,40	50,56	52,78
M	54,00	52,22	50,00
N	54,80	52,22	51,11
O	54,40	50,56	53,89
P	50,40	51,11	53,33
Q	51,76	52,78	57,00
R	54,40	52,22	52,00
S	55,24	52,78	50,00
T	50,40	52,78	56,11
U	52,20	52,22	52,22
V	51,60	55,00	52,22
A'	55,20	51,67	51,11
B'	57,92	53,89	51,67
C'	54,00	55,00	54,44
E'	54,80	53,33	51,11
F'	52,40	50,56	50,56
G'	54,40	53,89	52,22
H'	52,40	50,00	50,00
I'	50,68	50,00	53,89
J'	49,72	46,67	48,89
K'	57,88	42,22	51,11
L'	52,80	52,78	52,22
M'	52,72	51,11	51,67
Moyenne	53,35	51,95	51,79

Les accessions récoltées des trois environnements présentent des teneurs moyennes en huiles supérieures à 51 %. La teneur en huile pour la même accession est variable dans les trois environnements et qui est tributaire probablement à l'effet de l'environnement.

II.2. Analyse spectrophotométrique dans l'ultraviolet

Les valeurs de l'IP ≤ 20 meq O₂/Kg d'huile ne signifient pas toujours l'absence du phénomène d'oxydation. Le recours à la détermination des coefficients d'extinction, K₂₃₂, K₂₇₀, renseigne sur la présence ou l'absence de produits d'oxydation secondaire dans les huiles. Les hydroperoxydes résultant des premiers stades de l'oxydation absorbent à 232 nm, alors que les produits issue de l'oxydation secondaires tels que les cétones insaturées-dicétones absorbent au voisinage de 270 nm (Ollé, 2002).

Les résultats de la mesure de l'absorbance en UV à 232 et à 270 nm sont présentés dans la figure 28. L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative entre les coefficients d'extinction des accessions et ce, pour les trois environnements. Les résultats d'absorbance en UV (Figure 29) montrent que les valeurs de K₂₃₂ varient significativement de 2,49 à 2,71, de 1,71 à 3,23 et de 1,89 à 3,67 pour l'environnement 1, 2 et 3 respectivement. La mesure de l'extinction à 270 nm (K₂₇₀) montre les valeurs oscillent de 0,17 à 0,67 pour l'environnement 1, de 0,45 à 0,78 pour l'environnement 2 et de 0,46 à 1,27 pour l'environnement 3. La comparaison des valeurs moyennes des absorbances en UV des trois environnements avec les 33 accessions de départ montrent que les valeurs trouvées pour les trois environnements sont inférieures à celle trouvées pour les accessions de départ. Suite aux résultats trouvés, nous constatons que les coefficients d'extinctions spécifiques à 270 nm et à 232 nm des huiles étudiées pour les trois environnements sont supérieures aux limites supérieures fixées par la norme du Conseil Oléicole International : $K_{232} \leq 2,5$; $K_{270} \leq 0,25$ (Figure 29). D'après ce dernier, les résultats trouvés pour tous les accessions cultivées dans les trois environnements sont en accord avec ceux rapportés par Elleuch et al., (2007) et aussi ceux trouvés pour l'huile d'olive (2,86 à 3,45 pour le K₂₃₂ et de 0,32 à 0,62 pour le K₂₇₀) (Abdalla et al., (2014).

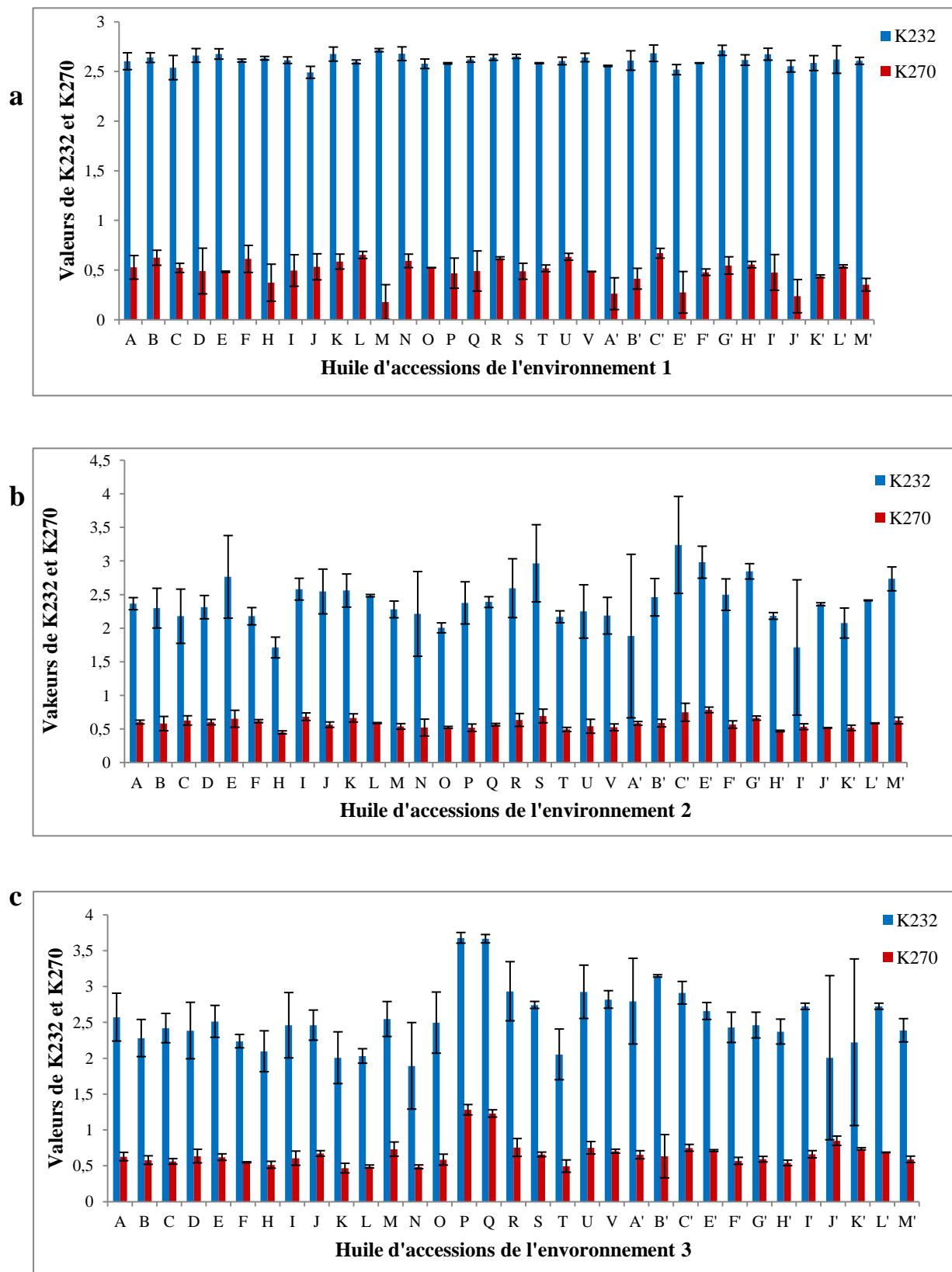


Figure 29 : Variation des coefficients d'extinction K232 et K270 des huiles d'accessions marocaines de sésame pour les environnements 1 (a), 2 (b) et 3 (c).

Tableau 36 : Variation de l'extinction des huiles des accessions marocaines de sésame pour les trois environnements

Accessions	Environnement 1 Afourarr 2013	Environnement 2 Afourar 2014	Environnement 3 Ain Taoujdate 2014
A	0,024±0,002	-0,0113±0,0007	-0,0186±0,0023
B	0,092±0,003	-0,0114±0,0015	-0,0143±0,0030
C	0,033±0,017	-0,0118±0,0033	-0,0163±0,0015
D	-0,070±0,0172	-0,0141±0,0013	-0,0191±0,0043
E	-0,221±0,003	-0,0145±0,0015	-0,0184±0,0013
F	-0,022±0,0195	-0,0136±0,0014	-0,0149±0,0003
H	-0,164±0,009	-0,0090±0,0012	-0,0138±0,0028
I	0,104±0,030	-0,0174±0,0011	-0,0180±0,0041
J	0,149±0,054	-0,0157±0,0014	-0,0198±0,0015
K	-0,026±0,053	-0,0155±0,0021	-0,0113±0,0025
L	-0,002±0,001	-0,0133±0,0003	-0,0144±0,0007
M	-0,213±0,0190	-0,0114±0,0010	-0,0491±0,0480
N	0,073±0,060	-0,0128±0,0043	-0,0107±0,0012
O	0,016±0,025	-0,0126±0,0030	-0,0159±0,0013
P	0,016±0,044	-0,0128±0,0024	-0,0385±0,0013
Q	0,008±0,001	-0,0124±0,0008	-0,0429±0,0018
R	0,048±0,011	-0,0153±0,0029	-0,0242±0,0046
S	0,105±0,092	-0,0203±0,0026	-0,0183±0,0008
T	0,009±0,032	-0,0114±0,0005	-0,0114±0,0020
U	0,173±0,022	-0,0128±0,0025	-0,0221±0,0027
V	-0,085±0,011	-0,0113±0,0019	-0,0217±0,0006
A'	-0,215±0,024	-0,0161±0,0017	-0,0190±0,0020
B'	-0,047±0,074	-0,0164±0,0021	-0,1965±0,3006
C'	0,081±0,018	-0,0222±0,0042	-0,0245±0,0006
E'	-0,222±0,015	-0,0267±0,0035	-0,0203±0,0009
F'	0,034±0,002	-0,0151±0,0011	-0,0131±0,0011
G'	-0,060±0,008	-0,0192±0,0007	-0,0165±0,0009
H'	-0,008±0,002	-0,0110±0,0009	-0,0123±0,0001
I'	-0,013±0,002	-0,0139±0,0019	-0,0501±0,0522
J'	-0,204±0,016	-0,0136±0,0010	-0,0123±0,0159
K'	-0,024±0,010	-0,0139±0,0016	-0,0218±0,0003
L'	-0,050±0,02	-0,0150±0,0007	-0,0193±0,0004
M'	0,001±0,001	-0,0183±0,0009	-0,0136±0,0007

II.3. Teneur en chlorophylle et en caroténoïdes

La chlorophylle et les caroténoïdes jouent un rôle important dans la stabilité des huiles au cours du stockage. Les teneurs en caroténoïdes varient de 0,80 à 4,39 mg de lutéine /kg d'huile pour les huiles des accessions H et S de l'environnement 1 (Figure 30), de 0,66 à 2,52 mg de lutéine /kg d'huile pour les huiles des accessions D et L' de l'environnement 2 et de 0,55 à 1,77 mg de lutéine/kg d'huile pour les huiles des accessions A et H de l'environnement 3. Les valeurs moyennes respectives en caroténoïdes des huiles d'accessions cultivées dans les environnements 1, 2 et 3 sont respectivement de 1,81, 1,12 et 0,93 mg de lutéine/ kg d'huile.

Alors que les valeurs de la chlorophylle varient respectivement de 1,59 à 10,51 mg de phéophytine / kg d'huile pour les huiles des accessions H et S cultivées dans l'environnement 1, de 1,26 à 4,93 mg de phéophytine /kg d'huile pour les huiles des accessions J' et L' de l'environnement 2 et de 0,69 à 6,20 mg de phéophytine/kg d'huile pour les accessions M' et V de l'environnement 3 (Figure 31). Les teneurs moyennes en chlorophylles des accessions cultivées dans les trois environnements (1,2 et 3) sont respectivement de 3,78, 2,21 et 1,93 mg de phéophytine/kg d'huile.

D'après les résultats obtenus (Figures 30 et 31), les teneurs moyennes en chlorophylles et caroténoïdes sont comparables avec celles trouvées précédemment pour les huiles des 33 accessions collectées de la zone Tadla (1,80, 1,12, 0,93 et 1,45 mg/kg de caroténoïdes pour l'environnement 1, 2, 3 et les 33 accessions de la zone Tadla alors que les teneurs enregistrées en chlorophylles sont respectivement de 3,78, 2,21, 1,83 et 2,83 mg/ kg.).

La culture du sésame dans l'environnement Afourar pour l'année 2013 est le plus favorable pour les teneurs en chlorophylle et en caroténoïdes comparées à celles obtenues dans l'environnement 2 et l'environnement 3 ayant enregistré les teneurs les plus faibles en caroténoïdes et en chlorophylles.

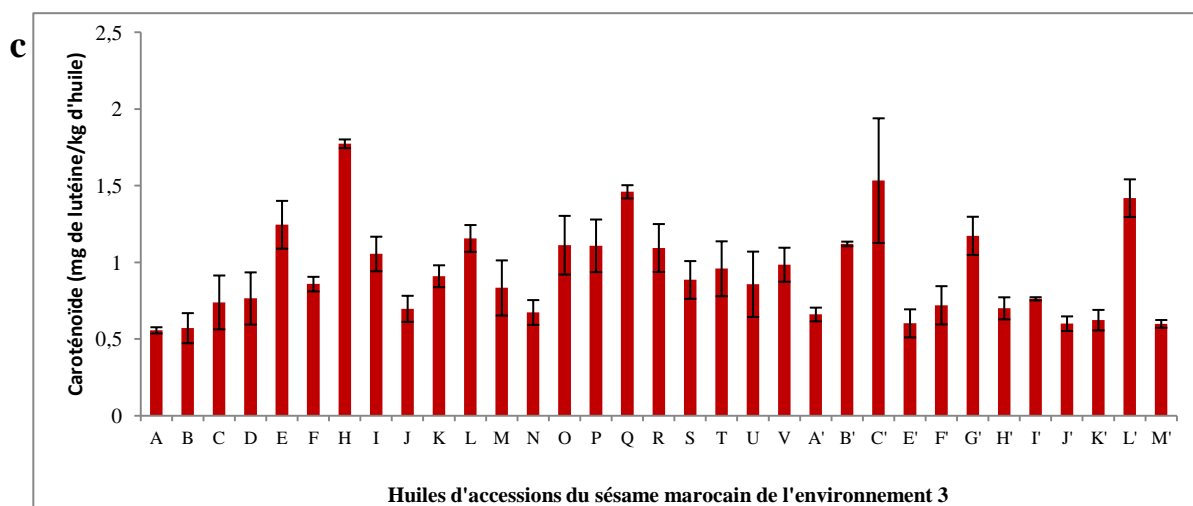
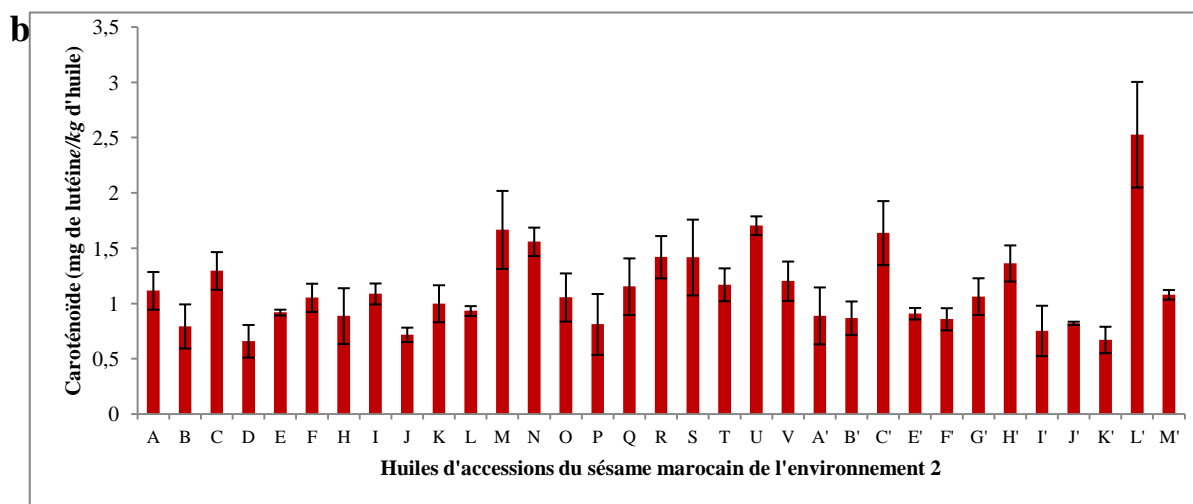
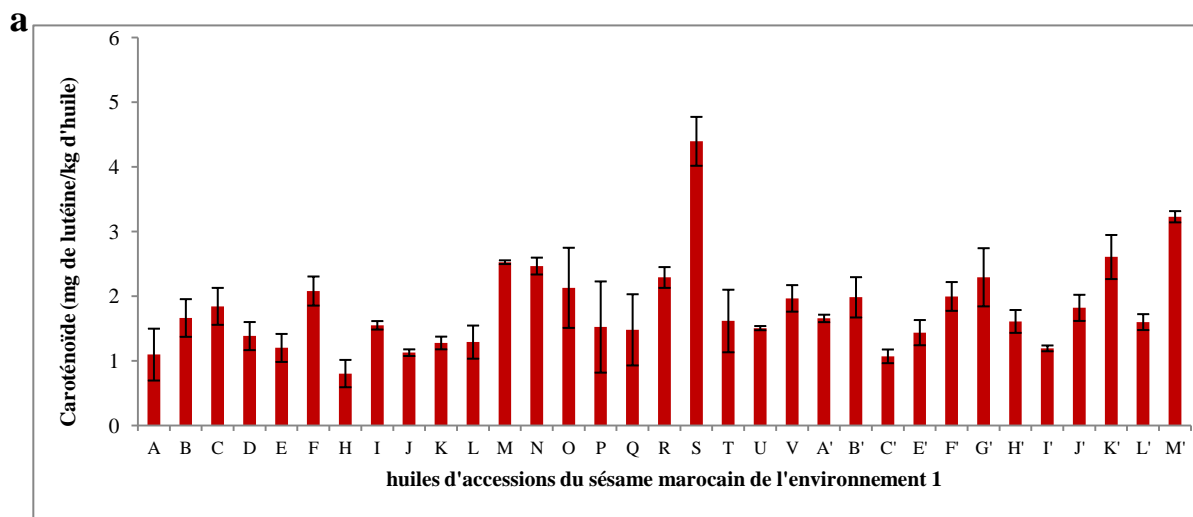


Figure 30 : Variation de la teneur en caroténoïdes des huiles des accessions marocaines de sésame évaluées dans trois environnements 1(a), 2(b) et 3(c).

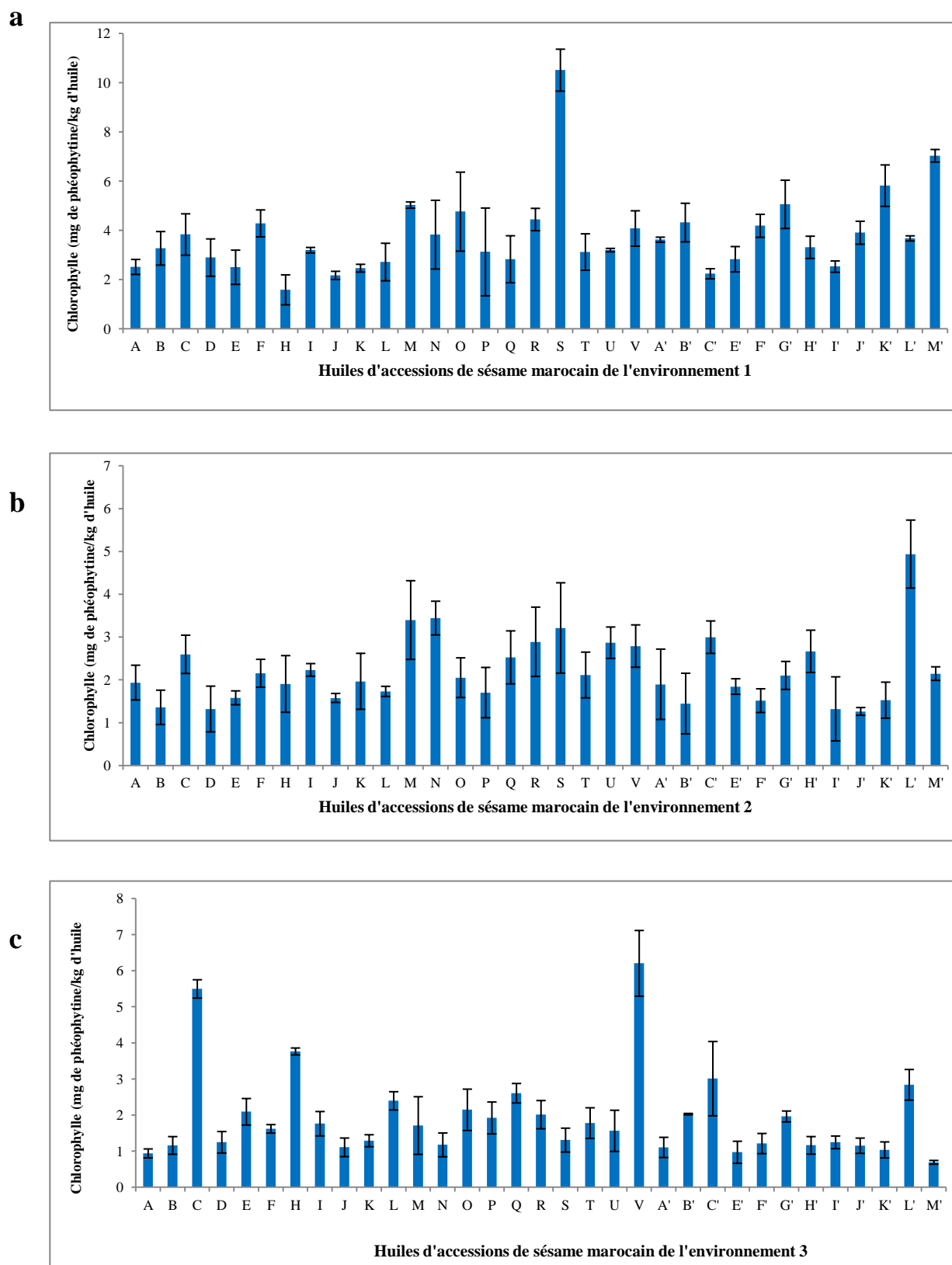


Figure 31 : Variation de la teneur en chlorophylle des huiles des accessions de sésame dans les trois environnements 1(a), 2(b) et 3(c).

II.4. Teneur en polyphénols totaux et Activité antioxydante

Les polyphénols attirent de plus en plus l'attention des chercheurs et des industriels en raison de leur importance. En effet, jusqu'à maintenant, ces molécules considérées comme intéressantes pour l'organisme, tant au niveau nutritionnel que pour la santé (Charouf et guillaume, 2007a). Mais les progrès des techniques d'analyses chimiques, de génie génétique et des biotechnologies en général, ont permis une nouvelle approche de ces composés organiques (Hilali, 2008). Ces constituants, appelés encore «biophénols», sont des substances naturelles aux propriétés antioxydantes.

La figure 32 illustre la variation de la teneur en polyphénols totaux, exprimé en mg équivalent d'acide gallique / Kg de l'huile, des accessions étudiées récoltées dans les trois environnements, 1, 2 et 3.

Les teneurs en polyphénols varient de 35,69 à 70,61 mg eq d'acide gallique/Kg de l'huile pour les accessions K' et L' récoltées dans l'environnement 1 avec une teneur moyenne de 53,59 mg eq d'acide gallique / kg d'huile, de 26,25 à 74,69 mg eq d'acide gallique/kg de l'huile pour les accessions K' et O récoltées dans l'environnement 2 avec une valeur moyenne de 45,56 mg eq d'acide gallique/kg d'huile, alors que pour les accessions récoltées dans l'environnement 3, les valeurs changent de 24,35 à 55,02 mg eq d'acide gallique / kg de l'huile pour les accessions K' et I avec une moyenne de 35,78 mg eq d'acide gallique / kg d'huile. Les valeurs moyennes polyphénolique trouvées pour les accessions récoltées dans les trois environnements sont supérieures à celles trouvés par Borchani et al., (2010) et par Elleuch et al., (2007) pour l'huile de sésame du Soudan (14,21 et 23,06 mg eq d'acide gallique / kg d'huile, respectivement) (Figure32). L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative au seuil de 0,01, pour la teneur en polyphénols et de l'activité antioxydante, entre les accessions étudiées et pour les trois environnements de culture. Ainsi, les variations des teneurs en polyphénols observées chez les mêmes accessions dans les trois environnements peuvent être du à l'effet environnemental ou à l'effet de l'année.

La figure 33 montre la variation de l'activité antioxydante entre les accessions d'un environnement à l'autre. Les pourcentages du piégeage des radicaux libre les plus élevés ont été enregistrés pour l'accession R récoltée dans l'environnement 1, pour l'accession K' dans l'environnement 2 et pour l'accession D dans l'environnement 3 avec des valeurs respectives de 78,48, 75,54 et 73,25 %. Les valeurs moyennes de l'activité antioxydante pour les accessions récoltées dans les environnements 1, 2 et 3 sont respectivement de 58,97, 45,75 et 46,41 %. Les accessions récoltées dans l'environnement 1 ont présenté les valeurs moyennes

les plus élevées en comparaison avec celles des accessions récoltées dans les environnements 2 et 3. Donc l'environnement et l'année ont un effet sur la teneur en polyphénols et sur l'activité antioxydante. Ces résultats concordent avec ceux de la littérature. En effet, des études ont montré que la teneur en polyphénols est tributaire du stade de croissance, des caractéristiques de l'environnement et de la période de la plantation et ou de la récolte (Freitas et al., (2004), Yariwake et al., (2005), Brasileiro et al., (2015)).

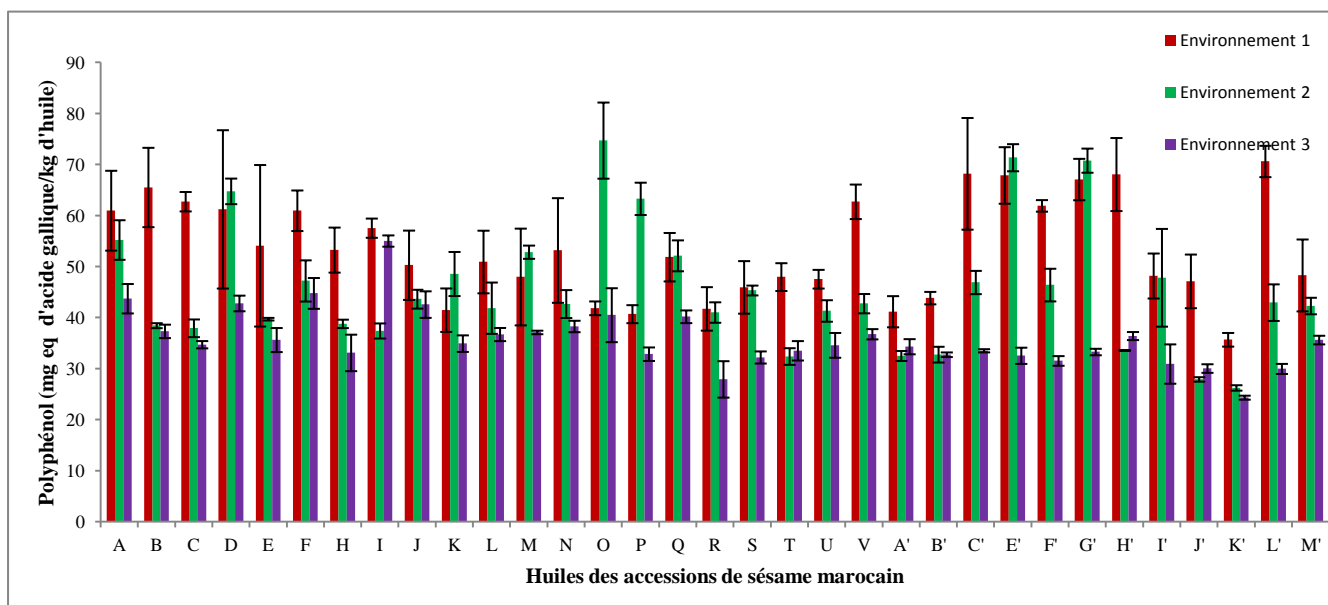


Figure 32 : Variation de la teneur en polyphénols pour les différentes accessions de sésame dans les trois environnements.

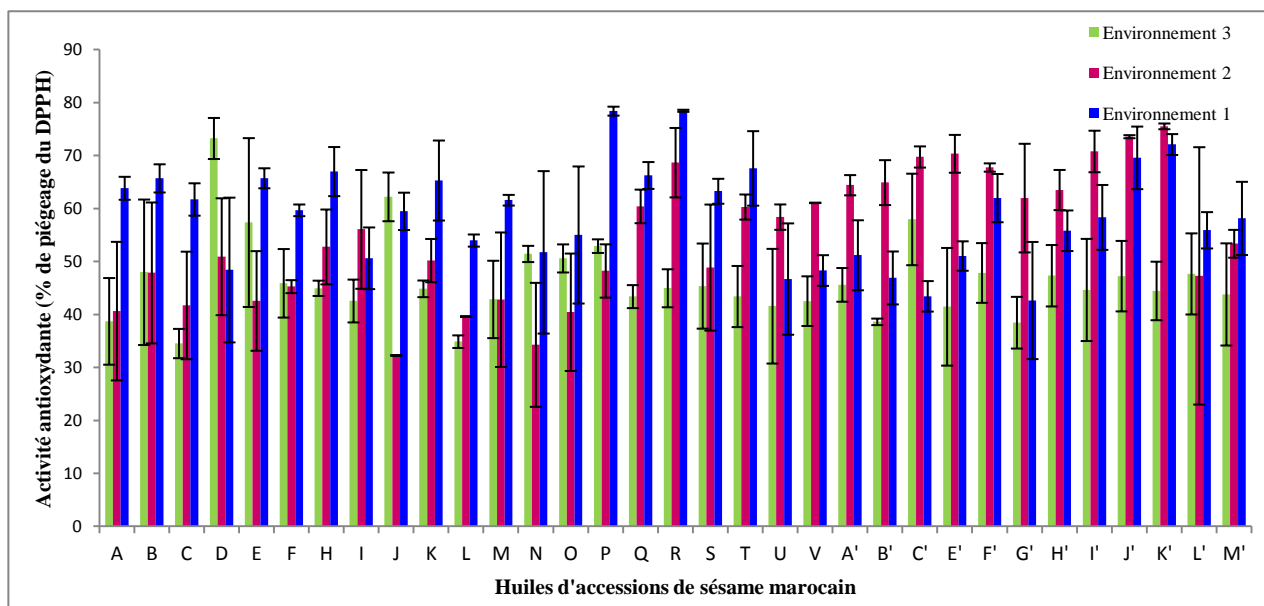


Figure 33 : Activité antioxydante des huiles des accessions de sésame marocain dans les trois environnements

III. Caractérisation biochimique du matériel génétique étranger

III.1. Teneur en huile

Les teneurs en huile de 12 matériels génétiques étrangers (38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50) ont été déterminés par soxhlet (Tableau 37).

La teneur la plus élevée est obtenue pour le matériel génétique étranger 38 d'origine égyptienne (53,48 %) suivie par le matériel étranger 45 et 44 (50,4 et 50,0 % d'huile).

Tableau 37 : Teneur en huiles des 12 matériels génétiques étrangers déterminée par soxhlet

Matériel génétique étranger	Teneur en huile (%)
38	53,48
40	47,69
41	46,4
42	43
43	47,6
44	50
45	50,4
46	45,2
47	49
48	46,72
49	46
50	49,5

III.2. Paramètres de qualité

Les résultats des analyses des paramètres de qualité des huiles des 12 matériels génétiques étudiées sont regroupés dans le tableau 38.

L'acidité libre est un facteur de qualité des huiles végétales, elle renseigne sur l'altération de celles-ci par hydrolyse de certains composés (Tekaya et Hassouna, 2005). L'acidité libre des huiles extraites des 12 matériels génétiques étrangers étudiés variait entre 0,18 et 0,84 % d'acide oléique pour les matériels génétiques 43 et 42, respectivement. En comparaison avec les valeurs trouvées pour les 33 accessions de la zone Tadla (0,11 -0,68 % d'acide oléique), celles-ci sont légèrement supérieures. Cependant, elles restent inférieures à celles trouvées par Ogbonna et Ukann, (2013) (0,25 à 1,41 % d'acide oléique), Borchani et al., (2010) (1,64 % d'acide oléique), Dim, (2013) (5,54 % d'acide oléique).

L'indice de saponification variait significativement entre les matériels génétiques étrangers étudiés, de 112,20 à 182,32 mg de KOH / g d'huile, pour les matériels génétiques 43 et 44, respectivement avec une moyenne de 153,88 mg de KOH/ g d'huile (Tableau 38). Ces valeurs sont comparables avec celles obtenues pour les huiles extraites des 33 accessions de la zone Tadla et légèrement inférieures à celles rapportées par Nzikou et al., (2009) (192 mg KOH/g d'huile) et Dim, (2013) (190,74 mg de KOH / g d'huile).

Les huiles obtenues des 12 matériels génétiques étrangères présentent des valeurs allant de 0,83 à 6,5 meq O₂/kg d'huile, avec une différence significative au seuil de 0,01 %. Les indices de peroxyde obtenus sont comparables avec les valeurs trouvées pour les accessions de la zone Tadla et restent en dessous de la valeur maximale acceptable (de 10 meq O₂ / g) fixée par la Commission du Codex Alimentarius (Abayeh et al., 1998). La détermination de l'indice de peroxydes des huiles d'olives permet d'évaluer le niveau d'oxydation primaire de l'huile par l'oxygène. L'action directe de l'oxygène et l'action indirecte des autres facteurs qui permettent à l'oxygène de se fixer sur les acides gras insaturés entraînent l'oxydation de l'huile (Tekaya et Hassouna, 2005).

Une huile ayant une valeur élevée en indice d'iode contient un plus grand nombre de doubles liaisons que l'huile à faible valeur et a généralement une stabilité à l'oxydation réduite (Zine et al., 2013). L'indice d'iode des huiles extraites des matériels génétiques étrangers varient de 97,61 à 110,63 g de I₂/100g avec une moyenne de 105,75 g de I₂/100g de l'huile. Ces résultats ne présentent pas de différences significatives entre les matériels génétiques étrangers. Ainsi, ils sont inférieurs par rapport à ceux trouvés pour les huiles des accessions collectées de la zone Tadla. Ces valeurs sont supérieures à celle de l'huile d'argan (102 mg I₂ / 100 g), de l'huile d'olive (90,2 mg I₂ / 100 g), mais inférieure à celle de l'huile de graines de soja (134,5 mg I₂ / 100 g) et de l'huile de tournesol (130 mg I₂ / 100 g) (Gharby et al., 2012, 2014).

Tableau 38 : Valeurs moyennes et écart types des indices de qualité des huiles de 12 matériels génétiques étrangers

Matériels génétique étrangers	Couleur	Indice de saponification (mg de KOH / g d'huile)	Acidité (% d'acide oléique)	Indice de peroxyde (meq O ₂ / kg d'huile)	Indice d'iode (g de I ₂ / 100g d'huile)
38	Blanc crème	182,33±14,02	0,55±0,01	4,83±0,28	104,12±2,82
40	Jaune	163,63±8,09	0,36±0,01	4,16±0,28	109,01±2,81
41	Blanche	140,25±28,05	0,30±0,03	3,00±0,50	105,75±2,81
42	Noir	168,30±14,02	0,84±0,01	0,83±0,28	102,50±4,88
43	Blanche	112,20±14,02	0,18±0,02	2,33±0,28	105,75±2,81
44	Blanche	182,33±14,02	0,76±0,04	1,83±0,28	105,75±2,81
45	Blanche	126,23±14,02	0,23±0,02	2,00±1,00	104,13±5,63
46	Blanche	130,90±8,09	0,21±0,01	2,83±0,28	97,61±4,88
47	Blanche	126,23±14,02	0,23±0,02	3,66±0,28	110,63±2,81
48	Noir	172,97±8,10	0,35±0,01	4,50±0,50	107,38±4,88
49	Blanche	177,65±16,19	0,22±0,01	4,00±0,50	107,38±4,88
50	Marron	163,62±8,09	0,20±0,02	6,50±0,50	109,01±7,45

L'état d'oxydation des huiles végétales peut être évaluée à partir de l'analyse de l'absorption spécifique à 232 (K232) et 270 nm (K270) qui indique la présence de produits d'oxydation primaire et secondaire, respectivement. Les valeurs des coefficients d'extinctions spécifiques mesurées à 232 nm (K232) varient de 1,27 à 3,98 pour les matériels génétiques 50 et 40 respectivement (Figure 34a), tandis que les valeurs de K270 varient de 0,41 à 1,38 pour les matériels génétiques 50 et 44 respectivement (Figure 34a). En comparaison avec les valeurs trouvées pour les accessions de la zone Tadla, les valeurs obtenues pour les matériels génétiques étrangers sont inférieures.

La variation de l'extinction spécifique pour les matériels génétiques étrangers étudiés est représentée dans la figure 34b avec des valeurs inférieures à 0.

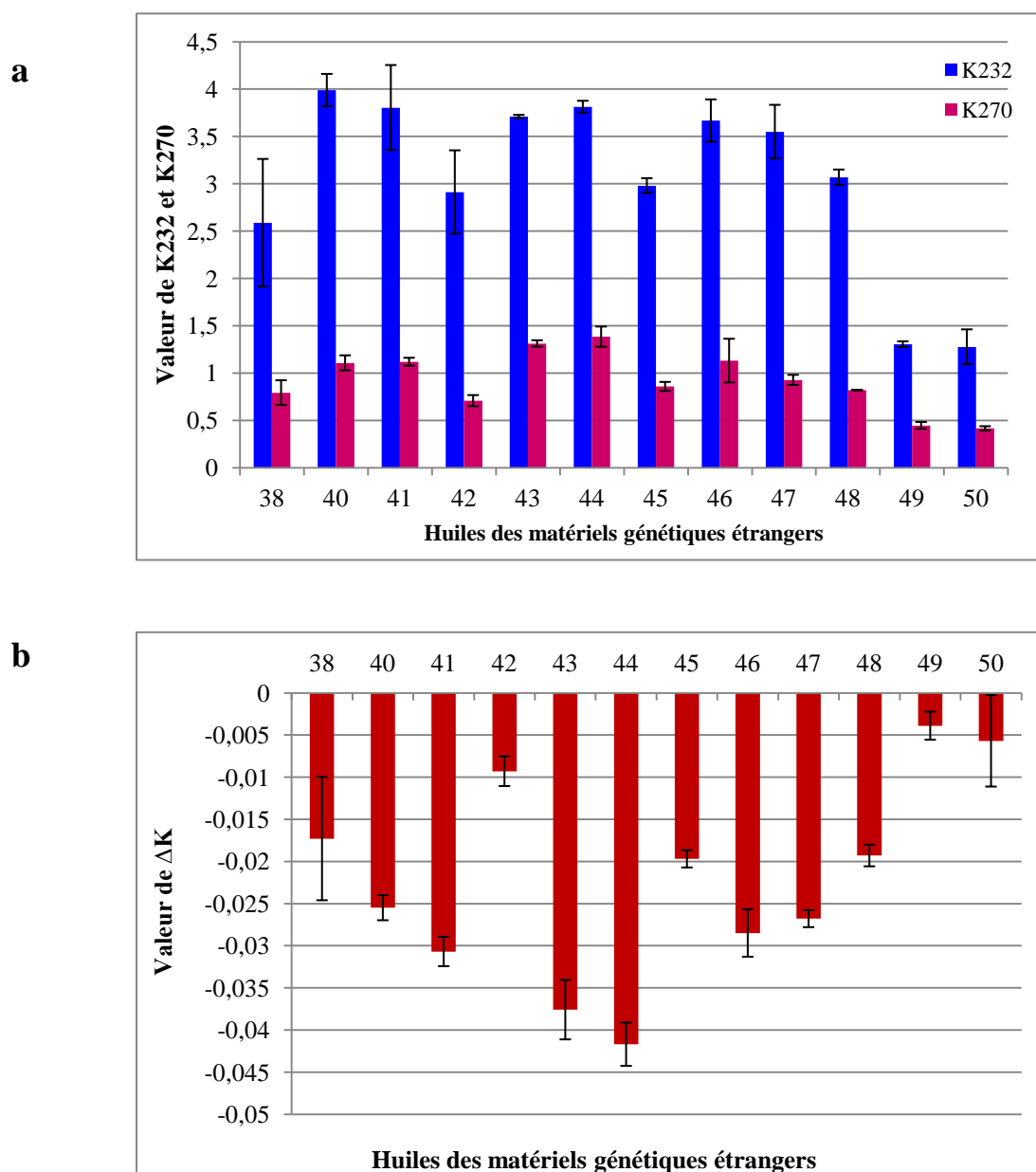


Figure 34 : Variation des coefficients d’extinction des huiles des matériels génétiques étrangers ; a (K232 et 270) et b ; ΔK .

III.3. Chlorophylle et caroténoïde

Les teneurs en caroténoïdes et en chlorophylles présentent des variations significatives au sein des huiles de matériels génétiques étrangers (Figure 35 et Figure 36). Ces derniers présentent une quantité notable de caroténoïdes allant de 1,84 à 4,86 mg / kg d’huile (Figure 36), alors

que la chlorophylle, varie de 0,96 à 2,32 mg / kg d'huile (Figure 35), qui sont responsables de la couleur jaune de l'huile de sésame. Les valeurs obtenues sont comparables avec celles trouvées pour les accessions marocaines du sésame et plus élevées que celles rapportées par Borchani et al., (2010) pour l'huile de sésame brute (0,04 mg / kg d'huile de chlorophylle et 2,62 mg / kg d'huile de caroténoïdes).

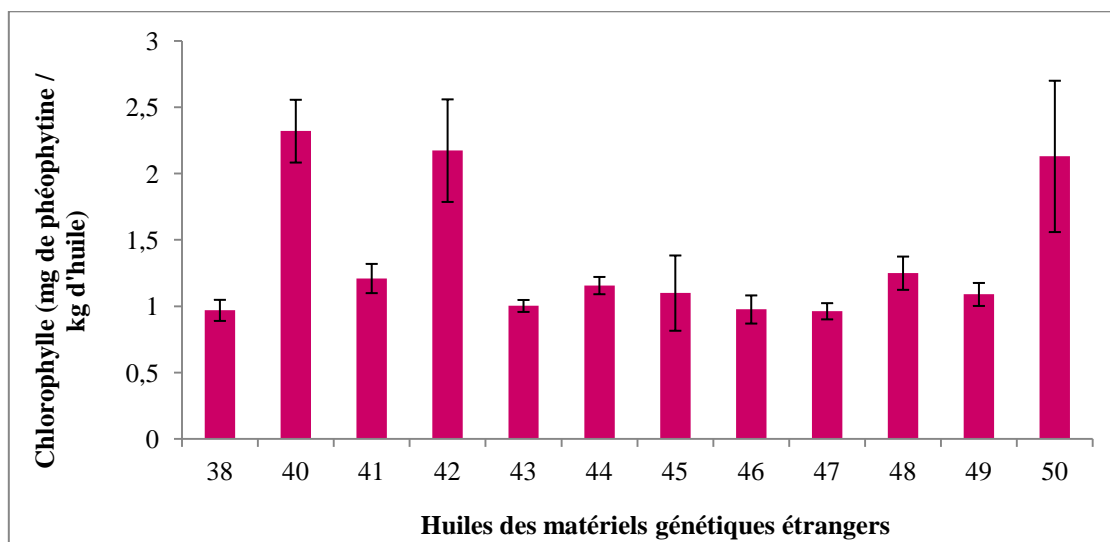


Figure 35 : Variation de la teneur en chlorophylle des huiles des 12 matériels génétiques étrangers.

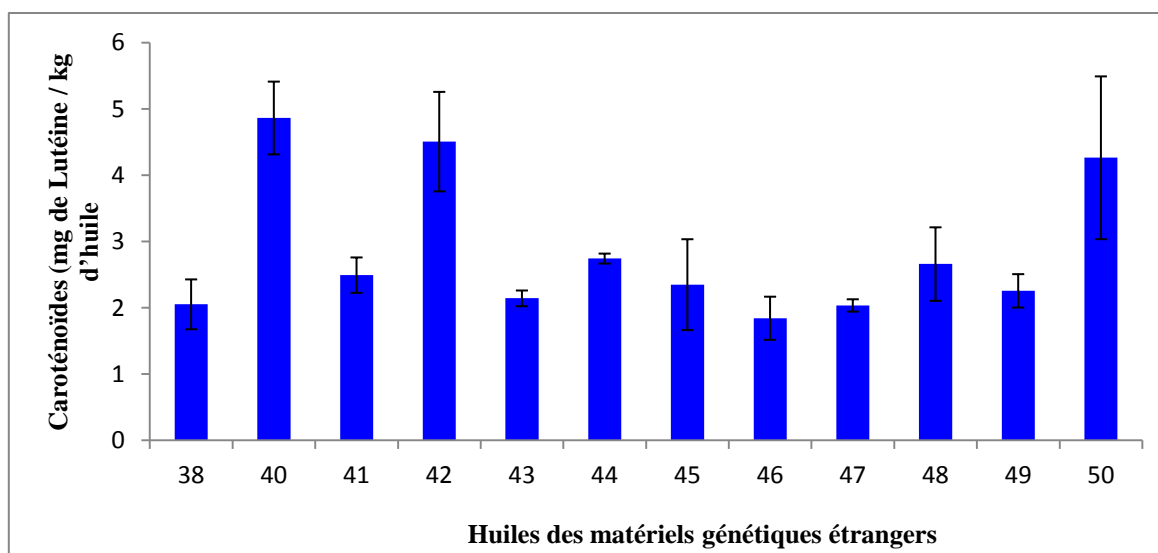


Figure 36 : Teneur en caroténoïdes des huiles des 12 matériels génétiques étrangers.

III.4. Activité antioxydante et polyphénols

Les teneurs en polyphénols totaux des matériels génétiques étrangers varient significativement de 33,35 à 72,34 mg eq d'acide gallique/Kg de l'huile, pour les matériels génétiques 50 et 44 respectivement (Figure 37). La valeur élevée enregistrée pour l'huile du matériels génétique 50 est supérieure à celle obtenue pour les huiles de accessions marocaines de départ. Elle est aussi comparable avec les valeurs trouvées pour les graines récoltées de l'environnement 1 et 2.

Les résultats du piégeage des radicaux libres DPPH (Figure 38) suggèrent que les différentes huiles des différents matériels génétiques étrangers sont capables de piéger les radicaux libres. L'activité antioxydante élevée a été trouvée pour le matériel génétique 49 avec une valeur de 73,15 %, et une faible activité a été trouvée dans l'huile du matériel génétique 43 avec une valeur de 43,90 %. Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues pour les 33 accessions marocaines de la zone Tadla et en concordance avec les activités obtenues pour les graines d'accessions récoltées dans les trois environnements.

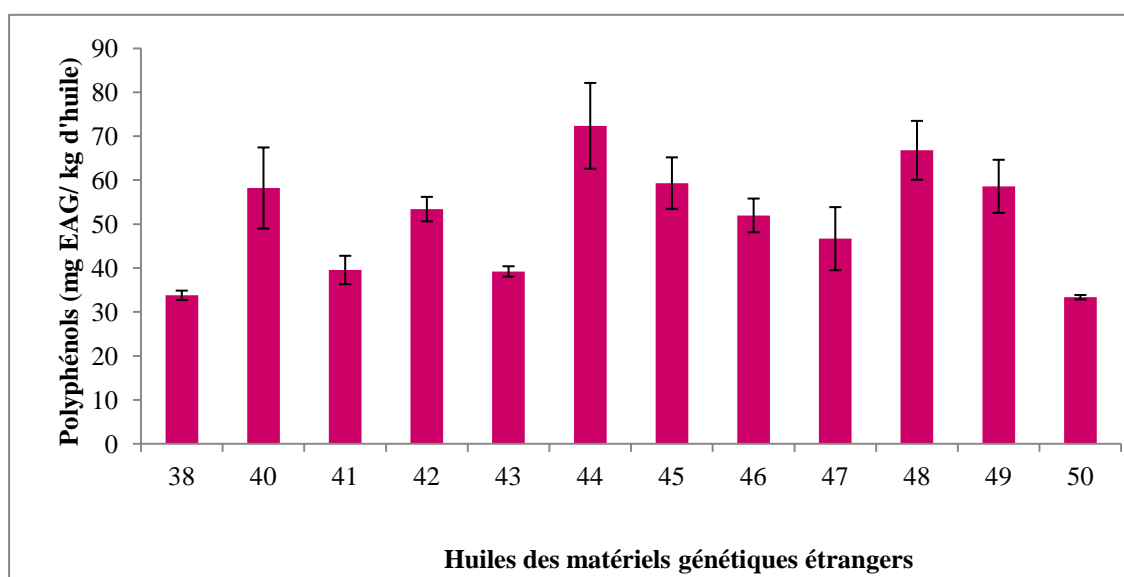


Figure 37 : Variation de la teneur en polyphénols totaux dans les huiles des 12 matériels génétiques étrangers.

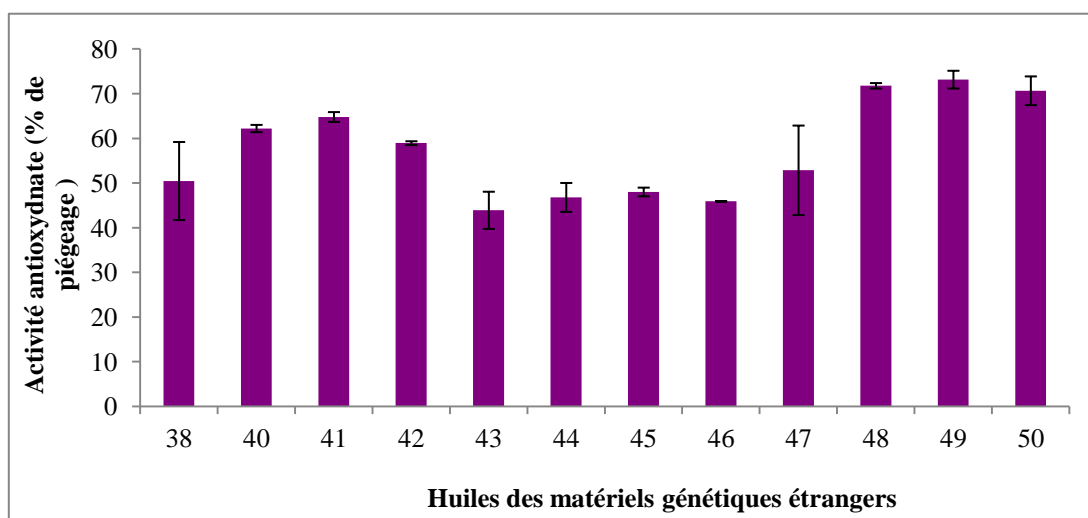


Figure 38 : Pourcentage de piégeage des radicaux libres des huiles des 12 matériels génétiques étrangers.

Conclusion :

Les résultats de la caractérisation biochimique indiquent qu'il y a des différences significatives entre les accessions marocaines de sésame pour les paramètres mesurés. Ainsi, la teneur en huile varie de 48 à 66 % pour les accessions E' et I avec une teneur moyenne de 60 %. Les accessions de sésame marocain ont présenté des proportions importantes d'acides gras insaturés avec une moyenne de 80,08 %. Les principaux acides gras insaturés identifiés sont l'acide oléique et l'acide linoléique avec des valeurs moyennes respectives de 38,54 et 41,48 %. Ils varient respectivement de 35,67 à 41,03 % pour les accessions C et D' et de 37,21 à 44,91 % pour les accessions D' et C.

Les différences observées pour la teneur en huile, le profil des acides gras et la teneur totale en polyphénols peut être due à l'effet génotypique, les conditions climatiques ou aux pratiques culturales. Certaines accessions ont montré une teneur en huile très élevée, ce qui les rend utiles pour l'extraction commerciale. Par rapport à la composition en acides gras, les principaux composants de la graine de sésame sont l'acide oléique et l'acide linoléique qui ont des applications nutritionnelles et industrielles importantes. Cependant, les accessions marocaines étudiées ont été caractérisées par une teneur moyenne élevée en acide stéarique (7,72 à 8,96 %) qui pourrait être utilisée comme marqueur de l'authenticité des accessions de sésame marocain de la zone du Tadla. Les accessions marocaines ont été caractérisées aussi par des teneurs importantes en polyphénols totaux (46,29 à 60,12 mg EAG/ kg d'huile).

Chapitre IV : Caractérisation Moléculaire des accessions de sésame marocain

I. Caractérisation moléculaire des accessions de sésame marocain *via* les marqueurs ISSR

Cette étude s'est intéressée à l'investigation de l'analyse de la diversité génétique au sein et entre les accessions de sésame marocain vu qu'on ne dispose pas de données sur le matériel génétique du sésame marocain. Ceux-ci peuvent être utilisés dans les programmes d'amélioration génétique du sésame marocain.

I.1. Polymorphisme

L'utilisation de 7 amorces ISSR, a permis l'amplification de l'ADN de 33 accessions du sésame marocain. En effet, chaque amorce a montré des profils génomiques lisibles et reproductibles avec un nombre intéressant de bandes. La figure 39, témoigne de la clarté des marqueurs et la diversité révélée par l'amorce F9.

L'analyse des produits d'amplification montre qu'un total de 57 bandes ISSR a été généré pour l'ensemble des accessions étudiées. Parmi ces bandes ISSR 46 se sont avérées polymorphes ce qui correspond à un pourcentage de bandes polymorphes de 80,70 % suggérant ainsi que les amorces testées sont efficaces pour explorer le polymorphisme moléculaires chez le sésame marocain et traduisant l'existence de variabilité génétiques. Par ailleurs, le nombre total de bandes polymorphes générées diffère selon les amorces utilisées, il variait de 1 pour IMA8Z à 14 pour F11 avec une moyenne de 6,57 bandes par amorce (Tableau 39). La taille des bandes observées pour toutes les amorces variait entre 329 et 1795 pb (Tableau 39).

Le polymorphisme est calculé par le rapport fragments polymorphes / nombre total. Le polymorphisme maximal a été observé pour les amorces F7, F9, F11 et UBC807 présentant tous 100 % des bandes polymorphes tandis que le polymorphisme minimum a été trouvé pour l'amorce IMA8Z (14,28 %). Le taux de polymorphisme moyen est de l'ordre de 80,7 %. Le taux du polymorphisme moyen obtenu dans cette étude (80,7 %) est élevé par rapport au taux du polymorphisme 70,6 % rapporté par Nyongesa et al., (2013) étudiant la diversité moléculaire du sésame de l'Afrique de l'Est et des espèces sauvages apparentées à l'aide des marqueurs ISSR, à 75,86 % trouvé par Dagmawi, (2011) utilisant les marqueurs ISSR pour

l'étude la diversité génétique de la collection du matériel génétique du sésame éthiopien, et 66,87 % obtenu par Sharma et al., (2009) dans l'analyse comparative des RAPD et ISSR pour la caractérisation du sésame indien.

En revanche, un faible niveau de polymorphisme (33 %) a été détecté dans des études antérieures pour des génotypes du sésame coréens par les marqueurs ISSR (Kim et al., 2002) et (57 %) dans les variétés du sésame indien aussi par les marqueurs ISSR (Sharma et Vinod, 2011). Nos résultats sont inférieurs au taux de polymorphisme rapportés par Anitha et al., (2010) (98,5 %) utilisant les marqueurs ISSR et par Salazar et al., (2006) (100 %) à l'aide des marqueurs RAPD dans l'analyse de la diversité génétique du sésame de Tamil Nadu et de variétés du sésame du Venezuela, respectivement. Le pourcentage élevé du polymorphisme détecté dans cette étude pourrait être dû au grand nombre d'échantillons. Selon Sanchez et al., (1996), la différence du polymorphisme peut être due aux génotypes utilisés, à la nature des amorces ISSR et aux températures d'hybridation utilisées. La basse température d'hybridation peut augmenter l'amplification non spécifique, conduisant à des bandes artefact. La modification de la température d'hybridation a un grand impact sur la richesse et la lisibilité des empreintes digitales (Bornet et Branchard, 2001).

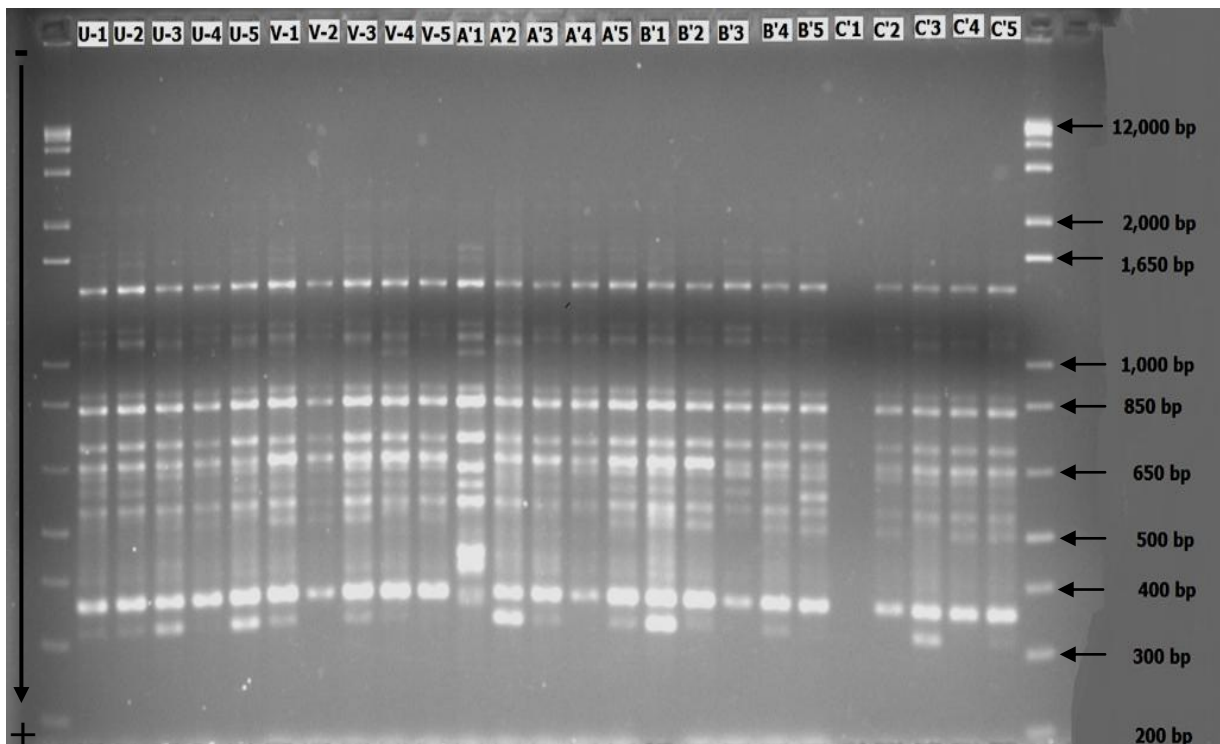


Figure 39 : Profil PCR d'amplification de l'amorce ISSR F9 des accessions de sésame marocain.

L'utilisation d'un nombre élevé d'amorces ISSR polymorphes est d'une utilité importante. Elle permet d'augmenter la fiabilité des interprétations des résultats, surtout si les profils générés sont reproductibles (Handaji et al., 2012). Ainsi, le nombre d'amorces polymorphes utilisées pour analyser diverses espèces de plantes diffère d'un auteur à l'autre. Il a été de 7 (Pradeep et al., 2005) et de 12 à 85 (Nagaraju et al., 2002).

Selon Zietkiewicz et al., (1994), la production des marqueurs ISSR est, par rapport aux marqueurs AFLP, SSR et RFLP, moins coûteuse, rapide et facile à optimiser. Par ailleurs, ils sont considérés plus reproductibles que ceux de RAPD et détectent un grand polymorphisme génomique que les marqueurs RFLP (Zietkiewicz et al., 1994; Oh et al., 2000). La technique ISSR a été largement et diversement appliquée dans l'étude de la variabilité génétique des plantes (Godwin et al., 1997). Ainsi, elle a été utilisée pour déterminer le polymorphisme génétique des espèces de Sorghom, Ipomoea, Eucalyptus, Oryza, Lupinu, Asparagus, etc (Yang et al., 1996; Prevost et Wilkenson, 1999; Qian et al., 2001).

Tableau 39 : Liste des 7 amorces ISSR utilisées, leurs séquences, types de répétition (TR), température d'hybridation (TH), taille des bandes, nombre total de marqueurs, nombre de marqueurs polymorphes (P) et monomorphes (M), indice de diversité génétiques (PIC) pour les accessions de sésame marocain

Nom	Séquence (5'-3')	TR	TH(C°)	Taille des bandes (pb)	Nombre total de marqueurs	P	M	Polymorphisme (%)	PIC
F7	[AC] 8CT	di	46	352-1119	8	8	0	100	0,3494
F8	[AG] 8CC	di	46	598-1504	8	4	4	50	0,002
F9	[AG] 8CG	di	46	359-1453	6	6	0	100	0,1099
F11	[CA] 8AC	di	46	329-1279	14	14	0	100	0,255
F15	[GT] 8CC	di	48	343-1795	10	9	1	90	0,1802
UBC807	[AG] 8T	di	46	530-1100	4	4	0	100	0,0726
IMA8Z	[GA] 8GT	tri	46	534-1328	7	1	6	14.28	0,0021
Moyenne					8,14	6,57	1,57	80,7 %.	0,1387

I.2. La similarité génétique

Les similarités entre les différentes accessions ont été calculées sur la base des 46 marqueurs ISSR polymorphes obtenus (Tableau 40). Les valeurs de similarité varient de 0,509 à 1, avec une moyenne de 0,79. La similarité la plus élevée (1) a été enregistrée entre 537 paires d'accessions, ce qui indique qu'aucuns marqueurs ne les différencient et qu'ils ont la même appartenance (Tableau 40). La similarité la plus faible (0,509) a été détectée entre les individus 20-5 et 19-2 et entre 19-2 et 22-5, ce qui suggère une distance génétique maximale entre les trois individus. Vingt-huit marqueurs différents différencient ces derniers individus (Tableau 40).

Tableau 40 : Coefficients de similarité ISSR enregistrées entre les individus d'accessions de sésame marocain et les nombres correspondants de paires d'accessions et de marqueurs différents

Similarité	Nombre de paires d'accessions	Nombre de marqueurs différents
1	537	0
0,982	481	1
0,965	274	2
0,947	339	3
0,93	449	4
0,912	1077	5
0,895	902	6
0,877	696	7
0,86	713	8
0,842	577	9
0,825	511	10
0,807	460	11
0,789	546	12
0,772	523	13
0,754	272	14
0,737	208	15
0,719	116	16
0,702	62	17
0,684	36	18
0,667	40	19
0,749	52	20
0,632	18	21
0,614	13	22
0,596	7	23
0,509	2	28
Similarité Moyenne : 0,79		

Le coefficient de similarité moyen trouvé (0,79) suggère que la variabilité génétique entre les différentes accessions de sésame marocain est faible. Les hautes valeurs de ce coefficient expliquent bien le lien de parenté qui existe entre les accessions étudiées.

Les coefficients de similarité trouvés entre les accessions marocaines sont comparables aux similarités trouvées par Singh et al., (2015) pour une collection de 44 génotypes de sésame Indien (de 0,65 à 0,87 avec une similarité moyenne de 0,76). Cependant, une large gamme de valeurs du coefficient de similarité (de 0,26 à 0,96) a été observée parmi les accessions du sésame cultivé et du sésame sauvage d’Afrique de l’EST (Nyongesa et al., 2013).

Parmi les 8911, 6556 combinaisons de paires si on inclut les combinaisons de paires différenciées (73,57 %) ont été différenciées par moins de 11 marqueurs. Le reste, 2355 paires ont été distingués par 11 à 28 marqueurs (Figure 40). Ce qui explique la faible diversité au sein des accessions de sésame marocain étudiées.

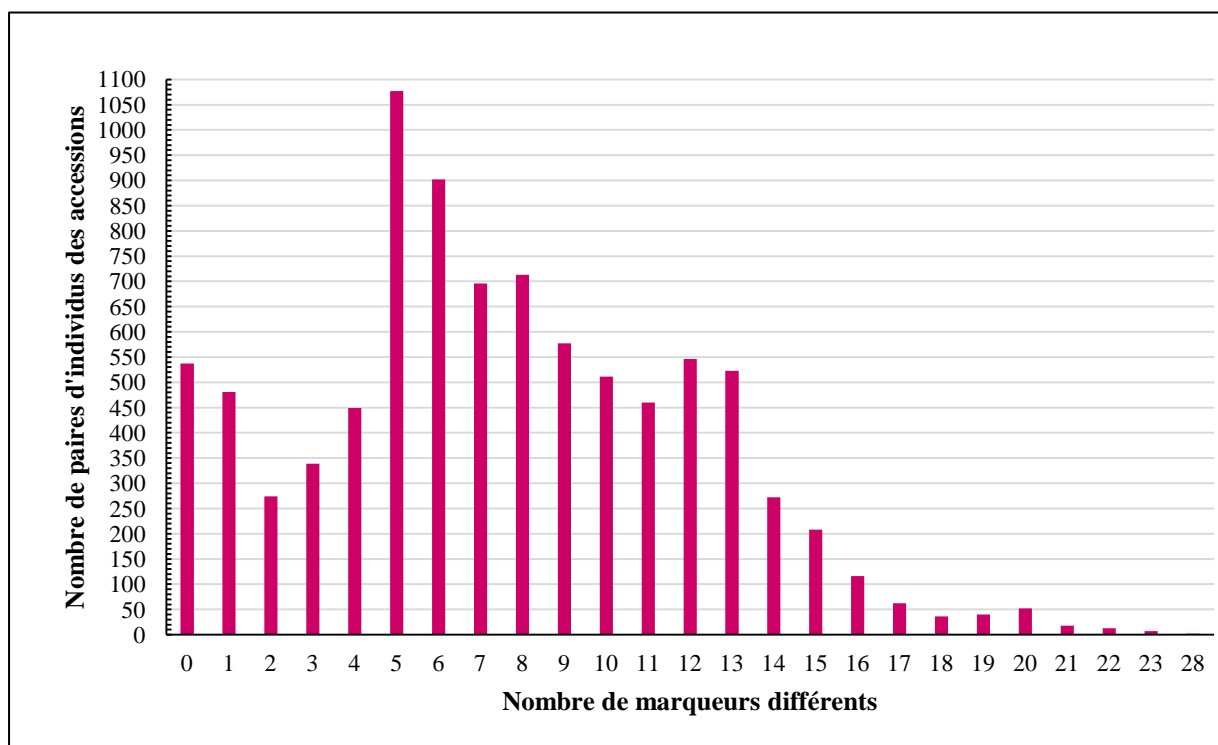


Figure 40 : Distribution des fréquences de similarité génétique pour toutes les paires parmi les 33 accessions de sésame marocain.

I.3. L'indice de diversité génétique PIC

Toutes les amorces utilisées ont généré des profils polymorphes avec un indice de diversité génétique variable et significatif (Tableau 39). En effet, l'étude menée selon la procédure de Bostein et al., (1980), modifié par Anderson et al., (1993) a confirmé la variabilité génétique de ces 7 amorces utilisées. La différence dans l'indice de diversité génétique (PIC) révèle les différences dans le degré de polymorphisme des amorces. Plus sa valeur tend vers 1, plus l'amorce en question est polymorphe et vice versa. Ainsi, l'indice de diversité le plus faible est de 0,002 observé chez l'amorce F8, indiquant la plus faible diversité de cette amorce. Le PIC le plus élevé (0,3494) est trouvé chez l'amorce F7 qui donne 100 % de bandes polymorphes, confirmant la plus grande diversité dans cette amorce. Toutefois, la valeur moyenne de l'indice de diversité est de 0,1387 obtenue pour l'ensemble des amorces. Cette faible valeur indique un faible polymorphisme entre les accessions de sésame marocain étudiées et suggère qu'elles peuvent avoir une origine commune ou un ancêtre commun.

Par ailleurs, la valeur moyenne de l'indice de diversité génétique PIC obtenue par ces amorces, est inférieure aux valeurs obtenues par Anitha et al., (2010) pour 10 accessions de sésame Indien (PIC entre 0,496 et 0,854), par Abate et al., (2015) pour le sésame éthiopien (de 0,26 à 0,76) et celle rapportée par Singh et al., (2015) (PIC = 0,675), étudiant la diversité génétique de 44 accessions du sésame Indien.

I.4. Relation génétique entre les accessions de sésame marocain selon ISSR

L'analyse des différents gels et les 46 bandes utiles, a abouti l'établissement d'une matrice binaire basée sur la présence (1) ou l'absence (0) de bandes polymorphes pour chaque amorce. Cette matrice a conduit à la construction d'un dendrogramme (Figure 41), qui illustre parfaitement les relations génétiques existant entre les individus d'accessions du sésame marocain.

D'emblée, nous avons constaté qu'à 93 % de ressemblance, les individus des accessions de sésame se distinguent et se classent-en sous groupes. Cependant, à 86 % de similarité correspondant à un pourcentage de désaccord de 14 %, ces individus des accessions du sésame marocain n'ont pu être différenciés par ces marqueurs.

En effet, à 88,8 % de similarité, quatre grands clusters et six branches indépendantes ont été distingués. Le premier cluster **I** inclut plus que 56,7 % des individus des accessions de sésame marocain. Les clusters **II** et **IV** incluent respectivement 11,94 % et 23,8 % des individus. Alors que le cluster **III** ne renferme que 4 individus.

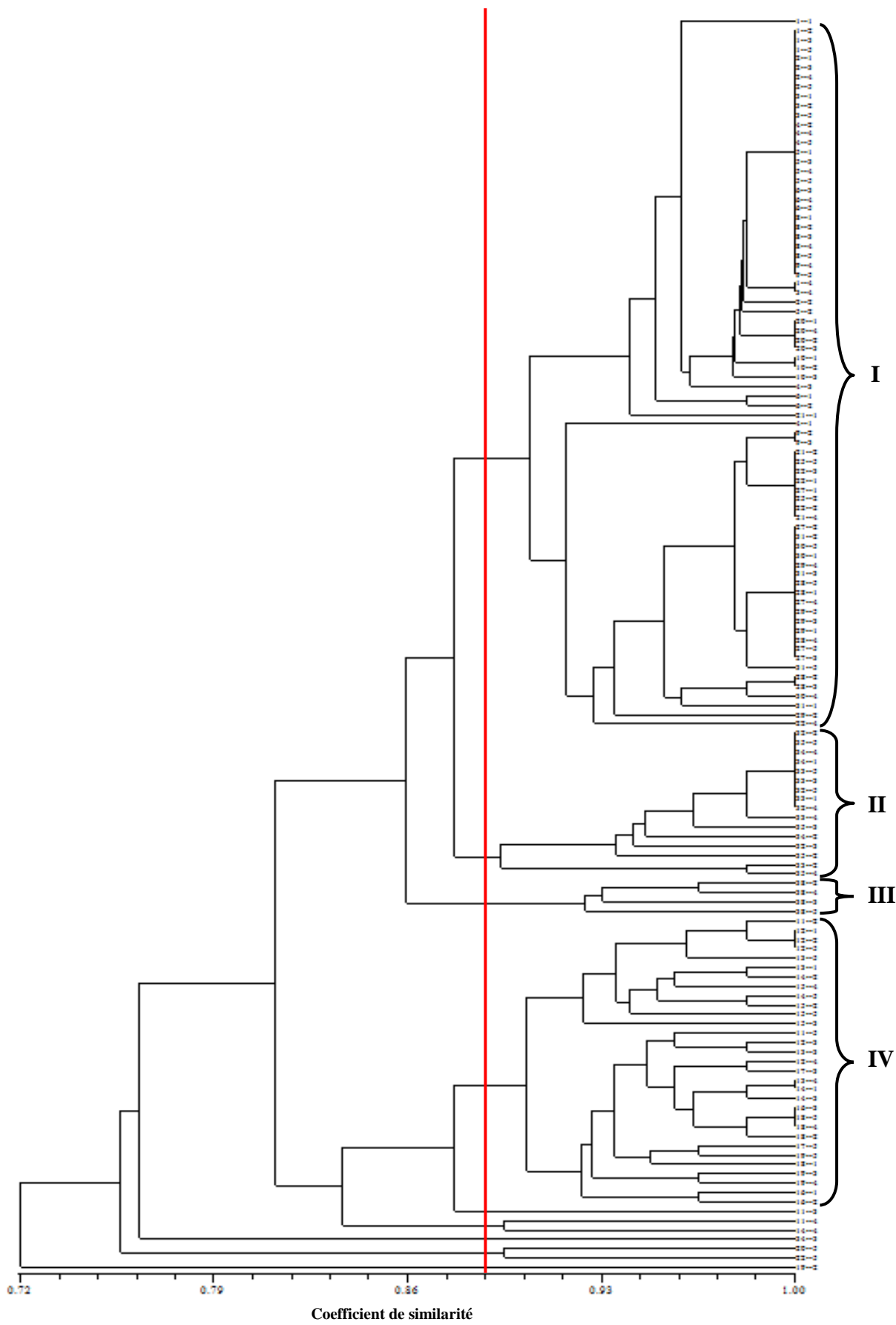


Figure 41 : Dendrogramme généré pour les individus des 33 accessions de sésame marocains en utilisant une analyse de cluster UPGMA.

II. Caractérisation moléculaire des accessions du sésame marocain en comparaison avec les matériels génétiques étrangers *via* les marqueurs ISSR

II.1. Pourcentage du polymorphisme au sein de 33 accessions de sésame marocain, et 12 matériels génétiques étrangers

Les 7 amorces ISSR utilisées dans notre étude ont permis l'amplification de l'ADN de 33 accessions du sésame marocaines et 12 matériels génétiques étrangers. En effet, chaque amorce a montré des profils génomiques lisibles et reproductibles avec un nombre intéressant de bandes. La figures 42, témoignent de la clarté des marqueurs et la diversité révélée par l'amorce F11.

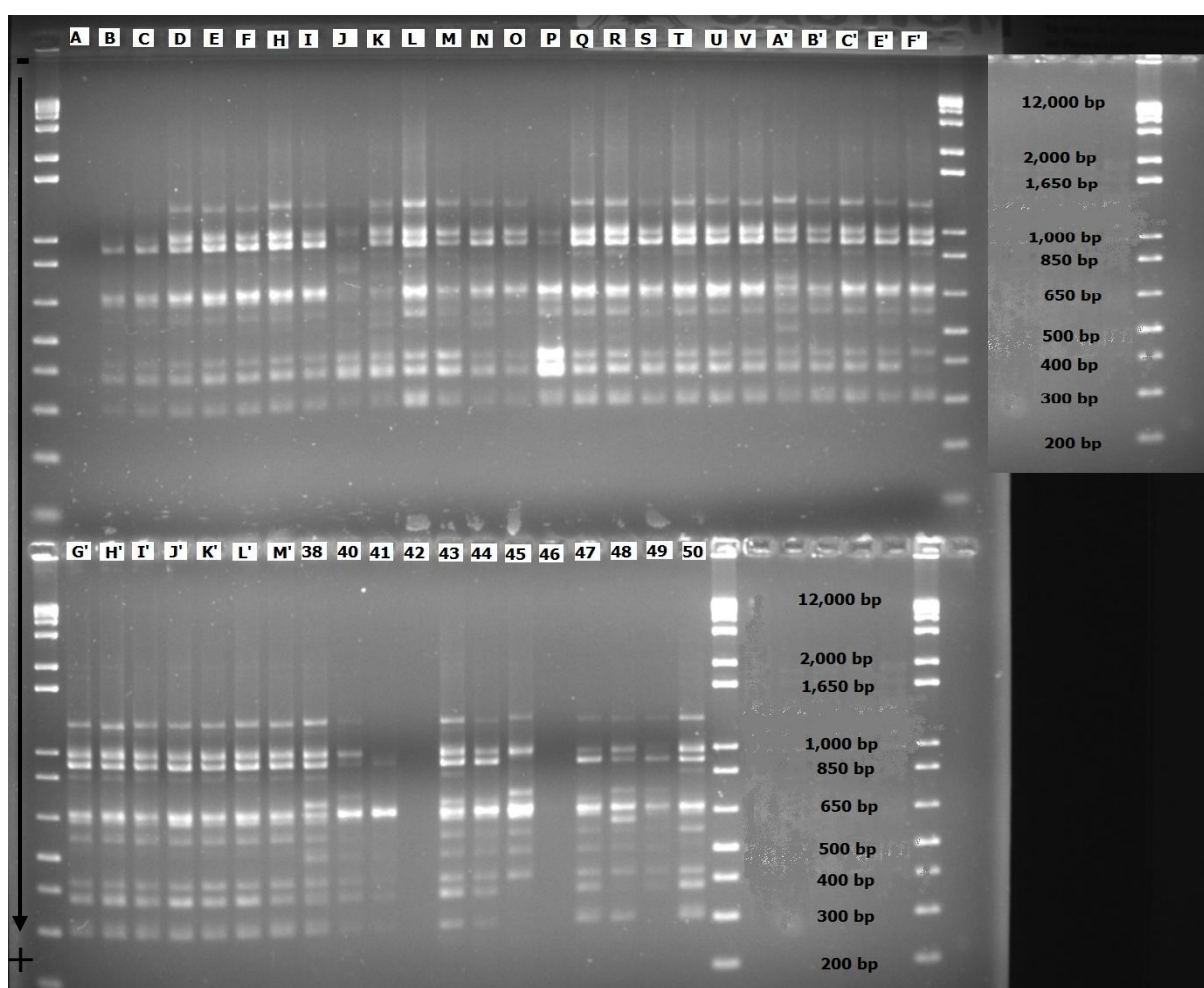


Figure 42 : Profil PCR d'amplification de l'amorce F11 des accessions du sésame marocaines et 12 matériels génétiques étrangers à l'aide des marqueurs ISSR.

A l'aide des 7 amorces ISSR utilisées, un total de 89 fragments d'ADN amplifiés ont été produits, chez les 33 accessions de sésame marocains et 12 matériels génétiques étrangers. 76 de ces fragments (85,4 %) se sont avérés polymorphes et 13 (14,60 %) monomorphes (Tableau 41). Le nombre de bandes révélé par les amorces oscille entre 10 et 17, avec une moyenne de 12,7 par amorce. Par contre, le nombre moyen des bandes polymorphes par amorce est de 10,86, avec 6 pour l'amorce UBC807 et 17 pour l'amorce F9. Ce nombre moyen témoigne le niveau élevé du polymorphisme au sein des accessions étudiées par les amorces sélectionnées. La taille des bandes observées variait entre 200 et 2220 pb (Tableau 41). Selon Zietkiewicz et al., (1994), la technique ISSR génère des fragment d'ADN amplifiés dont la taille varie de 200 à 2500 pb.

En générale, le nombre de marqueurs ISSR généré, est positivement corrélé avec le nombre d'amorces utilisées. Cependant, ce nombre peut être beaucoup influencé par l'espèce végétale analysée et par la nature du gel de migration utilisé (Nagaraju et al., 2002; Wiesner et Wiesnerova, 2003).

Tableau 41 : Liste des 7 amorces ISSR utilisées, leurs séquences, types de répétition (TR), température d'hybridation (TH), taille des bandes, nombre total de marqueurs, nombre de marqueurs polymorphes (P) et monomorphes (M), indice de diversité génétiques (PIC) pour les accessions de sésame marocain et les 12 matériels génétiques étrangers

Nom	Séquence (5'-3')	TR	TH(C°)	Taille des bandes (rangée en pb)	Nbr total d'allèles	P	M	Polymorphisme (%)	PIC
F7	[AC] 8CT	di	46	323-1203	10	10	0	100	0,47
F8	[AG] 8CC	di	46	579-1627	10	10	0	100	0,67
F9	[AG] 8CG	di	46	216-1818	17	17	0	100	0,61
F11	[CA] 8AC	di	46	210-1386	13	11	2	84,61	0,48
F15	[GT] 8CC	di	48	278-2220	15	12	3	80	0,49
UBC807	[AG] 8T	di	46	246-1269	11	6	5	54,54	0,41
IMA8Z	[GA] 8GT	tri	46	200-1201	13	10	3	76,92	0,56
Moyenne					12,71	10,86		85,15	0,527

Le polymorphisme est calculé par le rapport fragments polymorphes/nombre total de fragments. Ainsi, le polymorphisme le plus élevé a été observé pour les amorces F7, F8 et F9 présentant tous 100 % des bandes polymorphes tandis que le polymorphisme le plus bas a été trouvé pour l'amorce UBC807 avec un taux de polymorphisme de 54,54 %. Le taux de polymorphisme moyen est de l'ordre de 85,15 %.

De même, Anitha et al., (2010) qui ont utilisé 14 amorces ISSR pour estimer la diversité génétique parmi 10 variétés du sésame cultivées dans le Tamil Nadu, en Inde, ont abouti à 66 bandes amplifiées et reproductibles à partir de laquelle 65 (98,5 %) étaient polymorphes. En revanche, Kim et al., (2002) qui ont utilisé les marqueurs ISSR pour déterminer les relations génétiques entre 75 accessions du sésame coréen et exotique en utilisant quatorze amorces ISSR fiables, ont obtenu 79 produits d'amplification dont seulement 26 (33 %) étaient polymorphes. Cependant, les auteurs ont constaté que le faible polymorphisme pourrait être dû à la résolution du gel d'agarose et des problèmes de visualisation. En outre Bhat et al., (1999), Ghulam et al., (2007) et Abdellatif et al., (2008) ont trouvé la présence d'une diversité génétique élevée entre les cultivars, les accessions et les populations du sésame dans différentes zones en utilisant des marqueurs moléculaires différents.

II.2. Similarité génétique

Les similarités entre les différentes accessions ont été calculées sur la base des 89 marqueurs ISSR obtenus (Figure 43). Les coefficients de similarité varient de 0,202 à 0,966, avec une moyenne de 0,601. Le coefficient de similarité le plus élevé (0,966) a été enregistrée entre les accessions 8 et 22, ce qui indique qu'aucuns marqueurs ne les différencient et qu'ils ont la même appartenance (Tableau 42). Le coefficient de similarité le plus faible (0,202) a été détecté entre les accessions 43 et 42 (Tableau 42), ce qui suggère une distance génétique maximale entre ces deux accessions. 70 marqueurs différents différencient ces deux matériels génétiques étrangers (Tableau 42).

Parmi les 990 combinaisons de paires, seulement 47 paires d'accessions ont été différenciés par moins de 10 marqueurs. Le reste, 943 paires ont été distingués par 11 à 70 marqueurs (Figure 42)

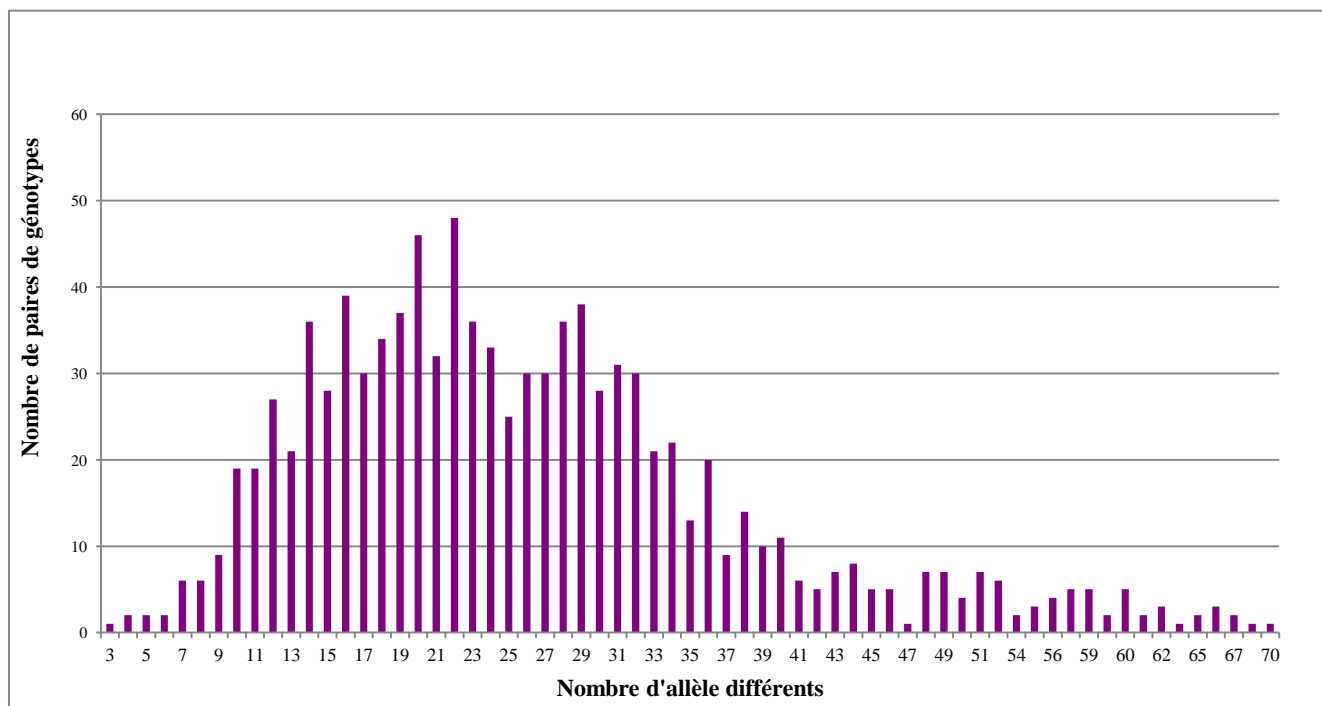


Figure 43 : Distribution des fréquences de similarité génétique pour toutes les paires parmi les 33 accessions de sésame marocain et les 12 matériels génétiques étrangers.

Tableau 42 : Coefficients de similarité ISSR enregistrées entre les accessions de sésame marocain et les 12 matériels génétiques étrangers et les nombres correspondants de paires d'accessions et de marqueurs différents

Similarité	Nombre de paires d'accessions	Nombre de marqueurs différents	Similarité	Nombre de paires d'accessions	Nombre de marqueurs différents
0,966	1	3	0,607	13	35
0,955	2	4	0,596	20	36
0,944	2	5	0,584	9	37
0,933	2	6	0,573	14	38
0,921	6	7	0,562	10	39
0,910	6	8	0,551	11	40
0,899	9	9	0,539	6	41
0,888	19	10	0,528	5	42
0,876	19	11	0,517	7	43
0,865	27	12	0,506	8	44
0,854	21	13	0,494	5	45
0,843	36	14	0,483	5	46
0,831	28	15	0,472	1	47
0,820	39	16	0,461	7	48
0,809	30	17	0,449	7	49
0,798	34	18	0,438	4	50
0,787	37	19	0,427	7	51
0,775	46	20	0,404	6	53
0,764	32	21	0,393	2	54
0,753	48	22	0,382	3	55
0,742	36	23	0,371	4	56
0,730	33	24	0,360	5	56
0,719	25	25	0,337	5	59
0,708	30	26	0,326	2	59
0,697	30	27	0,315	5	60
0,685	36	28	0,303	2	62
0,674	38	29	0,292	3	62
0,663	28	30	0,270	1	64
0,652	31	31	0,258	2	65
0,640	30	32	0,247	3	66
0,629	21	33	0,236	2	67
0,618	22	34	0,225	1	68
			0,202	1	70

II.3. Indice de Diversité génétique PIC

Les sept amorces utilisées ont généré un polymorphisme ayant un indice de diversité génétique variable et significative (PIC). Plus sa valeur tend vers un plus l'amorce en question est polymorphe. Pour les sept amorces, les valeurs du PIC varient de 0,41 à 0,67 avec une moyenne de 0,527. La valeur la plus élevée a été enregistrée pour l'amorce F8, ce qui confirme la plus grande diversité dans cette amorce. L'amorce UBC 807 a enregistré la valeur du PIC la plus basse, ce qui indique la plus faible diversité dans cette amorce. Ces valeurs sont comparables aux valeurs obtenues par Anitha et al., (2010) pour 10 accessions de sésame Indien (PIC entre 0,496 et 0,854), par Abate et al., (2015) pour le sésame éthiopien (de 0,26 à 0,76).

Les valeurs du PIC trouvées pour les 33 accessions du sésame marocain et les 12 matériels génétiques étrangers sont supérieures à celles trouvées au sein des 33 accessions du sésame marocain. Ce qui indique une diversité génétique maximale entre les accessions du sésame marocain et les 12 matériels génétiques étrangers.

En général, chez les plantes, les valeurs du contenu informatif du polymorphisme (PIC) varient du zéro, pour les marqueurs monomorphes, à 0,5 pour des marqueurs polymorphes (Roldan-Ruiz et al., 2000). Les valeurs que nous avons trouvées dans les deux caractérisations (0,002 – 0,349 pour les accessions marocaines et (0,41-0,67) pour les accessions marocaines et les 12 matériels génétiques étrangers sont en accord avec celles de Houmanat et al., (2016) (PIC : 0-0,40) travaillant sur une collection de carthame et Tonk et al., (2014) qui ont trouvé une valeur allant de 0,12 à 0,49 pour les génotypes de triticale en utilisant des amorces ISSR. Farsani et al., (2012) ont trouvé des valeurs du PIC allant de 0,26 à 0,46 dans la caractérisation des Bermudagrass (*Cynodon dactylon*). Alam et al., (2015) ont rapporté des valeurs variant de 0,22 à 0,37 dans leur étude moléculaire sur pourpier (*Portulaca oleracea* L.) en utilisant des marqueurs ISSR.

II.4. Relation génétique entre les 33 accessions marocaines de sésame et les 12 matériels génétiques étrangers selon ISSR

L'usage de ces bandes ISSR dans l'analyse statistique UPGMA a montré une large diversité génétique notamment à un niveau de similarité voisinant 86-90 %.

Le Dendrogramme construit suivant la procédure UPGMA sur la base des coefficients de similarité de 33 accessions marocaines de sésame et les 12 matériels génétiques étrangers en utilisant les sept amorces ISSR sont présentés dans la figure 43.

Le dendrogramme a été tronqué au niveau de 0,73 de similitude génétique et a divisé les 33 accessions marocaines en plus des 12 matériels génétiques étrangers du sésame en quatre groupes principaux (I, II, III et IV) et trois accessions A, D et J ont été trouvées indépendantes (Figure 44). Le Cluster I regroupe 30 accessions marocaines (à l'exception de A, D et J) et le matériel génétique étranger d'origine égyptienne 38. Le cluster II composé des matériels génétiques étrangers 49 et 50. Le cluster III renferme les matériels génétiques étrangers 40, 41, 44, 45, 48, 43, et 47. Le cluster IV renferme les matériels génétiques étrangers 46 et 42.

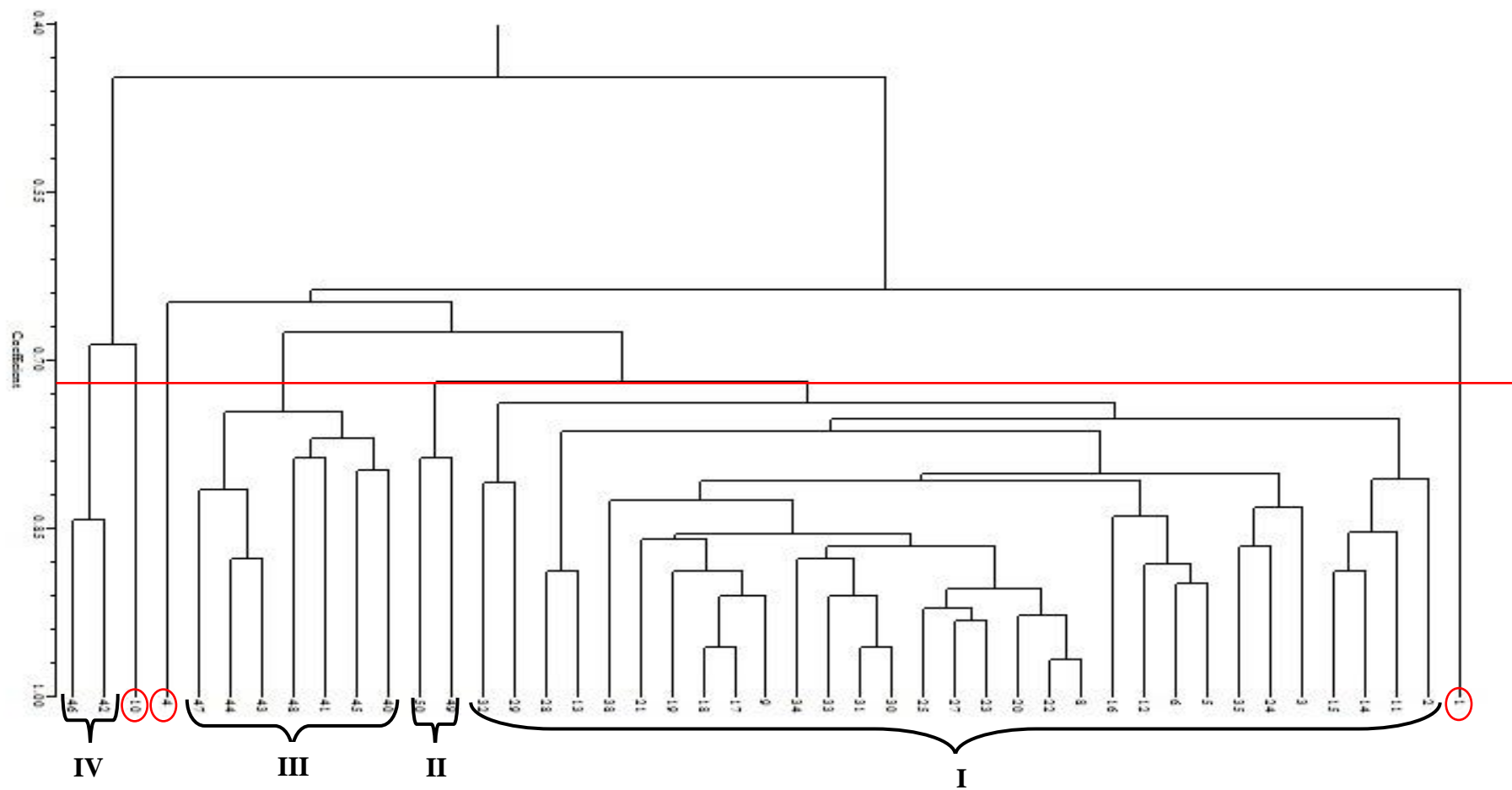


Figure 44 : Dendrogramme généré pour 33 accessions de sésame et les 12 matériels génétiques étrangers en utilisant une analyse de cluster UPGMA.

(A :1, B :2, C :3, D :4, E :5, F :6, H :8, I :9, J :10, K: 11, L:12, M: 13, N:14, O:15, P:16, Q:17, R:18, S:19, T:20, U:21, V:22, A':23, B':24, C':25, E':27, F':28, G':29, H' :30,I' :31, J' : 32, K' : 33, L' : 34 et M' :35).

Conclusion

Les coefficients de similarité et le PIC trouvées dans cette étude ont indiqué que les marqueurs ISSR utilisés ont été très reproductibles. Les valeurs du PIC trouvées pour les accessions marocaines et qui varient de 0,002 à 0,349, montrent qu'il ya une diversité génétique faible. Ceux-ci sont confirmés par les comparaisons de combinaisons par paires d'accessions. La plupart des ces paires d'accessions (6556 parmi 8911) ont été différenciés par moins de 10 marqueurs. Le reste, 2355 paires d'accessions se distinguent par 11 à 28 marqueurs. En comparant les accessions marocaines avec les 12 matériels génétiques étrangers, les valeurs du PIC varient de 0,41 à 0,67, ce qui montre une variabilité génétique considérable. Cette variabilité est confirmé par le fait que seulement 47 parmi 990 paires d'accessions ont été différenciés par moins de 10 marqueurs.

Bien qu'un nombre limité de marqueurs ISSR aient été utilisés dans l'étude, les résultats confirment que les marqueurs ISSR sont efficaces dans la détection de polymorphisme au sein et entre les accessions de sésame collectées dans la proximité géographique et aussi en comparaison avec les matériels génétiques étrangers.

A 88,8 % de similarité, les individus des 33 accessions du sésame marocain ont été regroupés en quatre grands clusters et six branches indépendantes. Alors que en comparaison avec les 12 matériels génétiques étrangers le dendrogramme engendré révèle, au niveau de 0,73 de similitude génétique, quatre principaux groupes et trois accessions de sésame marocain indépendantes (A, D et J). Les autres 30 accessions marocaines ont été regroupées dans le Cluster 1 avec le matériel génétique étranger d'origine égyptienne 38.

Chapitre V : Etude de l'effet du stress salin, du stress hydrique et de la température sur la germination des semences du sésame de différentes couleurs

I. Effets des contraintes de l'eau, du sel et de la couleur des semences sur la germination des graines

Le stress hydrique, le stress salin et la température ont un effet significatif sur le pourcentage de germination (PG), le taux de germination (TG) et le temps moyen de germination (TMG) des deux accessions marocaines de sésame de couleurs brune et jaune et des deux matériels génétiques étrangers de couleurs noir et blanche (couleurs) ($p < 0,01$) (Tableau 43). Cependant, l'inhibition de la germination a été plus prononcée en cas de stress hydrique, en utilisant le PEG 6000 (Figure 45). En outre, il existe des différences significatives entre les types de semences pour ces paramètres. En absence de tout stress, le PG était d'environ 40 % pour les semences noires, 56 % pour les semences blanches et 100 % pour les semences jaunes et brunes (Figure 45), tandis que le TG était de 19, 26, 99 et 98 %, respectivement (Figure 46). Le TMG correspondant était de 0,054 jour pour les semences noires, 0,04 jour pour les semences blanches et 0,01 jour pour les semences jaunes et brunes (Figure 47). Il y a un effet significatif de l'interaction couleur de la semence x stress hydrique et couleur de la semence x stress salin sur les paramètres étudiés ($P < 0,01$), ce qui indique que les semences, selon leur couleur, ont réagi différemment aux niveaux des deux stress. Les semences jaunes et brunes ont continué à germer jusqu'à -1,4 MPa de NaCl et 1 MPa de PEG. Nous pouvons observer une réduction progressive du PG en augmentant le niveau du stress hydrique ou salin, par diminution du potentiel osmotique de -0,6 à -1,2 MPa de la solution de NaCl et de -0,4 à -1 MPa de la solution de PEG (Figure 45). Sous stress salin, la réduction drastique des PG (Figure 45) et TG (Figure 46) et le retard drastique de TMG (Figure 47) sont survenus à -1,4 MPa, alors qu'en conditions de stress hydrique, ils se sont produits à -1MPa. En dessous de ce potentiel osmotique, aucune germination n'a été enregistrée (Figure 45). Pour les semences blanches et noires, il y a une diminution drastique du PG (Figure 45) et du TG (Figure 46) ainsi qu'un retard conséquent de TMG (Figure 47) déjà à -0,2 MPa de PEG et de NaCl, indiquant la sensibilité de ces semences à un faible niveau de stress hydrique et salin. Les semences blanches ont connu un arrêt de germination à partir d'un potentiel osmotique de -1MPa de PEG et de -1,4 MPa de NaCl, tandis que les semences noires ont arrêté à germer à partir de -0,8 MPa de PEG et de -1,4 MPa de NaCl (Figure 45). Ainsi, les semences jaunes et brunes caractérisant les accessions marocaines présentent des PG et des TG supérieurs et un

TMG inférieur aux semences blanches et noires caractérisant les accessions américaines, en absence de stress et sous différents niveaux de stress hydrique et stress salin. Pour tous les types de semences, les deux stress affectent et retardent la germination des graines. Cependant, au niveau équivalent de stress (même potentiel osmotique), NaCl avait un effet inhibiteur inférieur à celui du PEG 6000.

Tableau 43 : Analyse de la variance (valeurs moyennes au carré) pour la germination et la croissance de quatre types de semences de sésame de couleurs différentes évaluées sous le stress hydrique, stress salin et des différentes températures

Source de la variation	Degrée de liberté	pourcentage de germination	Taux de germination	Temps moyen de germination	Lonhueyr de la racine	Longueur de la pousse
Stress hydrique						
Couleur des semences (CS)	3	20865.86 **	15814.37 **	0.85 **	1.75 **	0.99 **
Stress hydrique	7	8669.36 **	6666.72 **	0.27 *	41.70 **	35.70 **
CS x SH	21	1443.85 **	1332.25 **	0.17 *	0.87 **	1.31 **
Stress salin						
Couleur des semences (CS)	3	38307.56**	29481.14 **	1.94 **	3.77 **	1.43 **
Stress salin (SS)	7	5543.09 **	4747.05**	0.99 **	50.07 **	37.37 **
CSx SS	21	909.93 **	839.18 **	0.35 **	0.56 **	0.48 **
Température						
Couleur des semences (CS)	3	9546,36 **	5889,28 **	0,1716 **	3,9462 **	2,395 **
Température (T)	6	7230,91 **	8632,52 **	0,2593 **	56,391 **	40,749 **
CS x T	18	1934,56 **	1049,58 **	0,0795 **	0,945 **	1,0993 **

* et ** : effet statistiquement significatif au niveaux de probabilité 5% et 1%, respectivement.

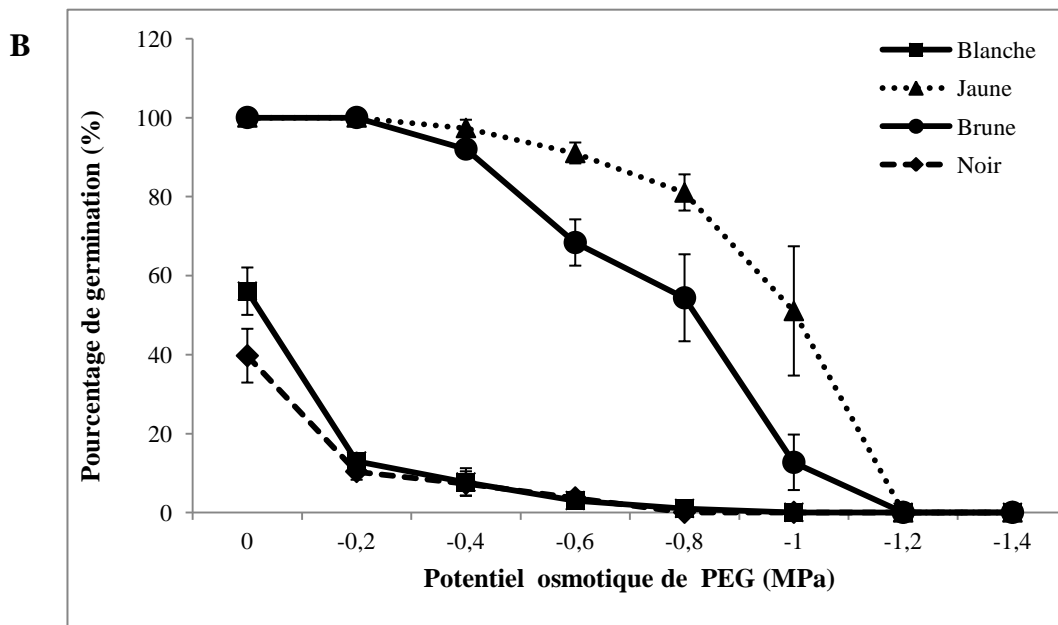
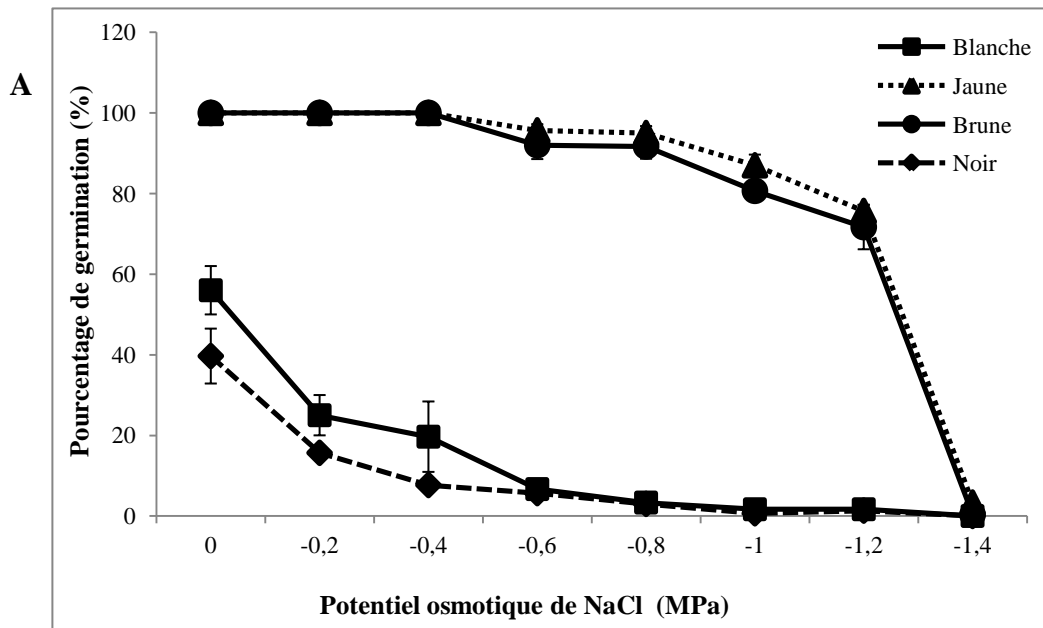


Figure 45 : Variation du pourcentage de germination de 4 types de semences germées sous différents potentiels osmotiques (PO) de NaCl (A) et PEG (B).

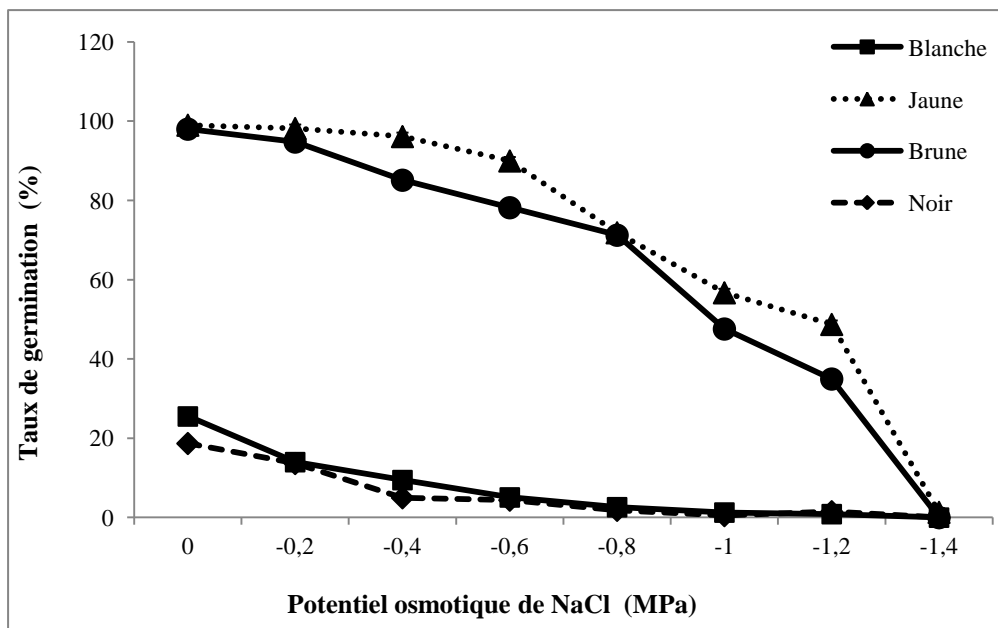
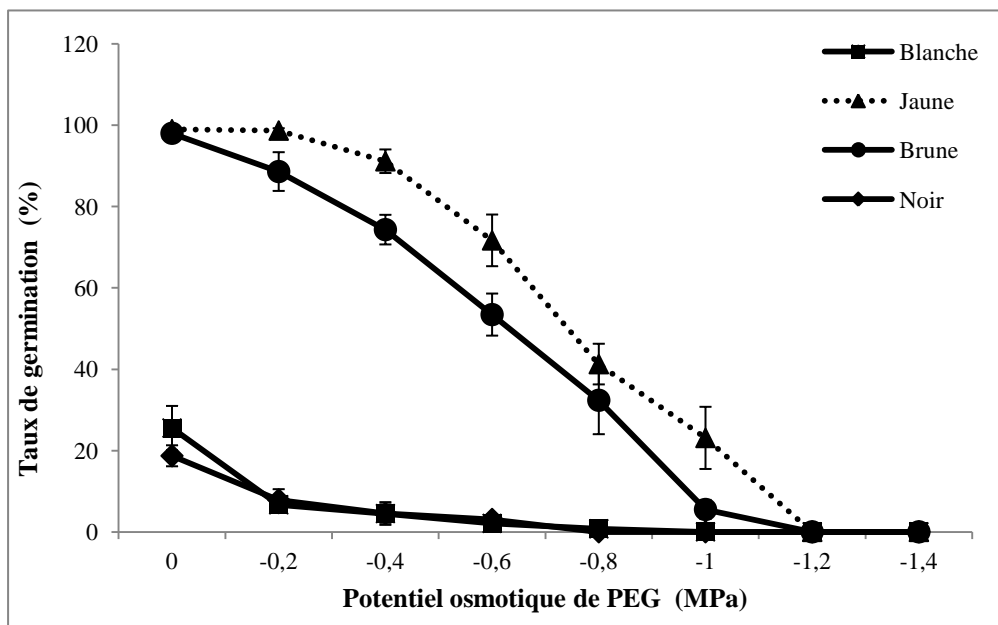
A**B**

Figure 46 : Variation du taux de germination de 4 types de semences germées sous différents potentiels osmotiques (PO) de solutions de NaCl (A) et de PEG (B).

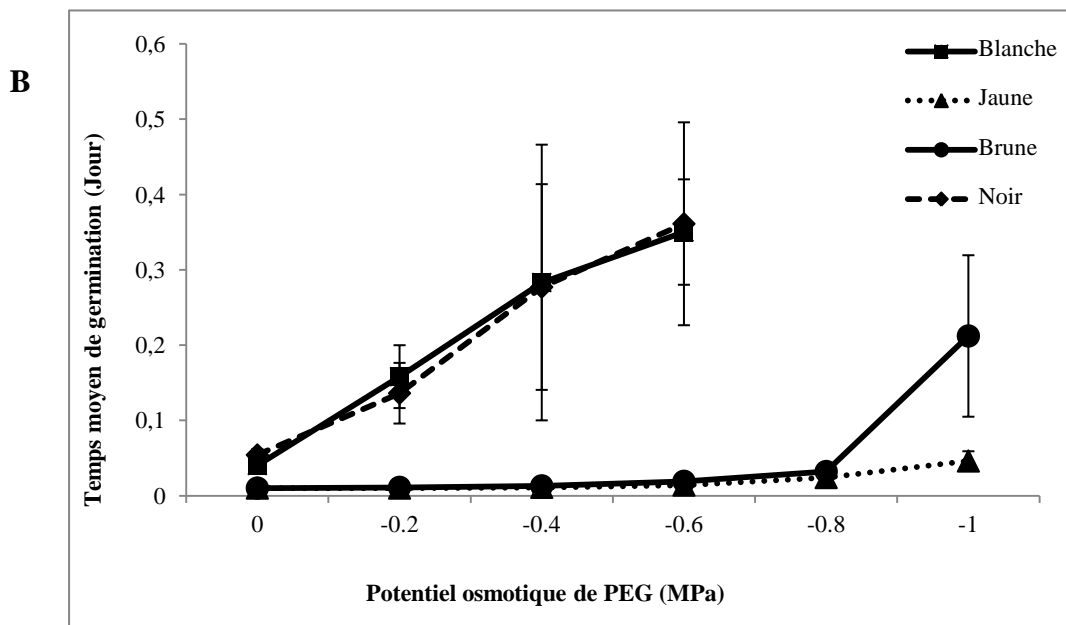
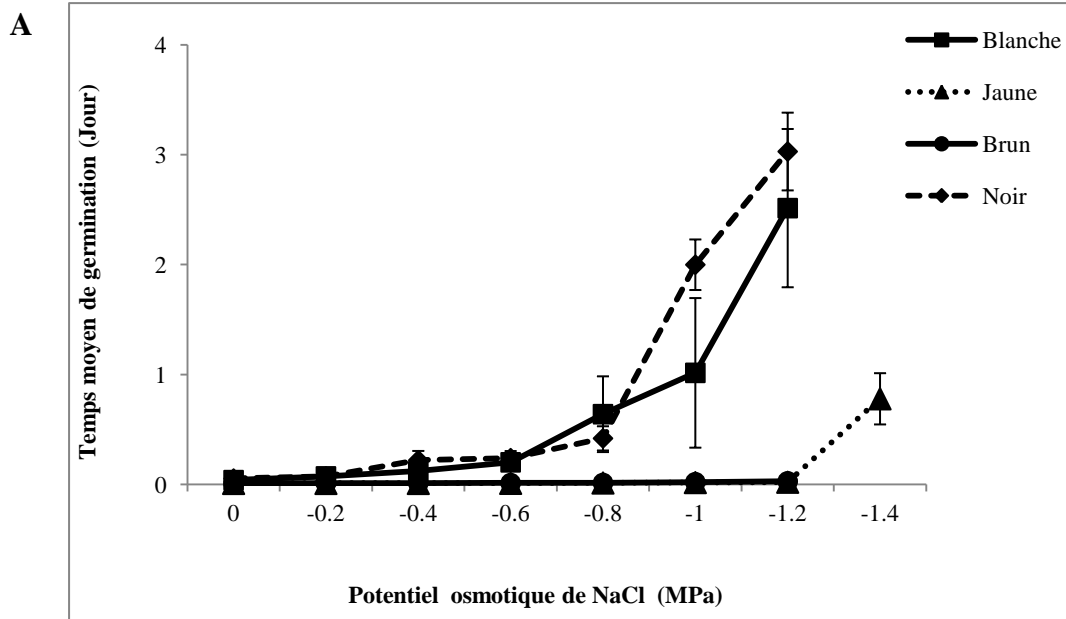


Figure 47 : Variation du temps moyen de germination de 4 types de semences germées sous différents potentiels osmotiques (PO) de solutions de NaCl (A) et de PEG (B).

II. Effets des différentes températures et la couleur des semences sur la germination des graines

L'effet de différentes températures sur la germination des différentes semences de sésame est illustré dans les figures 48,49 et 50. Ainsi, la température a un effet hautement significatif sur le pourcentage de germination, le taux de germination et le temps moyen de germination des semences de sésame ($p < 0,01$) (Tableau 43). Il existe aussi une différence significative entre les quatre types de semences pour ces paramètres ($p < 0,01$) (Tableau 43). A la température 12°C, le pourcentage de germination est de 55, 7 et 3,7 % pour les semences noires, blanches et brunes, respectivement, alors que les semences jaunes n'ont pas pu germer à cette température (Figure 48). Le TG est de 10, 1,33 et 1,26 %, respectivement (Figure 49). A 25°C, le pourcentage de germination est de 100% pour les semences jaunes et brunes, 56 % pour les semences blanches et 4 % pour les noires (Figure 48). Le TMG correspondant est de 0,01 jour pour les semences jaunes et brunes, 0,02 jour pour les semences noires et 0,04 jour pour les semences blanches (Figure 50). Le PG et le TG les plus élevés et le TMG le plus faible ont été observés à 40°C pour les semences blanches, à 25°C pour les semences jaunes et brunes et à 21°C pour les semences noires.

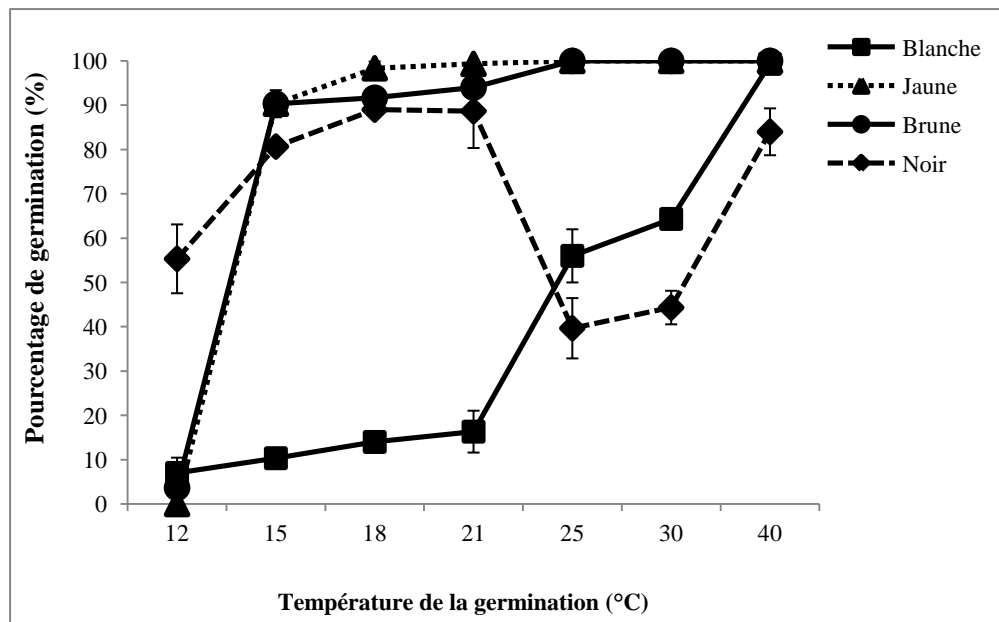


Figure 48 : Variation du pourcentage de la germination de 4 types de semences germées sous différentes températures.

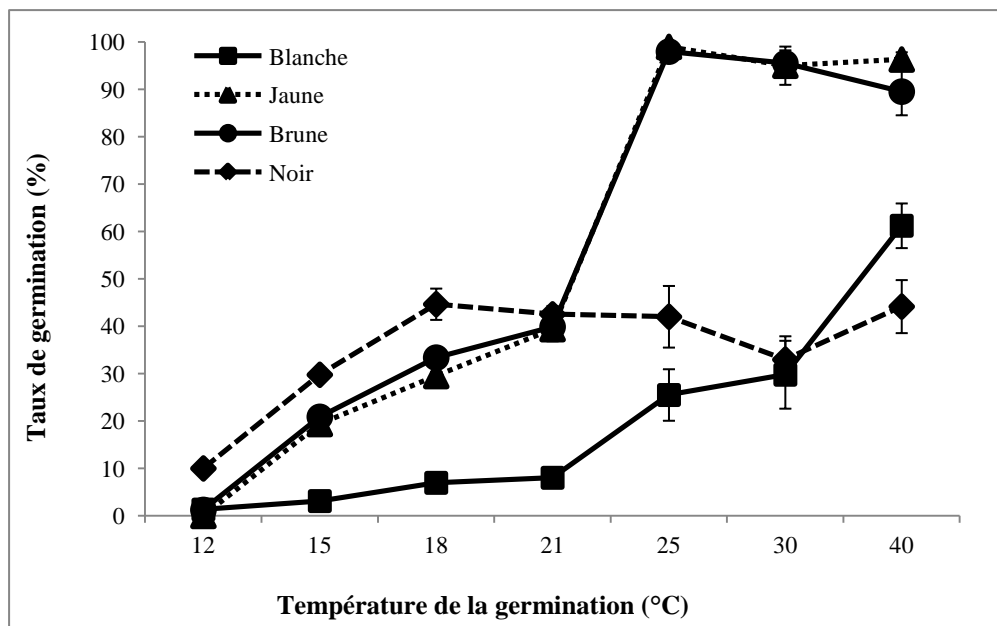


Figure 49 : Variation du taux de germination de 4 types de semences germées sous différentes températures.

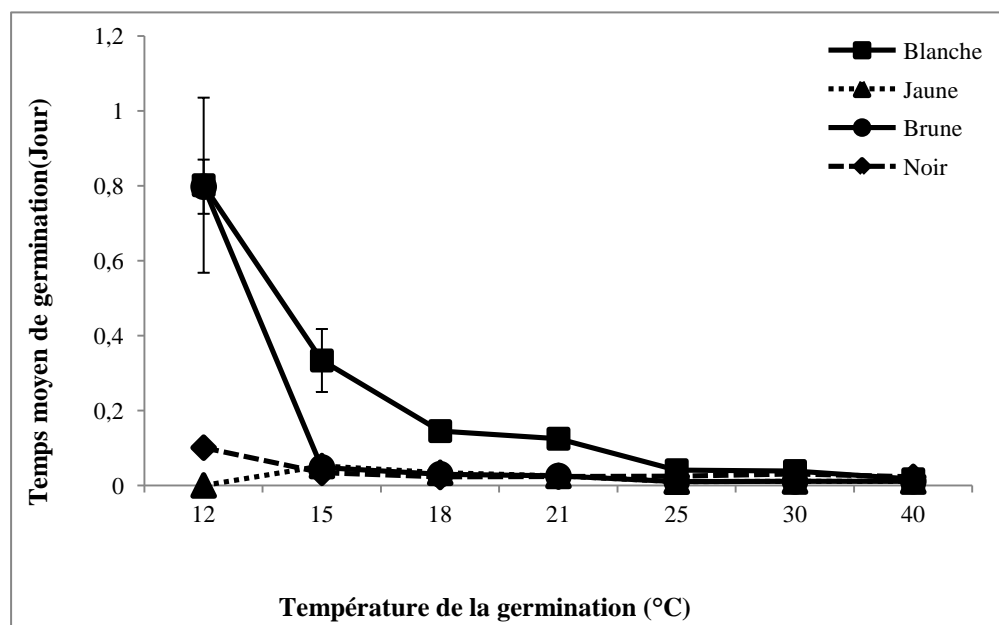


Figure 50 : Variation du temps moyen de germination de 4 types de semences germées sous différentes températures.

III. Effets des stress hydrique et salin et de la couleur des semences sur la croissance des jeunes plantules de sésame

Le stress hydrique et le stress salin ont un effet significatif sur la longueur des racines (LR) et la longueur des pousses (LP) de tous les types de semences ($P < 0,01$) (Tableau 43). Cependant, pour la longueur des racines (Figure 51) et la longueur des pousses (Figure 52), l'inhibition de l'allongement a été plus prononcée dans le cas du stress hydrique, en utilisant du PEG, qu'en cas du stress salin, en utilisant du NaCl. Aussi, il y a des différences significatives entre les types de semences (couleurs) pour la longueur des racines et la longueur des pousses. En absence de tout stress, la LR est de 5,50 cm pour les semences noires, 5,44 cm pour les semences brunes, 5,05 cm pour les semences jaunes et 4,60 cm pour les semences blanches (Figure 51 a et b). La LP est de 5,57, 4,10, 4,60 et 5,02 cm, respectivement (Figure 52 a et b). Sous stress hydrique (PEG) et stress salin (NaCl), les LR et LP ont diminué pour tous les types de semences pour tous les niveaux de stress. Cependant, la diminution est, en général, supérieure en cas de PEG que NaCl (Figures 51 et 52). Pour le même potentiel osmotique, et pour tous les types de semences, le PEG a un effet inhibiteur plus élevé sur LR et LP que le NaCl, sauf à -1 MPa, où les semences brunes exposé au stress hydrique, induit par le PEG, ont présenté des LR et LP élevés. Les valeurs étaient encore plus élevées que ceux enregistrés en vertu de la salinité induit par NaCl. De même, il y a un effet de l'interaction couleur de semences x sécheresse et couleur des semences x salinité sur les paramètres de croissance précoce des jeunes plantules ($P < 0,01$) (Tableau 43). Pour les deux LR et LP, les types de semences ont réagi différemment au niveau de ces deux stress. Sous stress salin intermédiaire (-0,6 MPa de NaCl), la LR a été réduite de 58 % pour les semences blanches, 40 % pour les semences noires, 22 % pour les semences brunes et 16% pour les semences jaunes (Figure 51), tandis que la LP a été réduite de 54, 48, 32 et 59 %, respectivement (Figure 52). En cas de stress salin sévère (-1,2 MPa de NaCl), la LR a été diminué, respectivement, de 88, 86, 91 et 90 % (Figure 51a), et la LP a été diminué, respectivement, de 88, 87, 88 et 84 % pour ces quatre types de semences (Figure 52a). Ces résultats indiquent que la croissance précoce des jeunes plantules dérivées des semences jaunes et brunes est globalement moins affectée par le stress salin intermédiaire et sévère que les plantules des semences noires et blanches.

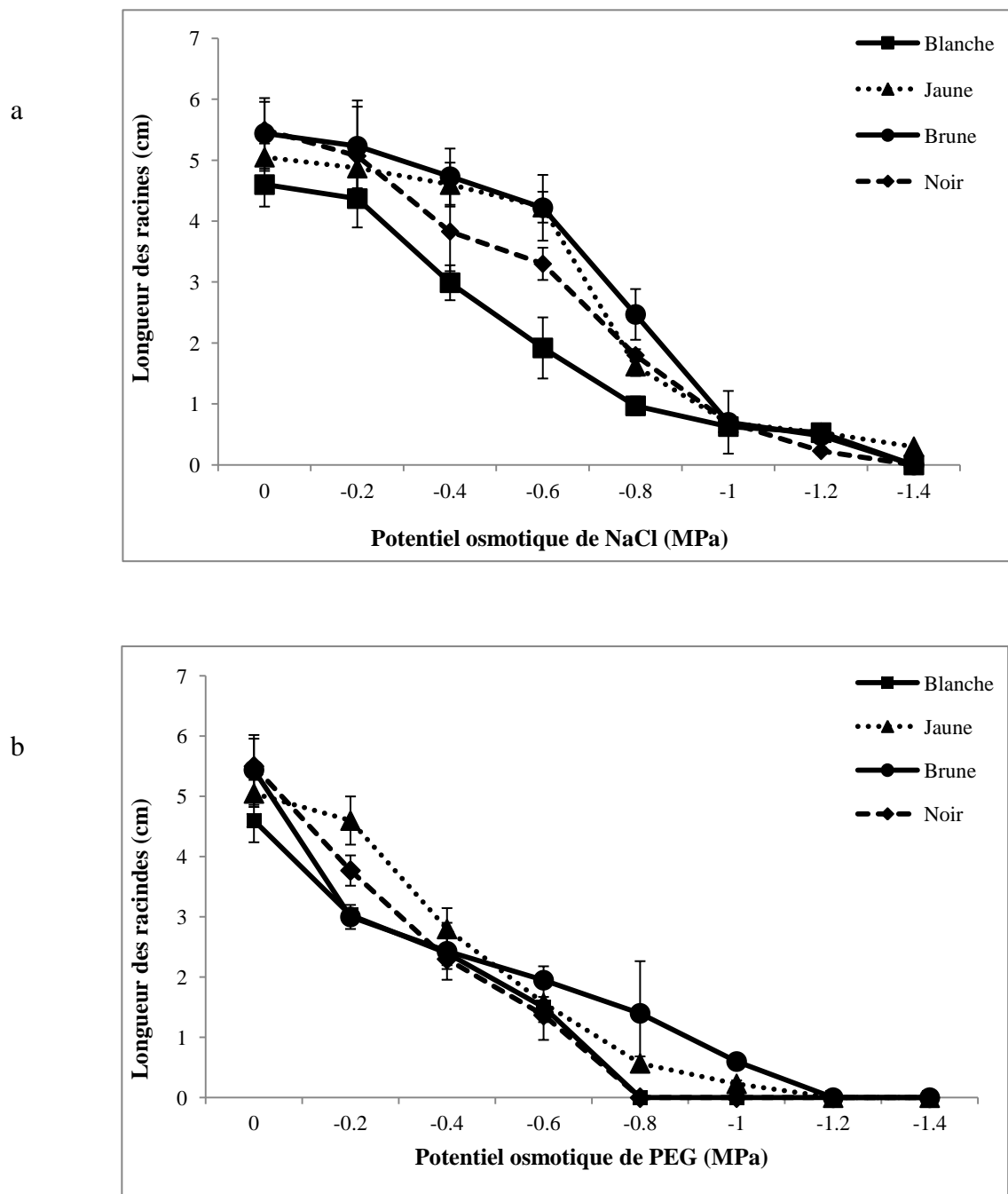


Figure 51 : Variation de la longueur des racines de jeunes plantules issues de 4 types de semences germées sous différents potentiels osmotiques (PO) de solutions de NaCl (A) et de PEG (B).

Sous stress hydrique intermédiaire (-0,4 MPa de PEG), la LR a été réduite de 58% pour les semences noires, 55 % pour les semences brunes, 48 % pour les semences blanches et 45 % pour les semences jaunes (Figure 51), tandis que la LP a été réduite de 46, 71, 38 et 64 %, respectivement (Figure 52). Cela indique que, sous stress hydrique intermédiaire, et de façon surprenante, la croissance précoce des plantules dérivées des semences noires et blanches est moins affectée que les plantules des semences jaunes et brunes. Sous stress hydrique relativement sévère (-0,8 MPa de PEG), il n'y a pas de germination des semences noires (Figure 45), tandis que la LR a été diminué, respectivement, de 74,88 % et 96 % pour les semences brunes, jaunes et blanches, respectivement (Figure 51b). La LP a été réduite de 81, 86 et 97 %, respectivement pour ces trois types de semences (Figure 52). Ainsi, en ce qui concerne la croissance précoce des jeunes plantules, les semences brunes étaient les plus tolérantes à la sécheresse sévère, suivies des semences jaunes. Les semences blanches étaient les plus sensibles.

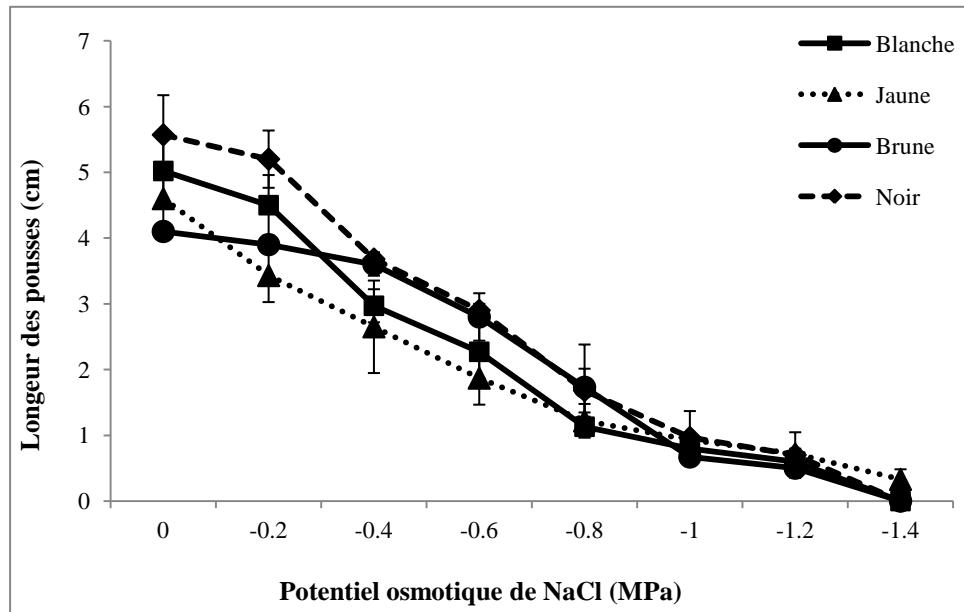
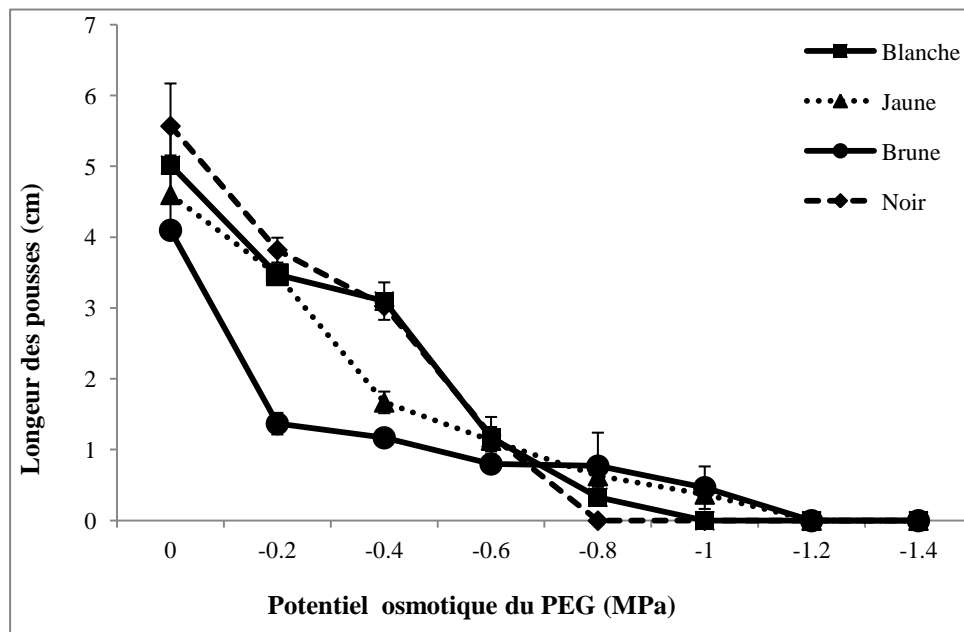
a**b**

Figure 52 : Variation de la longueur des pousses de jeunes plantules issues de 4 types de semences germées sous différents potentiels osmotiques (PO) des solutions de NaCl (A) et de PEG (B).

IV. Effets de la température et de la couleur des semences sur la croissance précoce des jeunes plantules

La température a un effet significatif sur la longueur de la racine et la longueur de la pousse des jeunes plantules ($P < 0,01$) (Tableau 43). Les valeurs des deux paramètres augmentent avec l'augmentation de la température pour tous types de semences. Les valeurs les plus élevées de LP ont été enregistrées à la température 40°C alors que celles de la LR ont été enregistrées à 25°C. Il y a une interaction significative entre la couleur des semences et la température pour ces paramètres de croissance précoces, LR et LP ($P < 0,01$) (Tableau 43). Ainsi, les jeunes plantules issues de ces semences de différentes couleurs réagissent différemment aux différentes températures. A 15°C, les valeurs de la longueur de la pousse sont 1,02, 2,2, 2,03 et 2,7 cm pour les semences blanches, jaunes, brunes et noires, respectivement, tandis que les valeurs de la longueur de la racine sont 5, 4,6, 4 et 5,5 cm pour les mêmes semences, respectivement (Figure 53). A 25°C, la longueur de la pousse varie de 4,1 à 5,5 cm pour les semences brunes et noires, respectivement, alors que la longueur de la racine varie de 4,6 à 5,5 cm pour les semences blanches et noires, respectivement (Figure 54).

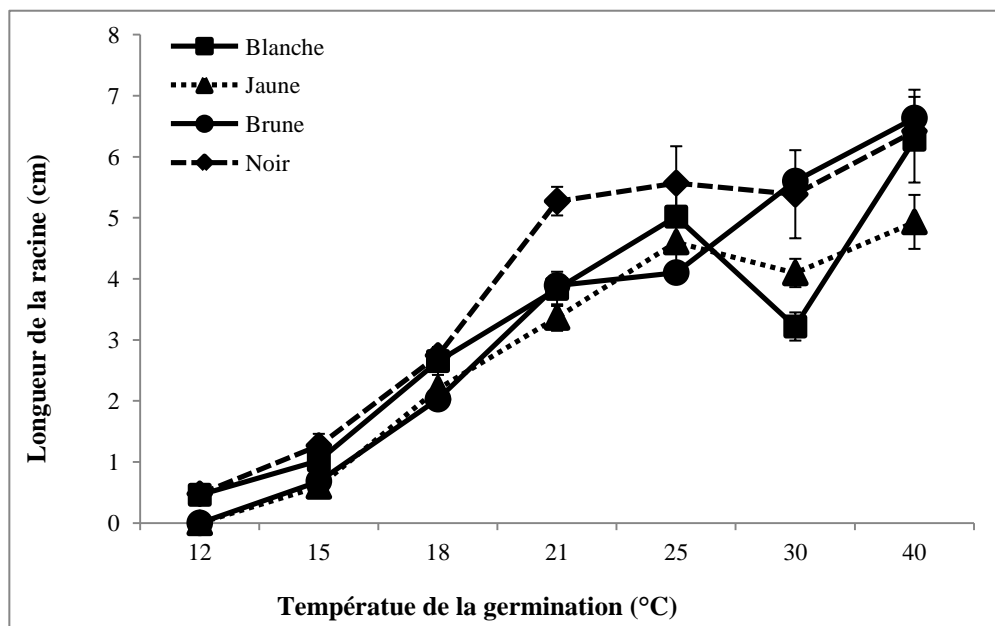


Figure 53 : Variation de la longueur des racines des jeunes plantules de 4 types de semences germées sous différentes températures.

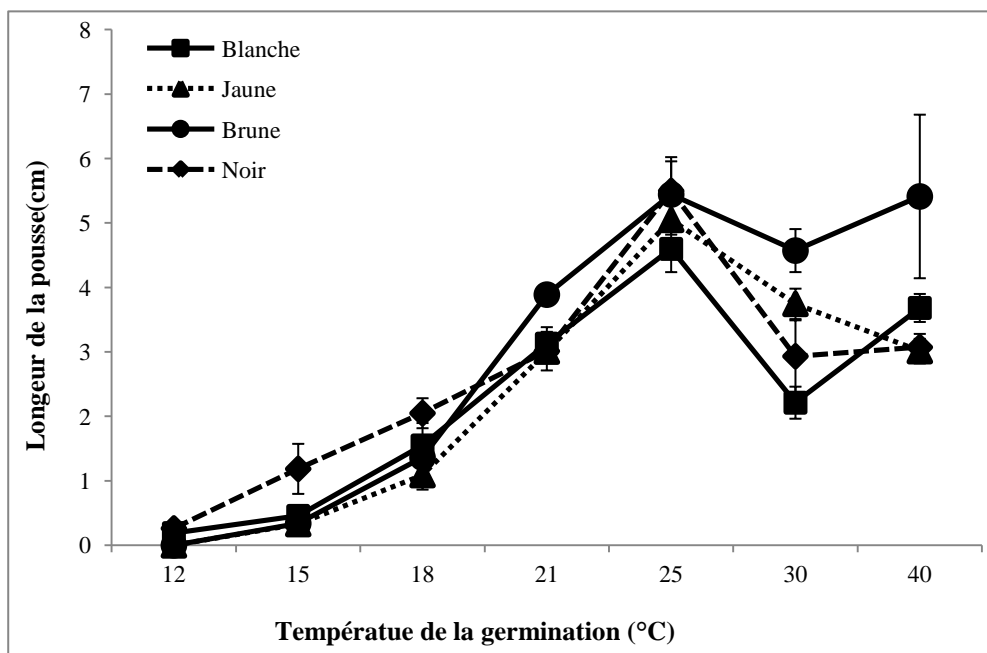


Figure 54 : Variation de la longueur des pousses des jeunes plantules de 4 types de semences germées sous différentes températures.

Tous les paramètres de la germination des graines mesurés, PG, RG et TMG, ont été affectés par les deux stress, hydrique et salin. PG et TG diminuent et TMG augmente avec l'augmentation du niveau des stress. Cependant, les semences jaunes et brunes des cultivars locaux marocains ont été moins touchées que les semences blanches et noires des accessions américaines, indiquant que, pour la germination des semences, les accessions marocaines seraient plus tolérantes aux deux stress que leurs homologues américains. En outre, en ce qui concerne les paramètres de croissance précoce des jeunes plantules, LR et LP, ils ont été aussi affectés par les deux stress, en diminuant avec l'augmentation du niveau des stress. Néanmoins, les semences brunes et jaunes ont été moins affectées que les semences blanches et noires pour ces paramètres. Ainsi, pour la croissance précoce des jeunes plantules, les accessions marocaines se sont avérées plus tolérantes aux deux stress que leurs homologues américains. Des études antérieures sur le sésame ont également mis en évidence l'effet du génotype et du stress hydrique (Boureima et al., 2011; Bahrami et al., 2012; Keshavarzi, 2012) et du génotype et du stress salin (Bahrami et Razmjoo, 2012; Tabatabaei et Naghibalghora, 2014) sur la germination des semences et les paramètres de croissance des jeunes plantules de sésame. La réduction drastique du PG et TG des semences jaune et brunes de -1.2 à -1.4 MPa peut être expliquée par le fait que le potentiel osmotique correspondant à -

1,2 MPa est une ligne de frontière pour commencer la réduction des caractéristiques de la germination. Ce résultat est en accord avec les résultats trouvés par Boureima et al., (2011) étudiant l'effet de différents stress hydrique sur la germination du sésame, avec une réduction du pourcentage de germination de 76,36 % à -1 MPa à 0 à -1,5 MPa. La réduction de la germination a également été observée dans les graines decultivare du colza (Exagone), qui diminuent de 80 % à -0.9 MPa à 0 % à -1.2MPa (Pace et Benincasa, 2010). Pour germer, les graines jaunes et brunes peuvent tolérer jusqu'à -1MPa de PEG, et à partir de -1,2 MPa, aucune germination n'a été observée. De même, pour le tournesol, il a été signalé qu'aucune des semences expérimentées n'a pu germer à -1,2 MPa (Kaya et al., 2006). Cependant, dans une étude récente sur le carthame, il a été démontré que les graines cessent de germer à -2,5 MPa (Zraibi et al., 2011).

Pour tous les types de semences (couleurs), NaCl et PEG affectent la germination et la croissance précoce des jeunes plantules de sésame. Toutefois, le PEG a eu un effet inhibiteur supérieur à celui du NaCl. En effet, pour le même potentiel hydrique, la germination et la croissance précoce des plantules ont été moins touchées sous traitement de NaCl que sous traitement de PEG. Ces résultats sont en concordance avec ceux d'autres études sur diverses espèces, comme le carthame (Zraibi et al., 2011), le tournesol (Kaya et al., 2006), le soja (Khajeh-Hosseini et al., 2003), le blé dur (Sayar et al., 2010), le pois (Okçu et al., 2005) et le niébé (Murillo-Amador et al., 2002). Cela démontre que, pour le même potentiel hydrique, le stress hydrique est plus sévère que le stress salin. Le PG inférieur obtenu pour le PEG, en comparaison au NaCl à des potentiels d'eau équivalents, a suggéré que l'inhibition de la germination était due à un effet osmotique plutôt que l'accumulation d'ions spécifiques. Dans des études précédentes, il a été démontré que le PEG n'a eu aucun effet toxique puisque toutes les graines reprennent leur germination lorsque le stress PEG a été levé (Khajeh-Hosseini et al., 2003; Kaya et al., 2006). En outre, il a été constaté que les molécules de PEG ne sont pas entrés dans la graine (Michel, 1983 ; Mehra et al., 2003). Le TMG en solution de NaCl est plus faible qu'en solution de PEG pour le même potentiel de l'eau. Ceci pourrait être expliqué par l'absorption d'eau plus rapide dans des solutions de NaCl. Des résultats similaires ont été rapportés par Khajeh-Hosseini et al., (2003) chez le soja et Zraibi et al., (2011) chez le carthame.

D'autre part, en comparant l'effet de PEG et de NaCl sur le pourcentage de germination et de la longueur des racines et des pousses, ces deux stress, indépendamment de leur niveau, ont eu un effet inhibiteur moindre sur la germination des semences que sur la croissance précoce

des plantules, pour les semences jaunes et brunes qui caractérisent les cultivars locaux marocains. Contrairement, ces stress ont eu un effet inhibiteur moindre sur la croissance précoce des plantules que sur la germination des semences blanches et noires qui caractérisent les accessions américaines. Ainsi, il pourrait être suggéré que, sous conditions de stress hydrique et salin, la sélection précoce devrait être basée sur le pourcentage de germination pour les types de semences blanches et noires, et sur la longueur des racines et des pousses pour les types de semences jaunes et brunes. En fait, il a été signalé que la longueur de la racine et la longueur des pousses étaient des paramètres les plus importants dans l'évaluation de la sensibilité au stress salin, fournissant un indice pertinent de la réponse des plantes à ce stress (Jamil et Rha, 2004; Jamil et al., 2006).

Les accessions marocaines doivent être aussi évaluées à des stades de croissance des plantes adultes pour confirmer leur tolérance aux deux stress hydrique et salin, en comparant les effets de ces stress sur les caractères morphologiques, physiologiques et agronomiques.

D'une façon générale, les paramètres de la germination mesurés varient avec la température de la germination utilisée. Le PG, le TG, la LR et la LP augment avec l'augmentation de la température de germination tandis que le TMG diminue. Les résultats trouvés dans notre étude sont en accord avec celles de Kyauk et al., (1995), étudiant l'effet de la température et du prétraitement sur la germination du sésame américain, et qui a trouvé que la température a un effet significatif sur la germination et l'élongation des racines et des pousses. Les semences étudiées réagissent différemment avec la température pour les paramètres mesurés. Ainsi, les semences brune, blanche et noir germent à partir de 12°C alors que la semence jaune ne commence à germer qu'à la température 15°C. Les PG les plus élevés ont été atteints à 25°C pour les semences marocaines, à 40°C pour la semence blanche et à 18°C pour la semence noire. A la même température de germination, les différentes semences réagissent différemment en ce qui concerne le PG, le TG et le TMG, donc il ya un effet de la couleur sur la germination. La réponse à la température de la germination peut varier selon l'espèce, et par lots de semences au sein d'une espèce. Blackshaw, (1991) a rapporté que l'émergence du canola (*Brassica napus* L.) a été réduite à 5 °C et à 30 °C. Nykiforuk et Johnson-Flanagan, (1994) ont constaté que les différents lots de semences de canola ont différents taux de germination à 10 °C, mais étaient semblables les uns aux autres à 22 °C et 25 °C. La couleur des graines affecte la germination dans diverses espèces de cultures. Les graines jaune du lin sont caractérisées par une germination inférieure par rapport aux graines brunes (Culbertson et al., 1960; Comstock et al., 1963).

Les semences noires sont donc caractérisées par une tolérance à de basses températures (PG=55,33 % à 12 °C). Cependant, les semences blanches sont distinguées par une tolérance aux hautes températures (40 °C), où elles atteignent le PG, le TG et la LP les plus élevés. Pour les semences marocaines de couleur jaune et brune, elles ont la capacité de germer dans un large intervalle de températures allant de 15-40 °C. La large gamme de température dans laquelle les graines du sésame germent, est une caractéristique qui peut contribuer à la large distribution de cette espèce dans les différentes régions du monde (Purseglove, 1968). Dans cet intervalle, l'uniformité du pouvoir germinatif contraste avec la variabilité des taux de germination.

La croissance des différentes semences a été fortement influencée par la température. Les longueurs des racines et des pousses ont été touchées par la température. D'une manière générale, la croissance des racines a tendance à augmenter avec l'augmentation de la température du sol jusqu'à ce que la température optimale soit atteinte (Hegarty, 1973). Les longueurs des pousses les plus élevées ont été enregistrées à la température 40°C pour les différentes semences étudiées alors que la température 25°C est avérée la température idéale pour les longueurs des racines.

A partir des différents paramètres étudiés nous constatons que la température optimale de la germination est de 25°C pour les semences marocaines locales, 18°C pour la semence américaine noire et de 40°C pour la semence américaine blanche. Plusieurs chercheurs ont étudié les températures de germination minimales, optimales, et maximales pour diverses cultures. Kurt et Bozkurt, (2006) ont constaté que la température du sol de 20 °C est meilleure qu'une température plus basse pour la germination du lin. De même, Lorenz et Maynard, (1980) ont observé 5, 26 et 30 °C pour être le minimum, optimum, et le maximum des températures de la germination des graines de pois. Cependant, Vural et al., (2000) ont trouvé 8-10 °C et 20-25 °C pour être les températures minimum et optimum, respectivement pour la germination des graines de niébé.

Conclusion

Les deux stress, hydrique et salin, indépendamment de leur niveau, ont eu un effet inhibiteur moindre sur la germination des semences que sur la croissance précoce des plantules, pour les semences jaunes et brunes qui caractérisent les cultivars locaux marocains. Contrairement, ces stress ont eu un effet inhibiteur moindre sur la croissance précoce des plantules que sur la germination des semences blanches et noires qui caractérisent les accessions américaines. Ainsi, il pourrait être suggéré que, sous conditions de stress hydrique et salin, la sélection précoce devrait être basée sur le pourcentage de germination pour les types de semences blanches et noires, et sur la longueur des racines et des pousses pour les types de semences jaunes et brunes. Les accessions marocaines de couleurs jaunes et brunes ont été caractérisées par une température optimale de 25°C, alors que celle du matériel génétique étranger à graines blanches, est de 40°C mais de 18°C pour le matériel génétique étranger à graines noires. Les graines noires peuvent donc germer à des basses températures, à partir de 12°C. Les accessions marocaines doivent être aussi évaluées à des stades de croissance des plantes adultes pour confirmer leur tolérance aux deux stress hydrique et salin en comparaison avec les deux matériels génétiques étrangers de couleur noire et blanche. Les effets de ces deux stress sur les caractères morphologiques, physiologiques et agronomiques pour les deux accessions marocaines de couleurs jaune et brune, et les deux matériels génétiques étrangers doivent être aussi évaluée.

Conclusions générales et recommandation

Dans le cadre de ce travail de thèse, 33 accessions de sésame collectées dans la zone Tadla ont été caractérisées et évaluées. En plus, 12 matériels génétiques étrangers ont fait aussi l'objet de ce travail afin de les comparer avec les accessions marocaines sur le plan agro-morphologique, moléculaire et biochimique. Mais bien avant, une étude préliminaire consistant en un diagnostic de la conduite technique du sésame dans la zone du Tadla a été réalisée. Elle a montré plusieurs faiblesses liées à la production du sésame dont les faibles surfaces emblavée et qui restent en dessous des potentialités de la région, le faible recourt aux techniques modernes de production, la qualité des semences utilisées, la faible valorisation locale du produit et l'absence d'organisation professionnelle.

En ce qui concerne la caractérisation agro-morphologique des accessions collectées, les résultats ont montré qu'il n'y a pas de différences significative entre ces accessions sauf pour trois caractères à savoir, la hauteur à la première gousse, le nombre de graines par gousse et le poids de mille graines. Ainsi, la hauteur moyenne globale à la première gousse est de 71,82 cm, avec une variation respective de 65,43 à 77,30 cm pour les accessions K' et L. Le nombre moyen de graines par gousses est de 61,39, avec une variation de 56,75 à 64,78 pour les accessions A et A', respectivement. Le PMG moyen est de 3,20 g, avec une variation de 3,01 à 3,36 g pour les accessions C' et A'. Tandis que l'environnement a un effet très hautement significatif pour tous les paramètres étudiés à l'exception de la taille des gousses et la teneur en huile. Les valeurs moyennes des caractères étudiés montrent que l'environnement d'Afourer en 2014 est le plus favorable pour la majorité des caractères évalués. De même, l'année 2014 était plus favorable que l'année 2013 pour l'environnement Afourer. Ainsi, en 2014, la culture du sésame à la station expérimentale de l'INRA à Afourar, caractérisée par un semis précoce, présente les valeurs les plus élevées de la hauteur de la plante (151,8 à 181,33 cm pour les accessions I et T avec une moyenne de 145,30 cm), de la hauteur de la première ramification (26 à 41,10 cm pour les accessions B' et D avec une moyenne de 31,85 cm), de la hauteur de la première gousse (87,88 à 165,33 cm pour les accessions K' et V avec une moyenne de 94,90 cm), de la largeur des gousses (0,628 à 0,667 cm pour les accessions I et K avec une moyenne de 0,64 cm) et la longueur des gousses (2,39 à 3 cm pour les accessions J' et V avec une moyenne de 2,59 cm), du nombre de graines par gousses (56,19 à 73,70 pour les accessions A et A' avec une moyenne de 65,71), du poids de mille graines (3,23 à 3,8 g pour les accessions U et D avec une moyenne de 3,56 g), du rendement en graines par plante

(12,85 à 39,81 g pour les accessions D et C' avec une moyenne de 20,76 g) et du rendement en graines par hectare (0,72 à 1,88 t/ha pour les accessions C' et P avec un rendement moyen de 1,32 t/ha).

La similarité et l'indice de diversité génétique PIC trouvées dans cette étude ont indiqué que les marqueurs ISSR utilisés ont été très reproductibles. Les valeurs du PIC trouvées pour les accessions marocaines, et qui varient de 0,002 à 0,349, montrent qu'il y a une diversité génétique faible au sein des populations marocaines qui peuvent avoir une origine commune. Ceci est confirmé par les comparaisons de combinaisons par paires d'accessions. La plupart de ces paires d'accessions (73,57 %, 6556 parmi 8911) ont été différenciés par moins de 10 marqueurs. Le reste, 2355 paires d'accessions se distinguent par 11 à 28 marqueurs. En comparaison des accessions marocaines avec les 12 matériels génétiques étrangers, les valeurs du PIC varient de 0,41 à 0,67, ce qui montre une variabilité génétique considérable. Cette variabilité est confirmée par le fait que seulement 47 parmi 990 paires d'accessions ont été différenciés par moins de 10 marqueurs.

Les résultats de la caractérisation biochimique indiquent qu'il y a des différences significatives entre les accessions marocaines pour les paramètres mesurés. Ainsi, la teneur en huile varie de 48 à 66 % pour les accessions E' et I avec une teneur moyenne de 60 %. Les accessions de sésame marocain ont présenté des proportions importantes d'acides gras insaturés avec une moyenne de 80,08 %. Les principaux acides gras insaturés identifiés sont l'acide oléique et l'acide linoléique avec des valeurs moyennes respectives de 38,54 et 41,48 %. Ils varient respectivement de 35,67 à 41,03 % pour les accessions C et D' et de 37,21 à 44,91 % pour les accessions D' et C.

Les différences observées pour la teneur en huile, le profil des acides gras et la teneur totale en polyphénols peuvent être due à l'effet génotypique, les conditions climatiques ou aux pratiques culturales. Certaines accessions ont montré une teneur en huile très élevée, ce qui les rend utiles pour l'extraction commerciale. Par rapport au profil des acides gras, les principaux composants de la graine sont l'acide oléique et l'acide linoléique qui ont des applications nutritionnelles et industrielles importantes. Cependant, les accessions marocaines étudiées ont été caractérisées par une teneur moyenne élevée en acide stéarique (7,72 à 8,96 %) qui pourrait être utilisée comme marqueur de l'authenticité des accessions de sésame marocain de la zone de Tadla. Les accessions marocaines ont été caractérisées aussi par des teneurs importantes en polyphénols totaux (46,29 à 60,12 mg EAG/ kg d'huile).

Le stress thermique, le stress hydrique et le stress salin ont un effet significatif sur la germination des graines et la croissance précoce des jeunes plantules du sésame. Les

semences marocaines de couleurs jaune et brune ont été caractérisées par une température optimale de germination de 25°C. Alors que la température optimale de germination est de l'ordre de 40°C pour la semence blanche et 18°C pour la semence noire qui est plus tolérante au froid et peut germer à de basses températures (à partir de 12°C). Le stress hydrique a un effet inhibiteur plus prononcé sur la germination des semences et la croissance précoce des jeunes plantules de sésame que le stress salin. Pendant la germination et la croissance précoce, les accessions marocaines caractérisées par des graines jaunes et brunes étaient plus tolérantes aux deux stress que les matériels génétiques américains caractérisés par des graines blanches et noires. Cela indique que, contrairement aux matériels génétiques américains, le matériel génétique marocain aurait été sélectionné dans des conditions de stress salin et stress hydrique. La croissance des jeunes plantules a été plus affectée par les deux stress que la germination des graines des accessions marocaines, et donc la longueur des racines et / ou la longueur des pousses pourraient être des critères de sélection pertinents dans le programme de sélection du sésame pour l'amélioration de la tolérance au stress hydrique et stress salin durant les premiers stades de croissance du sésame. Ces résultats peuvent avoir des implications agronomiques et écologiques, en permettant aux accessions du sésame de couleurs intermédiaires (brun, jaune) de croître dans des sols salins modérés (14,2 g de NaCl/l) avec une humidité limitée (326,26 g de PEG/l).

En perspective de ce travail de thèse, quelques aspects restent à développer et appréhender, dont notamment :

- Trouver les corrélations entre les trois aspects biochimiques, moléculaires et agromorphologiques.
- Evaluation avancée de la diversité génétique des accessions marocaines en utilisant d'autres marqueurs plus puissants tels que, les microsatellites et les RAPD.
- Etude de l'effet du stress salin et hydrique sur les accessions de sésame marocains aux stades plantes adultes pour confirmer leur tolérance, ainsi que l'évaluation des effets des deux contraintes sur d'autres paramètres morphologiques, physiologiques et agronomiques.
- Evaluation de la qualité biochimique des graines et huile de sésame sous différentes conditions de conduite technique de la culture dans la zone du Tadla.

Références bibliographiques

- Abate, M., Mekbib, F., Ayana A. and Nigussie, M., 2015. Assessment of Genetic Diversity in Ethiopian Sesame (*Sesamum indicum* L.) Germplasm Using ISSR Markers, 8(4): 1-13.
- Abayeh, O.J., Aina, E.A. and Okuonghae, C.O., 1998. Oil content and oil quality characteristics of some Nigerian oil seeds. *J. Pure Appl. Sci.*, 1:17-23.
- Abdalla, I., khaddor, M., Boussab, A., El Garrouj, D., Souhial, B., 2014. Physical and Chemical Characteristics of Olive Oils from Cooperatives for Olive Growers in the North of Morocco. *International Journal of Basic and Applied Sciences.*, 14(2):4-11.
- Abdellatef, E., Sirelkhatem, R., Ahmed, M.M.M., Radwan, K.H., Khalafalla, M.M., 2008. Study of genetic diversity in Sudanese sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm using random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers. *Afr J Biotechnol.*, 7: 4423- 4427.
- Abdou, R. I. Y., Moutari, A., Ali, B., Basso Y., Djibo, M., 2015. Variability Study in Sesame (*Sesamum indicum* (L)) Cultivars based on AgroMorphological Characters. *International Journal of Agriculture, Forestry and Fisheries.*, 3(6):237-242.
- Abdullahi, Y., Adeniyi, M.O., Ihekweumere, C.A., 1991. Countdown to senior secondary certificate exams in agriculture science. Evans Brothers, Nigeria, 150.
- Abou-Gharbia, H.A., Shahidi, F., Shehata, A.A.Y., Youssef, M.M., 1997. Effects of processing on oxidative stability of sesame oil extracted from intact and dehulled seeds. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 74, n. 3, 215.
- Abou-Gharbia, H.A., Shehata, A.A.Y., Shahidi, F., 2000. Effect of processing on oxidative stability and lipid classes of sesame oil. *Food Research International*, 33, n. 5, 330.
- Abounda, S., 2005. Effet de la cuisson à eau et de la friture sur la teneur en carotène de deux variétés de Patates Douce (*Ipomea batatas*) des provinces du Littoral et du centre du Cameroun. Mémoire de Maîtrise Université de Douala Cameroun, 7 - 8.
- Adeola, Y.B., Augusta, C., Oladejo, T., 2010. Proximate and mineral composition of whole and dehulled Nigerian sesame seed. *Afric. J. Food Sci. Tech.*, 1(33): 71-75.
- Adlercreutz, H., 2002, Phytoestrogens and cancer. *Lancet Oncol.*, 3:364-373.
- Adlouni, A., 2010. Huile d'argane : de la nutrition à la sante. *Phytothérapie.*, 8: 89-97.
- AFNOR NFT 60-204, 1985. Determination of acid value and acidity (titration methods), French Association for Standardization AFNOR, Paris.
- AFNOR NFT 60-206, 1990. Determination of saponification value, French Association for Standardization AFNOR, Paris.
- AFNOR NFT 60-220, 1995. Determination of peroxyde value, Association Française de Normalisation AFNOR. Paris
- Agrawal, P.K and Dadlani, M. 1992. Techniques in seed (science and technology). South Asian Publishers, 209p.
- Ahmad, M., Khan, M.A., Zafar, M., Sultana, S., 2010. Environment friendly Renewable Energy from Sesame Biodiesel. *Energy Sources Part Recovery Utilization and Environmental Effects*, 32(2), 189-196.
- Akbar, F., Rabbani, M.A., Shinwari, Z.K., Khan, S.J., 2011. Genetic divergence in sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces based on qualitative and quantitative traits. *Pak. J. Bot.*, 43: 2737-2744.
- Akhila, H., Beevy, S.S., 2011. Morphological and seed protein characterization of the cultivated and the wild taxa of *Sesamum* L. (Pedaliaceae). *Plant Syst Evol.*, 293:65-70.
- Alam Sarkar, M.N., M. Salim, N. Islam, Rahman, M.M., 2007. Effect of sowing date and time of harvesting on the yield and yield contributing characters of sesame (*Sesamum indicum* L.) seed, *Int. J. Sust. Crop Prod.*, 2, 31-35.
- Alam, M.A., Juraimi, A., Rafii, M.Y., Abdul Hamid, A., Arolu, I.W., Abdul Latif, M., 2015. Genetic diversity analysis among collected purslane (*Portulaca oleracea* L) accessions using ISSR markers. *C.R. Biol.*, 338: 1-11.

- Aleksander, S., Malgorzata, N., Elenora, L., 2008. The content and antioxidant activity of phenolic compounds in cold pressed plant oils. *Journal of Food Lipids*, 15: 137- 149.
- Ali, G.M., Yasumoto, S., Katsuta, M.S., 2007. Assessment of genetic diversity in sesame (*Sesamum indicum* L.) detected by amplified fragment length polymorphism. *Electron J Biotechn.*, 10: 12-23.
- Ali, K.A., 2015. GENERATION MEAN ANALYSIS FOR YIELD AND YIELD COMPONENTS IN SESAME (*Sesamum indicum* L.). *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENT* Volume-4 (3) : 111-120.
- Ali, A., Ullah, S., 2012. Effect of nitrogen on achene protein, oil, fatty acid profile, and yield of sunflower hybrids. *Chilean J Agric Res.*, 72(4): 564-567.
- Almansouri, M., Kinet, M., Lutts S., 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant and Soil.*, 231: 243-254.
- Alpaslan, M., Boydak, E., Hayta, M., Gercek, S., Simsek, M., 2001. Effect of row spacing and irrigation on seed composition of Turkish sesame (*Sesamum indicum* L.) *Journal of American Oil Chemist's Society*, 78: 933-935.
- Amoukou. I.A., 1995. *Projet de Développement Rural de Mayahi/FENUNE : Le Sésame, Étude diagnostique.* Faculté d'agronomie, Niamey (NE), 67 p, Niger.
- Anand, T.D., Pothiraj, C., Gopinath, R.M., Kayalvizhi, B., 2008 Effect of oil-pulling on dental caries causing bacteria. *Afr J Microbiol Res.*, 2:63-6.
- Anastasi, U., Sortino, O., Tuttobene, R., Gresta F., Giuffrè A.M., Santonoceto C., 2015. Agronomic performance and grain quality of sesame (*Sesamum indicum* L.) landraces and improved varieties grown in a Mediterranean environment. *Genet Resour Crop Evol.* doi:10.1007/s10722-015-0338-z.
- Anderson, J.A., Churchill, G.A., Sutriquet, J.E., Tanksley, S.D., Sorrells, M.E., 1993. Optimizing parental selection for genetic linkage maps. *Genome.*, 36:181-186.
- Anitha, B.K., Manivannan, N., Vindhivavarman, P., Gopalakrishnan, C., Ganesamurthy, K., 2010. Molecular Diversity among Sesame Varieties of Tamil Nadu. *J. Plant Breeding.* 1:447-452.
- Annapurna, K., Kumar, M.S., Hiremath, S.C., 2008. Cytological analysis of interspecific hybrid between *Sesamum indicum* L. X *S. orientale* L. var. *malabaricum*. *Karnataka J. Agric. Sci.*, 21: 498-502.
- Annex IX- Regulation (CEE) No 2568/91 of the European Commission of 11 July 1991.
- Annex XVI- Regulation (CEE) No 2568/91 of the European Commission of 11 July 1991.
- Annusek, G., 2001. Sesame oil. In *Gale encyclopedia of alternative medicine.* Gale and Group and Looksmart. Sesame oil.
- Ansari, K.N., 1997. The free radicals-the hidden culprits-an update. *Indian Journal of Medical Sciences.* 51, 319-336.
- Arnao, M.B., Cano, A., Acosta, M., 2001. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chemistry.* 73, 239-244.
- Ashakumary, L., Rouyer, I., Takahashi, Y., Ide, T., Fukuda, N., Aoyama, T., Hashimoto, T., Mizugaki, M., Sugano, M., 1999. Sesamin, a sesame lignan, is a potent inducer of hepatic fatty acid oxidation in the rat. *Metabolism*, 48:1303-1313.
- Arriel, N.H., Di Mauro, A.O., Arriel, E.F., Uneda-Trevisoli, S.H., Costa, M.M., Barbaro, I.M., Muniz, F.R., 2007. Genetic divergence in sesame based on morphological and agronomic traits. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 7(3), 253-261.
- Arslan, Ç., Uzun, B., Ülger, S., Çağrgan, M.İ., 2007. Determination of oil content and fatty acid composition of sesame mutants suited for intensive management conditions. *J Am Oil Chem Soc*, 84:917-920
- Asghar, A., Majeed, M.N., Akhtar, M.N., (2014). A review on the utilization of sesame as functional food. *American Journal of Food and Nutrition*, 4(1): 21 -34.

- Ashri, A., 1998. Sesame breeding. *Plant Breed. rev.* 16: 179-228.
- Ashri, A., 1994. Genetic resources of sesame: present and future perspectives. In: Arora RK, Riley KW (eds) *Sesame biodiversity in Asia: Conservation, evaluation and improvement*, IPGRI, New Delhi
- Ashri, A., 2007. Sesame (*Sesamum indicum* L.). p. 231-289. In R.J. Singh, (ed.), *Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement*. Vol 4. Oilseed crops. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Asokan, S., Rathan, J., Muthu, M.S., Rathna P.V., Emmadi, P., Raghuraman, R., et al., 2008. Effect of oil pulling on *Streptococcus mutans* count in plaque and saliva using Dentocult SM strip mutans test: A randomized controlled triple blind study. *J Indian Soc Pedo Prev Dent*, 28:12-7.
- Awad, A.B., Fink, C.S., 2000. Phytosterols as anticancer dietary components: evidence and mechanism of action. *J. Nutr.* , 130: 2127-2130.
- Awasthi, C.P., Thakur, M., 2010. Biochemical Evaluation of Some Promising Sesame (*Sesamum indicum* L.) Genotypes Department of Chemistry and Biochemistry, College of Basic Sciences, CSK HP Krishi Vishvavidyalya, Palampur-176062, India *Indian J Agric Biochem*, 23 (2), 107-112
- Awika, J.M., Rooney, L.W., Wu, X., Prior, R.L., Cisneros-Zevallos, L., 2003. Screening methods to measure antioxidant activity of sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 6657-6662.
- Badraoui, M., Chouraichi, M., Essafi, B., Bellouti, A., Cherkaoui, F., 2001. Impacts de l'irrigation sur la qualité des sols et des eaux dans le Tadla : salinisation. Rapport 2 du projet PGRE, IAV Hassan II/ORMVAT/AGR-SEEN.
- Bahorun, T. 1997. Substances naturelles actives, la flore mauricienne, une source d'approvisionnement potentielle. *Food and Agricultural Research, Conseil Mauritus, Amas*, p:83-94.
- Bahrami, H., Razmjoo, J., OstadiJafari, A., 2012. Effect of drought stress on germination and seedling growth of sesame cultivars (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Agricultural Science*, 2: 423-428.
- Bahrami, H. and Razmjoo, J., 2012. Effect of salinity stress on germination and early seedling growth of ten sesame cultivars (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Agricultural Science*, 2: 529-537.
- Bahkali, A.H., Hussain, M.A., Basahy, A.Y., 1998. Protein and oil composition of sesame seeds (*Sesamum indicum* L.) grown in the Gizan area of Saudi Arabia. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 49: 409-414.
- Bandila, S., Ghanta, A., Natarajan, S., Subramonia, S., 2011. Determination of genetic variation in Indian sesame (*Sesamum indicum*) genotypes for agro-morphological traits. *J Res Agric Sci*, 7:88-99.
- Bannayan, M., Nadjafi, F., Azizi, M., Tabrizi, L. and Rastgoo, M., 2008. Yield and seed quality of *Plantago ovata* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. *Industrial Crops and Products*, 27, 11-16.
- Bartels, D., Sunkar, R., 2005. Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Science*, 24: 23-58.
- Baydar, H., Marquard, R., Turgut, I., 1999. Pure line selection for improved yield, oil content and different fatty acid composition of sesame, *Sesamum indicum*. *Plant Breed.*, 118(5): 462-464.
- Baydar, H., 2005. Breeding for the improvement of the ideal plant type of sesame. *Plant Breed.*, 124:263-267.
- Beckstrom-Sternberg, S.M., Duke, J.A., 1994a. "The phytochemical database." ars-genome.cornell.edu/cgi-bin/WebAce/webace?db=phytochemdb.

- Beech, D.F., 1985. Sesame: Research possibilities for yield improvement. p. 96-106. In: A. Ashri (ed.), Sesame and safflower status and potentials. FAO Plant Production and Protection Paper 66. Rome, Italy.
- Belury, M.A., 2002. Inhibition of Carcinogenesis by Conjugated Linoleic Acid: Potential Mechanisms of Action. Recent Advances in Nutritional Sciences. American Society for Nutritional Sciences., 02:0022-3166.
- Beltrao, N.E., Vieira, D.J., Nobrega, L.B., Santos, J.W., 1991. Effects of fertilizers, cultivar and weed control in sesame. Pesquisa Agropecuaria Brasileira., 26: 605-611.
- Ben Moumen, A., Zraibi, L., Mansouri, F. et al., 2013a. Chemical composition and antioxidant activity of seed oils of four safflower (*Carthamus tinctorius*) varieties grown in eastern Morocco. In: Symposium International des Plantes Aromatiques et Medicinales (SIPAM5). Marrakech.
- Benbrook, M., 2005. Accroître la teneur antioxydants des aliments grâce à l'agriculture et à la transformation alimentaire biologiques. Ed. The organic center : 6-8.
- Bedigian, D., Seigler, D.S., Harlan, J. R., 1985. Sesamin, sesamol and the origin of sesame. Biochem. System. Ecol. 13: 133-139.
- Bedigian, D., Harlan, J.R., 1986. Evidence for cultivation of sesame in the ancient world. Econ. Bot. 40(2): 137-154.
- Bedigian, D., 1981. Origin, diversity, exploration and collection of sesame. In Sesame: Status and Improvement. FAO Plant Production and Protection, 29: 164-169.
- Bedigian, D., 2003. Evolution of sesame revisited: domestication, diversity and prospects. Genet Resour Crop Evol. 50: 779-787.
- Bedigian, D. (2004). History and lore of sesame in Southwest Asia. Econ. Bot. 58(3): 329-353.
- Benzie, I.F.F., Strain J.J., 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. Analytical Biochemistry, 239: 70-76.
- Berges, R.R., Kassen, A., Senge, T., 2000 Treatment of symptomatic benign prostatic hyperplasia with b-sitosterol: an 18-month follow-up. BJU International, 85: 842-846.
- Berges, R.R., Windeler J., Trampisch H.J., Senge T., 1995. Randomized, placebo-controlled, double blind clinical trial of beta-sitosterol in patients with benign prostatic hyperplasia. Lancet; 345: 1529- 1532.
- Bewley, J.D., Black, M., 1982. The Physiology and Biochemistry of Seeds, Berlin, Springer-Verlag, V. 2, 375 p.
- Bhat, K.V., Babrekar, P.P., Lakhanpaul, S., 1999. Study of genetic diversity in Indian and exotic sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm using random amplified polymorphic DNA (RAPD) markers. Euphytica, 110(1), 21-33.
- Bisht, I.S., Mahajan, R.K., Loknathan, T.R., Agrawal, R.C., 1998. Diversity in Indian sesame collection and stratification of germplasm accessions in different diversity groups. Genet. Resour. Crop Evol. 45(4): 325-335.
- Bisht, I.S., Bhat, K.V., Lakhanpaul, S., Biswas, B.K., Pandiyan, M., Hanchinal, R.R., 2004. Broadening the genetic base of sesame (*Sesamum indicum* L.) through germplasm enhancement. Plant Genet. Resour. 2:143-151.
- Blackshaw, R.E., 1991. Soil temperature and moisture effects on downy brome vs. winter canola, wheat, and rye emergence. Crop Sci. 31:1034-1040.
- Bonnie, T.Y.P., Choo, Y.M. (1999). Oxidation and Thermal Degradation of Carotenoids. Journal Of Palm Oil Research, 1, 62 -78.
- Borchani, C., Besbes, S., Blecker, Ch., Attia, H., 2010 Chemical Characteristics and Oxidative Stability of Sesame Seed, Sesame Paste, and Olive Oils" J. Agr. Sci. Tech., 12: 585-596.

- Bopitiya, D., Madhujith, T., 2013. Antioxidant activity and total phenolic content of sesame (*Sesamum indicum* L.) seed oil. *Tropical Agricultural Research*; 24:296-302.
- Boros, B., Jakabová, S., Dörnyei, Á., Horváth, G., Pluhár, Z., Kilár, F., Felinger, A., 2010. Determination of polyphenolic compounds by liquid chromatography-mass spectrometry in *Thymus* species. *Journal of Chromatography. A*, 1217: 7972-7980.
- Bornet, B., Branchard, M., 2001. Non-anchored Inter Simple Sequence Repeat markers: reproducible and specific tools for genome fingerprinting. *Plant Mol. Biol. Rep.* 19:209-215.
- Botstein, D., White, R. L., Skolick, M., Davis, R. W., 1980. Construction of a genetic linkage map in man using restriction fragment length polymorphism. *American Journal of Human Genetics*, 32, 314-331.
- Boudiaf, K., 2006. Etude des effets anti-xanthine oxydoréductase et anti-radicalaires des extraits des graines de *Nigella sativa*. Thèse de magistère. Département de biologie. Université Ferhat abbas. (Sétif) Algérie.
- Bouic, P.J.D., Lamprecht, J.H., 1999. Plant sterols and sterolins: a review of their immunomodulating properties. *Altern.Med. Rev.* 4: 170-177.
- Boulghalagh, J., Berrichi, A., El halouani, H., Boukroute, A., 2006. Effet des stress salin et hydrique sur la germination des graines du jojoba (*Simmondsia chinensis* [link] schneider). Recueil des résumés. Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole, Settat, Maroc, 24p
- Boureima, S., Eyletters, M., Diouf, M., Diop, T.A., Van Damme, P., 2011. Sensitivity of seed germination and seedling radicle growth to drought stress in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Research Journal of Environmental Science*, 5: 557-564.
- Bozin, B., Mimica-Dukic, N., Bogavac, M., Suvajdzic, L., Simin, N., Samojlik, I., Couladis, M., 2008. Chemical composition, antioxidant and antibacterial properties of *Achillea collina* Bekker ex Heimerl s.l. and *A. pannonica* scheele essential oils. *Molecules*. 13(9):2058-2068.
- Brand-williams, W., Cuvelier, M.E., Berset, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*. (28): 25-30.
- Brar, G. S., 1977: Variability in the fatty acid composition of sesame seed (*Sesamum indicum* L.) due to the capsule position on the plant and the seed position in the capsule. *Crop Improvement* 4(1): 1-10
- Brar, G.S. Ahuja, K.L., 1979. Sesame: its culture, genetics, breeding and biochemistry. In: Malik, C.P. (Ed.). *Ann. Rev. Pl. Sci.* Kalyani publishers, New Delhi, pp. 245-315.
- Brar, G.S. 1982a. Variations and correlations in oil content and fatty acid composition of sesame. *Indian J. Agric. Sci.* 52:434-439.
- Brar, G. S., Khan, S.R., Brigham, R.D., Taylor, H.M., 1989. Heterosis for sesame (*Sesamum indicum* L.) seedling root development as influenced by temperature. *Agronomy Abstracts*, ASA, Madison, WI. p. 75.
- Brasileiro, B.G., Leite, J.P.V., Casali, V.W.D., Pizziolo, V.R., Coelho, O.G.L., 2015. The influence of planting and harvesting times on the total phenolic content and antioxidant activity of *Talinum triangulare* (Jacq.) Willd. *Acta Scientiarum. Agronomy* .37(2) : 249-255.
- Bray, J.R., 1963. Root production and the estimation of net productivity. *Can. J. Bot.*, 41: 65-72.
- Brito, O.J. and Nunez, N., 1982. Evaluation of sesame flour as a complementary protein source for combinations with soy and corn flours. *Journal of Food Sciences*, 47: 457- 460.
- Bruneton, J., 1999. *Pharmacognosie, Phytochimie, Plantes médicinales*. Lavoisier Technique et Documentation. Paris.
- Budowski, P., Markley, K.S., 1951. The Chemical and Physiological Properties of Sesame Oil. *Chem. Rev.*, 48:125-151.
- Budowski, P., 1964. Recent research on sesamin, sesamol, and related compounds. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 41: 280-285.

- Burton, G.W., Ingold, K.U., 1986. Vitamin E: Application of the principles of physical organic chemistry to the exploration of its structure and function. *Acc Chem Res* 19:194-201.
- Caliskan, S., Arslan, M., Arioglu, H. and Isler, N., 2004. Effect of Planting Method and Plant Population on Growth and Yield of Sesame (*Sesamum indicum* L.) in a Mediterranean Type of Environment. *Asian Journal of Plant Sciences*, 3, 610-614.
- Canossa, R.S., 2008. Effect of temperature and light on joyweed (*Alternanthera tenella*) seed germination. *Planta Daninha*, 26(4): 745-750.
- Carlsson, A.S., Chanana, N.P., Gudu, S., Suh, M.C., Were, B.A., 2008. Sesame. In: Kole, C., et al. (Eds.) *Compendium of transgenic crop plant - Transgenic oilseed crops*. pp. 227-246. Texas, USA: Wiley Blackwell; 2. ISBN 978-1-405-16924-0.
- Carvalho, P.G.B., Borgheetti, F., Buckeridge, M.S., Morhy, L., Filho, E.X.F., 2001. Temperature dependent germination and endo- β -mannanase activity in sesame seeds. *R Bras Fisiol Veg*, 13(2): 139-148.
- Carvalho, R.H.R., Galvao, E.L., Barros, J.A.C., Conceicao, M.M, Sousa, E.M.B.D., 2012. Extraction, fatty acid profile and antioxidant activity of sesame extract (*Sesamum indicum* L.). *Braz J Chem Eng*, 9:409-20.
- Chang, C., Yang, M., Wen, H., Chern, J., 2002 Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *J. Food Drug Analysis*, 10: 178-182
- Charrouf Z., Guillaume D. (2007a) Phenols and polyphenols from *Argania spinosa*. *American Journal of Food Technology*. (2), 679–683.
- Chimi, H., Cillard, J., Cillard, P., Rahmani, M., 1991. Peroxyl radical scavenging activity of some natural phenolic antioxidants *J. Am. Oil Chem. Soc.* 68,307.
- Chiu M.C., Coutinho D.M.C., Gonçalves L.A.G., (2009) Carotenoids concentration of palm oil using membrane technology. *Desalin* 246:410–413.
- Conseil oléicole international, COI/T. 15/NC. n° 3/Rév7 (2013) 20.
- Choudhary, C.S., Prasad, S.M., Kudada, N., 2006. Evaluation of sesame genotypes for resistance against *Corynespora* blight. *Journal of Research, Birsa Agricultural University* 18(1): 149-151.
- Chowdhury.K., Banu, L.A., Khan, S., Latif,A., 2007. Studies on the Fatty Acid Composition of Edible Oil. *Bangladesh J. Sci. Ind. Res.*, 42: 311-316.
- Chu, W.L., Lim, Y.W., Radhakrishnan, A.K., Lim, P.E., 2010. Protective effect of aqueous extract from *Spirulina platensis* against cell death induced by free radicals. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 10 (53), 2-8.
- CIRAD, 2002. Memento de l'Agronome, GRET Ministère des Affaires Etrangère, France, 1691 p.
- CODEX Alimentarius Commission. (2003) Stan 33, 1981, revised 2.
- COI/NCn°3/Rev.4 (2009) Norme commerciale applicable aux huiles d'olive et aux huiles de grignon d'olive.
- Combe.N., Rossignol-Castera, A., 2010. Vegetable oils and frying. *Cahiers de nutrition et diététique*. (45) 44-51.
- Côme, D., 1970. Les obstacles à la germination (monographie et physiologie végétale). Ed. Masson et Cie (Paris), 162p.
- Comstock, V.E., Ford, J.H., B.H. Beard, 1963. Association among seeds and agronomic characteristics in isogenic lines of flax. *Crop Sci.* 3:171-172.
- Cooney, R.V., Custer, L.J., Okinaka, L., Franke, A.A., 2001. Effects of dietary sesame seeds on plasma tocopherol levels. *Nutrition and Cancer-an International Journal*, 39(1): 66-71.
- Coons, M.J., Kuehl, R.O., Simons, N.R., 1990. Tolerance of ten lettuce cultivars to high temperature combined with NaCl during germination. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.*, 115: 1004-1007.

- Cheng, F.C., Jinn, T.R., Hou, R.C.W., Tzen, J.T.C., 2006. Neuroprotective effects of sesamin and sesamolin on gerbil brain in cerebral ischemia. *Int. J. Biomed. Sci.*, 2:284-288.
- Chung, J., Lee, J., Choe, E., 2004. Oxidative stability of soybean and sesame oil mixture during frying of flour dough. *J. Food Sci.* 69(7), 574-578.
- Culbertson, J.O., Comstock, V.E., Frederickson, R.A., 1960. Further studies on the effect of seed coat color on agronomic and chemical characters and seed injury in flax. *Agron. J.* 52:210-212.
- Dagmawi, T., 2011. Genetic Diversity of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Germplasm Collection as Revealed by ISSR Marker. MSc Thesis, Addis Ababa University. 25-35
- Darmstadt, G.L., Mao, Q.M., Chi, E., Saha, S.K., Ziboh, V.A., Black, R.E., Santosham, M., Elias, P.M., 2002. Impact of tropical oils on the skin barrier: possible implications for neonatal health in developing countries. *Acta Paed.*, 91: 546-554.
- Dark, G., 1998. On-line medical dictionary. www.graylab.ac.uk/cgi-bin/omd?sesame+oil.
- Delattre, J., Beaudoux, J.L., Bonnefont-Rousselot, D., 2005d. "Radicaux libres et stress oxydant, Aspects biologiques et pathologiques." 87-108.
- DellaPenna, D., Pogson, B. J., 2006. Vitamin synthesis in plants: tocopherols and carotenoids. *Annu Rev Plant Biol*, 57 : 711-738.
- Demol, J., Baudoin, J.P., Louant, B.P., Maréchal, R., Mergeai, G., 2002. Amélioration des plantes : Application aux principales espèces cultivées en Afrique Tropicales. (591)223-227
- Deng, X., Scarth, R., 1998. Temperature effects on fatty acid composition during development of low-linolenic oilseed rape (*Brassica napus*) *J Am Oil Chem Soc.* 75:759-766.
- Dim, P.E., 2013. Extraction and Characterization of Oil from Sesame Seed. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences.* 4 (2): 752-757.
- Dixit, A., Jin, M.H., Chung, J.W., Yu, J.W., Chung, H.K., Ma, K.H., Park, Y.J., Cho, E.G., 2005. Development of polymorphic microsatellite markers in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Molecular Ecology Notes* 5(4) : 736-738.
- Donald, M.L., Martin, F., 2002 : Manuel sightand life sur les troubles dus à la carence en vitamine A (TCVA) 172 P.
- Doyle, J.J., Doyle, J.L., 1987. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochem. Bull.* 19: 11-15.
- Dutta, D., Jana, P.K., Bandyopadhyay, P., Maity, D., 2000. Response of summer sesame (*Sesamum indicum* L.) to irrigation. *Indian Journal of Agronomy*, 45: 613-616.
- Eagleton, G., Sandover, S., Dickson, M., 1987. Research reports sesame seed 1982-1986. Dept. Agric. Kununurra, West Australia.
- Elleuch, M., Besbes, S., Roiseux, O., Blecker, C., Attia, H., 2007. Quality characteristics of sesame seeds and by-products. *Food Chem.* 103: 641-650.
- El-Adawy, T.A., 2002. Nutritional composition and antinutritional factors of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) undergoing different cooking methods and germination. *Plant Foods for Human Nutrition*, 57: 83-97.
- El Naim, A.M., Eldey, E.M., Jabereldar, A.A., Ahmed, S.E., Ahmed, A.A., 2012. Determination of suitable variety and seed rate of sesame in sand dunes of Kordofan. *International Journal of Agriculture and Forestry.* 2(4): 175-179.
- Ercan, A.G., Taskin, K.M., Turgut, K., Bilgen, M., 2002. Characterization of Turkish Sesame (*Sesamum indicum* L.) Landraces Using Agronomic and Morphologic Descriptors, *Akdeniz Univ. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15 (2): pp. 45-52.
- Ercan, A.G., Taskin, M., Turgut, K., 2004. Analysis of genetic diversity in Turkish sesame (*Sesamum indicum* L.) populations using RAPD markers. *Genet. Resour. Crop Evol.* 51(6): 599 -607.
- Esquinas-Alcazar, J., 2005. Protecting crop genetic diversity for food security: political, ethical and technical challenges. *Nat Rev Genet*, 6(12), 946-953.

- Evans P, Halliwell B., 1999. Free radicals and hearing. Cause, consequence, and criteria. *Ann NY Acad Sci*; 884:19–40.
- Evrard, J., Pages, X.P.X., Argenson, C., Morin, O., 2007. Procédés d'obtention et compositions nutritionnelles des huiles de tournesol, olive et colza. *Cah.Nutr.Diet.* (42) 1, 13-23.
- FAOSTAT, 2015. <http://www.fao.org/faostat/en/fr/#data>
- FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, (2002). Mutant germplasm characterization using molecular markers. Training course n°19. International Atomic Energy Agency. Vienna.
- Fakhour, 2012, communication personnel.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Health Organization, , United Nations University (FAO/WHO/UNU), 2007. Protein and amino acid requirements in human nutrition. Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation (WHO Technical Report Series 935). ISBN: 92 4 120935 6.
- Farooq, M., Basra, S.M.A., Hafeez, K., Ahmad, N., 2005. Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. *J. Integr. Plant Biol.*, 47: 187-193
- Farsani, T.M., Etemadi, N., Sayed-Tabatabaei, B.E., Talebi, M., 2012. Assessment of Genetic Diversity of Bermudagrass (*Cynodon dactylon*) Using ISSR Markers. *Int. J. Mol. Sci.*, 13: 383-392.
- Fauzi N.A.M., Sarmidi M.R., 2010. Extraction of heat-treated palm oils, and their stability on β -carotene during storage. *J Sci Tech.* 45–54.
- Favier, A., 2003. Le stress oxydant Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *L'actualité Chimique*, p108-115.
- Fazeli, F., Ghorbanli, M., Niknam, V., 2007. Effect of drought on biomass, protein content, lipid peroxidation and antioxidant enzymes in two sesame cultivars. *Biol Plant.* 51:98-103.
- Fernandez, C., Suarez, Y., Ferruelo, A.J., Gomez-Coronado, D., Lasuncion, M.A., 2002. Inhibition of cholesterol biosynthesis by Delta 22-unsaturated phytosterols via competitive inhibition of sterol Delta 24-reductase in mammalian cells. *Biochemistry*, J. 366: 109-19.
- Frankham, R., Ballou, J.D., Briscoe, D.A., 2002. *Introduction to Conservation Genetics*. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Freeland, J.R., 2005. *Molecular Ecology*. West Sussex, John Wiley et Sons Ltd.
- Freitas, M.S.M., Martins, M.A., Carvalho, A.J.C., Carneiro, R.F.V., 2004. Crescimento e produção de fenóis totais em carqueja [*Baccharis trimera* (Less.)] em resposta à inoculação com fungos micorrízicos arbusculares, na presença e na ausência de adubação mineral. *Brazilian Journal of Medicinal Plants*, 6 (3): p. 30-34.
- Furat, S., Uzun, B., 2010. The use of agro-morphological characters for the assessment of genetic diversity in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Plant Omics* 3(3), 85-91.
- Furman, C., Rundlöf, A.K., Larigauderie, G., Jaye, M., Bricca, G., Copin, C., Kandoussi, A.M., Fruchart, J.C., Arnér, E.S., Rouis, M., 2004. Thioredoxin reductase 1 is upregulated in atherosclerotic plaques: specific induction of the promoter in human macrophages by oxidized low-density lipoproteins. *Free Radic Biol Med.*, 37(1):71-85.
- Ganesh, S.K., Thangavelu, S., 1995. Genetic divergence in sesame (*Sesamum indicum*). *Mad. Agric. J.* 82(4), 263-265.
- Geissmann, T. A., and Hinreiner, E., 1952. Theories on the biogenesis of flavonoid compounds. *Bot. Rev.* 18, 77.
- Geleta, M., Bryngelsson, T., Bekele, E., al., 2007. Genetic diversity of *Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass. (Asteraceae) from Ethiopia as revealed by random amplified polymorphic DNA (RAPD). *Genet. Resour. Crop Evol.* 54: 601-614.

- Geleta M., Bryngelsson T., Bekele E. et al., 2008. Assessment of genetic diversity of *Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass.(Asteraceae) from Ethiopia using amplified fragment length polymorphism. *Plant Genet. Resour. Characterization Utilization* 6: 41-51.
- Ghafoorunissa, Dietary fats/oils and heart diseases. In: Prasad, M.V.R. (Ed.) *Proceedings of Sustainability in oil seeds*, Hyderabad 1994. pp. 486-490: Indian Society of Oil Seed Research.
- Ghafoorunissa, S., Hemalatha Rao, M.V., 2004. Sesame lignans enhance antioxidant activity of vitamin E in lipid peroxidation systems. *Molecular and Cellular Biochemistry*, 262(12): 195-202.
- Gharby, S., Harhar, H., Guillaume, D., Haddad, A., Matthäus B., Charrouf, Z., 2011. Oxidative stability of edible argan oil: A two year study. *Food Science and Technology*. 44(1):1-8.
- Gharby, S., Harhar, H., Bouzoubaa, Z., Asdadi, A., El Yadini, A. and Charrouf, Z., 2015. Chemical characterization and oxidative stability of seeds and oil of sesame grown in Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* (in press).
- Gharby, S., Harhar, H., Guillaume, D., Haddad, A., Charrouf, Z., 2012. The origin of virgin argan Oil's high oxidative stability unraveled. *Nat. Prod. Commun.* 7, 621- 624.
- Gharby, S., Harhar, H., Guillaume, D., Roudani, A., Boulbaroud, S., Ibrahimi, M., Ahmad, M., Sultana, S., Ben Hadda, T., Chafchaouni-Moussaoui, I. and Charrouf, Z., 2014. Chemical Investigation of *Nigella sativa* L. Seed Oil Produced in Morocco. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* (in press). <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2013.12.001>.
- Ghavidel, R.A., Prakash, J., 2007. The impact of germination and dehulling on nutrients, antinutrients, in vitro iron and calcium bioavailability and in vitro starch and protein digestibility of some legume seeds. *LWT*, 40: 1292-1299.
- Gordon, M.H., Magos, P., 1983. The effect of sterols on the oxidation of edible oils. *Food Chem.*, 10: 141-147.
- Grichar, W.J., Sestak, D.C., Brewer, K.D., Besler, B.A., Stichler, C.R., Smith D.T., 2001. Sesame (*Sesamum indicum* L.) tolerance and weed control with soil-applied herbicides. *Crop Protection*. 20: 389-394
- Griffee, P., 2001. *Sesamum indicum* L.. FAO, ID 1937.
- Guille'n, M.D., Ruiz, A., 2004. Formation of hydroperoxy- and hydroxyalkenals during thermal oxidative degradation of sesame oil monitored by proton NMR. *Journal of Lipid Science and Technology*, 106: 680- 687.
- Ghulam, M.A., Yasumoto, S., Katsuta, M.S., 2007. Assessment of genetic diversity in sesame (*Sesamum indicum* L.) detected by Amplified Fragment Length Polymorphism markers. *Journal of Biotechnology*, 10: 1- 15.
- Guingard, J., 1996. *Biochimie végétale*. Lavoisier, Paris, 175-192 p
- Gunstone, F.D., 1992. γ -Linolenic acid- Occurrence and physical and chemical properties. *Prog. Lipid Res.*, 31: 145-161.
- Gupta, S.K., 2012. *Technological Innovations in Major World Oil Crops*, Volume 1: Breeding Springer Science & Business Media, 27 oct. 405 pages.
- Gutierrez, E., Monteverde, E., Quijada, P., 1994. Inheritance of seed coat color and number of locules per capsule in three cultivars of sesame *Sesamum indicum* L. *Agronomia Tropical* 44.
- Gutterman, Y., 1993. *Seed germination in desert plants. Adaptations of desert organisms*. Berlin: Springer-Verlag.
- Gylling, H., Miettinen, T.A. 2005. The effect of plant stanol- and sterol-enriched foods on lipid metabolism, serum lipids and coronary heart disease. *Ann. Clin. Biochem.* 42: 254-263.
- Hamza, M., et Abd El-Salam, R.M., (2015). Optimum Planting Date for Three Sesame Cultivars Growing under Sandy Soil Conditions in Egypt. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 15 (5): 868-877.

- Handaji, N., H. Benyahia, F. Gaboun and M. Ibriz, 2012. Caractérisation et structuration de la diversité génétique du germoplasme de mandarines par les marqueurs moléculaires ISSR au Maroc. *J. Appl. Biosci.*, 57: 4186–4197.
- Haruna I.M., Abimiku, M.S., 2012. Yield of Sesame (*Sesamum indicum* L.) as Influenced by Organic Fertilizers in the Southern Guinea Savanna of Nigeria. *Sustainable Agriculture Research* 1 (1): 66-69.
- Haruna, I. M., 2011. Growth and yield of sesame (*sesamum indicum* l.) as affected by poultry manure, nitrogen and phosphorus at samaru, Nigeria. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 21(4): 653-659.
- Harwood, J., Ramon, A., 2000. Handbook of olive oil Analysis and properties, An Aspen publication, Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland, 1-513.
- Hasan, A., Begum, S., Furumoto, T., Fukui, H., 2000. A new chlorinated red naphthoquinone from roots of *Sesamum indicum*. *Bioscience Biotechnology and Biochemistry* 64(4): 873-874.
- Hassanzadeh, M., Asghari, A., Jamaati-e-Somarin, S., Saeidi, M., Zabihi-e-Mahmoodabad, R., Hokmalipour, S., 2009. Effects of water deficit on drought tolerance indices of sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes in moghan region. *Research Journal of Environmental Science*, 3: 116-121.
- Haton, C., 2005. Effets des rayonnements ionisants sur la structure de la fonction de la cellule épithéliale intestinale. Thèse de doctorat de l'université de Paris VI, France, pp : 43.
- Hegarty, T.W., 1973. Temperature relations of germination in the field. In: Heydecker, W. (ed.) *Seed Ecology*. Butterworths, London, pp. 411-432.
- Heikal, M.M., Shaddad, M. A., Ahmed, A. M., 1982. Effect of Water Stress and Gibberellic Acid on Germination of Flax, Sesame and Onion Seeds. *Biologia Plantarum*, 24, 124-129.
- Herchi, W., Kallel, H., Boukhchina, S., 2014. Physicochemical properties and antioxidant activity of Tunisian date palm (*Phoenix dactylifera* L.) oil as affected by different extraction methods. *Food Science and Technology*.
- Hibasami, H., Fujikawa, T., Takeda, H., Nishibe, S., Satoh, T., Fujisawa, T., Nakashima, K., 2000. Induction of apoptosis by *Acanthopanax senticosus* HARMS and its component, sesamin in human stomach cancer.KATO III cells. *Oncol. Rep.*, 7(6) : 1213-1216.
- Hilali, M., 2008. Contribution à la valorisation de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) sapotaceae): Etude de la composition chimique de l'huile d'argane en fonction de son mode d'extraction et de son origine de production. Analyse multicritère pour la recherche d'adultération de l'huile d'argane. Etude des composés phénoliques de la pulpe du fruit de l'arganier. Thèse de Doctorat National, Faculté des Sciences, Université Mohammed V-Agdal.
- Hiltebrandt, V.M., 1932. Sesame (*Sesamum indicum* L.). *Bull. Appl. Bot. Ser.* 9. (2): 3-114.
- Hiremath, S.C., Patil, C.G., Patil, K.B., Nagasampige, M.H., 2007. Genetic diversity of seed lipid content and fatty acid composition in some species of *Sesamum* L. (Pedaliaceae). *African Journal of Biotechnology* Vol. 6 (5), 539-543.
- Hmid, H., 2014. Contribution à la valorisation alimentaire de la grenade marocaine (*Punica granatum*) : Caractérisation physicochimique, biochimique et stabilité de leur jus frais Thèse de Doctorat N° 1310. Université Sltan Moulay Slimane- Béni Mellal.
- Hoballah AA (2001) Selection and agronomic evaluation of induced mutant lines of sesame. In: *Sesame improvement by induced mutations*, IAEA-TECDOC-1195. IAEA, Vienna, pp 137–150.
- Hodek, P., Trefil, P., Stiborova, M., 2002. Flavonoids—potent and versatile biologically active compounds interacting with cytochromes P450. *Chem Biol Interact.* 139:1-21.
- Houmanat., K., Charafi, J., Mazouz, H., El Fechtali, M., Nabloussi, A., 2016. Genetic diversity analysis of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) accessions from different geographic origins using ISSR markers. *Int. J. Agric. Biol.*, 18: 1081–1087.

- Huang, D., Ou, B., Prior, R.L., 2005. The chemistry behind antioxidant capacity assays. *J. Agric. Chem.* 53: 1841-1856.
- Hussien, M.A., El-Hatlab, A.H., Abd-El Raouf, M.S., Shaban, S.A., El-Deek, M.H., 1983. Effect of soil herbicides on weeds, yield and quality of sesame, *Sesamum indicum* L. *Z. Acker.Pflanzenbou.* 152: 173-185.
- Hussein, L., Ghanem, K.Z., 1999. Calcium bioavailability from selected Egyptian foods with emphasis on the impact of germination and fermentation. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 50: 351-356.
- Ikeda, F.S. et al., 2008. Light and KNO₃ on *Tridax procumbens* seed germination at constant and alternating temperatures. *Planta Daninha*, 26 (4): 751-756.
- Isshiki, S., Umezaki, T., 1997. Genetic variations of isozymes in cultivated sesame (*Sesamum indicum* L.). *Euphytica*, 93: 375-377.
- ISTA, 1985. International rules for seed testing, rules 1985. *Seed Sci. Technol.*, 13: 299-355
- Jamil, M., Rha, E.S., 2004. The effect of salinity (NaCl) on the germination and seedling of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and cabbage (*Brassica oleracea* L.). *Kor. J. Plant Res.*, 7: 226-232.
- Jamil, M., Lee, D.B., Jung, K.Y., Ashraf, M., Lee, S.C., Rha, E.S., 2006. Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seedling growth of four vegetables species. *Journal of Central Europe Agriculture*, 7: 273-282.
- Javed, M.S., Wahid, A., Idrees, M., 1995. Fungi associated with sesame seed and their frequency. *Pak. J. Phytopathol.*, 7: 174-176.
- Jellin, J.M., Gregory, P., Batz, F., Hitchens, K., 2000. Pharmacist's letter/prescriber's letter natural medicines comprehensive database. 3rd ed. Therapeutic Research Faculty, Stockton, CA. p. 1-1527.
- Jeong, S.M., Kim, S.Y., Kim, D.R., Nam, K.C., Ahn, D.U., Lee, S.C., 2004. Effect of seed roasting conditions on the antioxidant activity of defatted sesame meal extracts. *Journal of Food Science*. 69: 377-381.
- Jiao, Y., Davin, L.B., Lewis, N.G., 1998. Furanofuran lignan metabolism as a function of seed maturation in *Sesamum indicum*: Methylene dioxy bridge formation, *Phytochemistry*, 49: 387-394
- John, P., Tripathi, N.N., Naveen, K., 2005. Evaluation of sesame germplasm/cultivars for resistance against charcoal rot. *Research on Crops*, 6(1), 152-153.
- Johnson, L.A., Suleiman, T.M., Lusas, E.W., 1979. Sesame protein: A review and prospectus *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 56:463-468.
- Johnson, J., Bratt, B.M., Michel-Barron, O., Glennow, C., Petruson, B., 2001. Pure sesame oil vs isotonic sodium chloride solution as treatment for dry nasal mucosa. *Arch. Otolaryngol Head Neck Surg.* 127:1353-1356.
- Kafiriti, E., Mponda, O., 2013. Growth and Production of Sesame, *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Soils, Plant Growth and Crop Production*, <http://www.eolss.net/sample-chapters/c10/e1-05a-46.pdf>.
- Kahkonen, M.P., Hopia, A.I., Vuorela, H.J., Rauha, J.P., Pihlaja, K., Kujala, T.S., Heinonen, M., 1999. Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.* 47, 3954-3962.
- Kamal-Eldin, A., Yousif, G., Iskander, G.M., Appelqvist, L.A., 1992. Seed lipids of *Sesamum indicum* L. and related wild-species in Sudan .1. Fatty-acids and Triacylglycerols. *Fett Wissenschaft Technologie-Fat Science Technology*, 94(7), 254-259.
- Kamal-Eldin, A., Appelqvist, L.A., 1994a. Variations in the composition of sterols, tocopherols and lignans in seed oils from four *sesamum* species. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 71: 149-156.

- Kamal-Eldin, A., Appelqvist, L.A., Yousif, G., 1994b. Lignan analysis in seed oils from four *Sesamum* species: Comparison of different chromatographic methods. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 71: 141-147.
- Kang, C.W., Kim, S.Y., Lee, S.W., Mathur, P.N., Hodgkin, T., Zhou, M.D., Lee, R.J., 2006. Selection of a Core Collection of Korean Sesame Germplasm by a Stepwise Clustering Method. *Breeding Science*, 56: 85-91.
- Kanu, P.J., 2011. Biochemical analysis of black and white Sesameseeds from China. *Am J. Biochem. Mol Biol.* 1:145 -157.
- Kápolna, E., Gergely, V., Dernovics, M., Illés, A., Fodor, P., 2007. Fate of selenium species in sesame seeds during simulated bakery process. *Journal of Food Engineering* 79 : 494–501.
- Kato, M.J., Chu, A., Davin, L.B., Lewis, N.G., 1998. Biosynthesis of antioxidant lignans in *Sesamum indicum* seeds. *Phytochemistry* 47:583-591.
- Katsuzaki, H., Kawasumi, M., Kawakishi, S., Osawa, T., 1992. Structure of novel antioxidative lignan glucosides isolated from sesame seed. *Biosci Biotech Biochem*, 56(12): 2087-2088.
- Katsuzaki, H., Kawakishi, S., Osawa, T. 1993. Structure of novel antioxidative lignan triglucoside isolated from sesame seed. *Heterocycles*, 36(5): 933-936.
- Katsuzaki, H., Kawakishi, S., Osawa, T., 1994a. Sesaminol glucosides in sesame seeds. *Phytochemistry*, 35(3):773-6.
- Katsuzaki, H., Osawa, T., Kawakishi, S., 1994b. Chemistry and antioxidative activity of lignan glucosides in sesame seed. *ACS Symp Ser.*, 574: 275-80.
- Kaushik, G., Satya, S., Naik, S.N., 2010. Effect of domestic processing techniques on the nutritional quality of the soybean. *Mediterr. J. Nutr. Metab.*, 3(1):39-46.
- Kaya, M.D., Okçu, G., Atak, M., Çikılı, Y., Kolsarıcı, Ö., 2006: Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24: 291-295.
- Keshavarzi, M.H.B., 2012. The effect of drought stress on germination and early growth of *Sesamum indicum* seedlings under laboratory conditions. *Int. J. Agric. Manage. Dev.*, 2:271-275.
- Khajeh-Hosseini, M., Powell, A.A., Bingham, I.J., 2003. The interaction between salinity stress and seed vigor during germination of soybean seeds. *Seed Sci. Technol.*, 31: 15-725
- Khallouki, F., Younos, C., Soulimani, R., Charrouf, Z., 2003. Consumption of argan oil (Morocco) with its unique profile of fatty acids, tocopherols, squalene, sterols and phenolic compounds should confer valuable cancer chemopreventive effects. *Eur J Cancer Prev*, 12: 67-75.
- Khidir, M.O., 1997. Oil Crops in Sudan (in Arabic) pp 20 Sudan Economic Report, Government of the Sudan.
- Kim, D.H., Zur, G., Danin-Poleg, Y., Lee, S.W., Shim, K.B., Kang, C.W., Kashi, Y., 2002. Genetic relationships of sesame germplasm collection as revealed by inter-simple sequence repeats. *Plant Breed. rev.*, 121(3), 259-262.
- Kim, H.W., 2000. Studies on the antioxidant compounds of sesame oil with roasting temperature. *Food Sci.*, 32:246-251.
- Kim, J.H., Seo, W.D., Lee, S.K., Lee, Y.B., Park, C.H., Ryu, H.W. et al., 2014. Comparative assessment of compositional components, antioxidant effects, and lignan extractions from Korean white and black sesame (*Sesamum indicum* L.) seeds for different crop years. *Journal of Functional Foods*, 7:495-505.
- Knaggs, A.R., 2003. The biosynthesis of shikimate metabolites. *Natural Product Reports*, 20.
- 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.

- Koechlin-Ramonatxo, C., 2006. Oxygène, stress oxydant et suppléments antioxydants ou un aspect différent de la nutrition dans les maladies respiratoires. *Nutrition clinique et métabolisme*, 20 : 165-177.
- Koleva, I.I., Van Beek, T.A., Linssen, J.P.H., de Groot, A., Evstatieva, L.N., 2002. Screening of plant extracts for antioxidant activity: a comparative study on three testing methods. *Phytochemical Analysis*, 13: 8-17.
- Kris-Etherton, E., 2006. Bioactive compounds in foods: Their role in prevention on 71-cardiovascular disease and cancer. *American Journal of Medicine*, n. 113, p. 11-88.
- Kumari, A., Kakkar, P., 2008. Screening of antioxidant potential of selected barks of Indian medicinal plants by multiple in vitro assays. *Biomedical and environmental sciences*, 21: 24-29.
- Kumar, A., Khan, S.A., Parvez, A., Zaheer, M.S., Rabbani, M.U., Zafar, L., 2011. The prevalence of hyperhomocysteinemia and its correlation with conventional risk factors in young patients with myocardial infarction in a tertiary care centre of India. *Biomed Res* 22: 225-229.
- Kumazaki, T., Yamada, Y., Karaya, S., Tokumitsu, T., Hirano, T., Yasumoto, S., Katsuta, M., Michiyama, H., 2008. Effects of day length and air temperature on stem growth and flowering in sesame. *Plant Prod. Sci.* 11, 178-183.
- Kurt, O., Bozkurt, D., 2006. Effect of temperature and photoperiod on seedling emergence of flax (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Agronomy* 5:541-545.
- Kyauk, H., Hopper, N.W., Brigham, R.D., 1995. Effects of temperature and presoaking on germination, root length and shoot length of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Envir. and Exper. Botany*, 35: 345-351.
- Laguerre, M., Lopez-Giraldo, L.J., Lecomte, J., Pina, M., Villeneuve, P., 2007. Outils d'évaluation in vitro de la capacité antioxydante. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*. 14 : 278-292.
- Lakhanpal, P., Rai, D.K., 2007. Quercetin: a versatile flavonoid. *Internet Journal of Medical Update*. 2(2):22-37.
- Lampi, A.M., Kamal-Eldin, A., Piironen, V., 2002. Ch. 1 Tocopherols and Tocotrienols from Oil and 1021 Cereal Grains. In: *Functional Foods, Biochemical and Processing Aspects*, Volume 2 (Eds. J. Shi, G. 1022 Mazza, M. Le Maguer). CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 1-38.
- Laurentin, H.E., Karlovsky, P., 2006. Genetic relationship and diversity in a sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm collection using amplified fragment length polymorphism (AFLP). *BMC Genet.* 7, 1- 10.
- Langham, R., 1985. USA - Growing sesame in the desert south west. *Sesame and Safflower: status and potential*. A. Ashri FAO, Plant Production and Protection Pap No.66:75-79.
- Langham, D.R., Riney, J., Smith, G., Wiemers, T., 2008. Sesame harvest guide [online]: www.sesaco.net.
- Langham, D.R., Wiemers, T., 2002. Progress in mechanizing sesame in the US through breeding. In: Janick, J., et al. (Eds.) *Trends in new crops and new uses*. pp. 157-173 ASHS Press, Alexandria, VA.
- Lecerf, J.-M., 2011. Les huiles végétales particularités et utilités. *Médecine des maladies Métaboliques* (5) 3, 257-262.
- 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.
- Lee, J.I., Lee, B.H., Bang, J.K., 1990. Breeding of sesame (*Sesamum indicum* L.) for oil quality improvement. V. Varietal differences of amino-acid composition in protein of sesame seed. *Kor. J. Breed.* 21:300-307.

- Lee, S.W., Kang, C.W., Kim, D.H., Satoko, Y., Masumi, K., 1999. Varietal variation of sesamin, sesamol and oil contents according to seed coat colors in sesame. *Kor. J. Breed.* 31:286-292.
- Lee, W.C., Wen, J.Y., Shioh, C.H., Pin, D.D., 2002. Antioxidant activity of sesame coat. *Food Chem.* 78:347-354.
- Lee, T.T.T., Chung, M.C., Kao, Y.W., Wang, C.S., Chen, L.J., Tzen, J.T.C., 2005. Specific expression of a sesame storage protein in transgenic rice bran. *J. Cereal Sci.* 41: 23-29.
- Lee, J., Lee, Y., Choe, E., 2008. Effects of sesamol, sesamin and sesamol extracted from roasted sesame oil on the thermal oxidation of methyl linoleate. *LWT Food Sci. Tech.*, 41:1871-1875
- Lee, J.M., Roche, J.R., Donaghy, D.J., Thrush, A., Sathish, P., 2010. Validation of reference genes for quantitative RT-PCR studies of gene expression in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) *BMC Mol Biol.* 11:8.
- Leitao, G.G., Leitao, S.G., Vilegas, W., 2002. Quick preparative separation of natural naphthoquinones with antioxidant activity by high-speed counter-current chromatography. *Z Naturforsch.* 57:1051-1055.
- Lhuillier, A., 2007. Contribution a l'étude phytochimique de quatre plantes malgaches : *Agauria salicifolia* Hook.f ex Oliver, *Agauria polyphylla* Baker (Ericaceae), *Tambourissa trichophylla* Baker (Monimiaceae) et *Embelia concinna* Baker (Myrsinaceae). Thèse de doctorat. Toulouse.
- Liu, C.J., 1997. Geographical distribution of genetic variation in *Stylosanthes scabra* revealed by RAPD analysis. *Euphytica* 98: 21-27.
- Liu, Q., Singh, S.P., Green, A.G., 2002. High-oleic and high-stearic cottonseed oils: nutritionally improved cooking oils developed using gene silencing, *J. Am. Coll. Nutr.*, 21: 205-211.
- Loumouamou, B., Silou, T.H., 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.
- Lorenz, A.O., Maynard, D.N., 1980. Knott's Hand Book for Vegetable Growers, 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc., USA, p. 74.
- Ma, D., Wierzbicki Field, C., Clandinin, M., 1999. Conjugated linoleic acid in canadian dairy and beef products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 1956-1960.
- Mabberley, D.J. 1997. *The Plant-Book. A Portable Dictionary of the Higher Plants.* 2nd edn. Cambridge University Pres. Cambridge.
- Macheix, J.J., Fleuriet, A., Jay-Allemand, C., 2005. Les composés phénoliques des végétaux: Un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Presses polytechniques et universitaires romandes. Collection Biologie 192 pages.
- Madhavi, D.L., Salunkhe, D.K., 1995. Antioxidant. Page 89 in *Food Additive Toxicology*. J. A. Maga and A. T. Tu, ed. Marcel Dekker, New York, NY.
- Mahajan, R.K., Bisht, I.S., Dhillon, B.S., 2007. Establishment of a Core Collection of World Sesame (*Sesamum indicum* L.) Germplasm Accessions. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 39, 53-64.
- Malagas, D., 1992. Arbres et arbustes guérisseurs des savanes Maliennes. ACCT - Karthala. p. 232.
- Mansouri, F., Ben moumen, A., Lopez, G., Fauconnier, M., Sindic, M., Serghini-Caid H., Elamrani, A., 2013. Preliminary Characterization of monovarietal virgin olive oils produced in eastern area of Morocco. *Inside Food Symposium*, 9-12.
- Martins, C.C., Nakagawa, J., Bovi, M.L.A., 2000. Influência do peso das sementes de palmito - vermelho (*Euterpe espirotosantensis* Fernandes) na porcentagem e na velocidade de germinação. *Revista Brasileira de Sementes* 22(3) :47-53.

- Martin, S., Andriantsitohaina, R., 2002. Mécanismes de la protection cardiaque et vasculaire des polyphénols au niveau de l'endothélium. *Annales de cardiologie et d'angéiologie*. 51 : 304-315.
- Masella, R., Di Benedetto, R., Vari, R., Filesi, C., Giovannini, C., 2005. "Novel mechanisms of natural antioxidant compounds in biological systems: Involvement of glutathione and glutathione-related enzymes." *Journal of Nutritional Biochemistry* 16(10): 577- 586.
- Mates, J. M., Pérez-Gomez, C., De Castro, I.N., 1999. "Antioxidant enzymes and human diseases." *Clinical Biochemistry*, 32(8): 595-603.
- Mazliak., 1982- *Physiologie végétale, croissance et développement*. Tome 3. Ed. Hermann éditeurs des sciences et des arts, collecte méthodes, Paris, 420p.
- McCall, M.R., Frei, B., 1999. "Can antioxidant vitamins materially reduce oxidative damage in humans?" *Free Radical Biology and Medicine* 26(7-8): 1034-1053.
- Mehra, V., Tripathi, J., Powell, A.A., 2003. Aerated hydration treatment improves the response of *Brassica juncea* and *Brassica campestris* seeds to stress during germination. *Seed Sci. Technol.*, 31: 57-70.
- Mekhedov, S., de Ilarduya, O.M., Ohlogge, J., 2000. Toward a functional catalog of the plant genome: a survey of genes for lipid biosynthesis. *Plant Physiol* 122: 389-401.
- Mensah, J.K., Obadoni, B.O., Eroutor, P.G., Onome-Irieguna, F., 2006. Simulated flooding and drought effects on germination, growth, and yield parameters of sesame (*Sesamum indicum* L.). *African Journal of Biotechnology*, 5, 1249-1253.
- Mensink, R.P., 2005. Effects of stearic acid on plasma lipid and lipoproteins in humans.
- Mermelstein, N.H., 2008. Determining antioxidant activity. *Food Technology* 11:63-66.
- Michel, B.E., Kaufmann, M.R., 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiol.*, 51: 914-916.
- Michel, B.E., 1983. Evaluation of the water potentials of solutions of polyethylene glycol 8000 both in the absence and presence of other solutes. *Plant Physiol.*, 72: 66-70.
- Milane, H., 2004. La quercétine et ses dérivés: molécules à caractère prooxydant ou capteurs de radicaux libres; études et applications thérapeutiques. Thèse de doctorat de l'université de Louis Pasteur. pp : 13-36.
- Minguez-Mosquera, M.I., Rejano, L., Gandul, B., Sanchez, A.H., Garrido, J., 1991. Color-pigment correlation in virgin olive oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 68, 332-336.
- Miyahara, Y., Hibasami, H., Katsuzaki, H., Imai, K., Komiya, T., 2001. Sesamolin from sesame seed inhibits proliferation by inducing apoptosis in human lymphoid leukemia Molt 4B cells. *Int. J. Mol. Med.* 7(4): 369-371.
- Moazzami, A.A., Kamal-Eldin, A., 2006. Sesame seed is a rich source of dietary lignans. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 83:719-723.
- Moazzami, A.A., 2006. Sesame Seed Lignans: Diversity, Human Metabolism and Bioactivities Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala.
- Moazzami, A.A., Andersson, R.E., Kamal-Eldin, A., 2007. Quantitative NMR analysis of a sesamin catechol metabolite in human urine. *J Nutr* 137, 940-944.
- Mol, J., Grotewold, E., Koes, R., 1998. How genes paint flowers and seeds. *Trends Plant Sci.* 3: 212-217.
- Mondal, N., Bhat, V.K., Srivastava, S.P., 2010. Variation in fatty acid composition in Indian germplasm of sesame. *J Am Oil Chem Soc* 87:1263-1269.
- Mounkaila, M., 1998. Etude de la diversité morphologique et agronomique du Sésame au Niger et recherche de critères de sélection pour l'amélioration du rendement; Mémoire de Fin d'étude d'ITA, FAI Niamey, 42p.
- Montagnier, L., 2009. Oxidative stress in preventive medicine. *Free Radical Research*, 43, 27- 97.

- Morris, J.B., 2002. Food, industrial, nutraceutical, and pharmaceutical uses of sesame genetic resources. In: Janick, J., et al. (Eds.) Proceedings of Trends in new crops and new uses, Atlanta, Georgia, USA. 153-156: Proceedings of the Fifth National Symposium.
- Morris, J.B., 2009. Characterization of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Germplasm Regenerated in Georgia, USA. Genetic Resources and Crop Evolution, 56, 925-936.
- Mosjidis, J.A., Yermanos, D.M., 1984. Maternal effects and cytoplasmic inheritance of oleic and linoleic acid content in sesame. Euphytica 33:427-432.
- Mshelia, J.S., Sajo, A.A., Gungula, D.T., 2014. Effects of sowing date and intra-row spacing on oil, crude protein, crude fibre and ash contents of sesame (*sesamum indicum* l.) seed in yola, Nigeria. International Journal of Science and Nature. 5 (2) 2014: 186-190.
- Mulkey, J.R., Drawe, H. J., Elledge, R.E.J.R., 1987. Planting date effects on plant growth and development in sesame. Agron. J. 79(4):701-703.
- Munne-Bosch, S., Alegre, L., 2002a. The function of tocopherols and tocotrienols in plants. Crit Rev Plant Sci. 21:31-57.
- Murillo-Amador, B., Lopez-Aguilar, R., Kaya, C., Larrinaga-Mayoraland, J., Flores Hernandez, A., 2002. Comparative effects of NaCl and polyethylene glycol on germination, emergence and seedling growth of cowpea. J. Agron. Crop Sci., 188: 235-247
- Muthuswamy, P., Thangavelu, S., 1993. Capsule position and maturity stage on seed weight, oil content and yield in *Sesamum* genotypes. Masras agricultural journal, 80: 706-708.
- Naerls, 2010. Beniseed production and utilisation in Nigeria. Extension Bulletin No 154, Horticulture Series No 5. Available at www.naerls.gov.ng/extmat/bulletins/Beniseed.pdf.
- Nagaraju, J., Kathirvel, M., Kumar, R. R., Siddiq E. A., Hasnain S. E., 2002. Genetic analysis of traditional and evolved Basmati and non-Basmati rice varieties by using fluorescence-based ISSR PCR and SSR markers. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 99: 5836-5841.
- Namiki, M. 1989. Goma no lignan (lignan of sesame) (in Japanese). In Goma no kagaku (Science of sesame); Namiki, M.; Kobayashi, T. Eds.; Asakura shoten: Tokyo, Japan, 1989; pp 168.-155.
- Namiki, M., 1995. The Chemistry and Physiological Functions of Sesame. Food Rev Int. 11: 281-329.
- Namiki, M., 1998. Advances in sesame science and function. Maruzen Planet Co. Tokyo. P. 268.
- Namiki, M., 2007. Nutraceutical functions of sesame. Crit. Rev. Food Science. 47: 651-673.
- Naturland, 2000. Sesame *ur*ganic Farming III the Tropics and Subtropics Exemplary Description of 20 Crops. Naturland. 1st edition 16p.
- Naturland, 2002. Organic farming in the Tropics and Subtropics: Sesame. 21/07/11. Available at www.naturland.de/fileadmin/MDB/documents/Publication/English/sesame.pdf
- Nayar, N.M., Mehra, K.L., 1970. Sesame - its uses, botany, cytogenetics, and origin. Econ. Bot., 24: 20-31.
- Newaz, M.A., Nawal, N.N.A., 1998. Effect of alpha-tocopherol on lipid peroxidation and total antioxidant status in spontaneously hypertensive rats. Am J Hypertens 11, 1480-1485.
- NF EN ISO 10565 Novembre 1998. Graines oléagineuses - Détermination simultanée de la teneur en huile et en eau - Méthode par spectrométrie par résonance magnétique nucléaire pulsée.
- Nei, M., 1978. The theory of genetic distance and evolution of human races. Japan J. Hum. Genet., 23:341-369.
- Nieves Criado, M., Paz Romero, M., Casanovas, M., Motilva, M.J., 2008. Pigment profile and color of monovarietal virgin olive oils from *Arbequina* cultivar obtained during two consecutive crop seasons Food Chemistry 110, 873-880.

- Nijveldt, R. J., Van Nood, E., Van Hoorn, D. E. C., Boelens, P. G., Van Norren, K., Van Leeuwen, P. A. M., 2001. Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *American journal of clinical nutrition*. 74, 418-425.
- Nouadje, S.N., Kapseu, C., Nso, E., 2013. Characterization of white seed *sesamum indicum* L. Oil for biodiesel production. *Int. J. Engg. Res. & Sci. & Tech* Vol. 2, No. 4.
- Noorka, I.R., S.I. Hafiz and M.A.S. El-Bramawy. 2011. Response of sesame to population densities and nitrogen fertilization on newly reclaimed sandy soils. *Pak. J. Bot.*, 43: 1953-1958.
- Nupur, M., Bhat, K.V., Srivastava, P.S., 2010. Variation in fatty acid composition in indian germplasm of sesame. *Journal of the American Oil Chemists' Society*: 87 (11) 1263-1269
- 87(11), 1263-1269.
- Nweke, F.N., Ubi, B.E., Kunert, K.J., 2011. Determination of proximate composition and amino acid profile of Nigerian sesame (*sesamum indicum* L.) cultivars. *Nigerian Journal of Biotechnology* 23: 5-12.
- Nykiforuk, C.L., Johnson-Flanagan, A.M., 1994. Germination and early seedling development under low temperature in canola. *Crop Sci*. 34:1047-1054.
- Nyongesa, B., Were, B., Gudu, S., Dangasuk, O., Onkware, A., 2013. Genetic diversity in cultivated sesame (*Sesamum indicum* L.) and related wild species in East Africa. *J Crop Sci Biot.*, 16 (1): 9-15.
- Nzikou, J.M., Matos, L., Bouanga-Kalou, G., Ndangui, C.B., Pambou-Tobi, N.P.G., Kimbonguila, A., Silou, Th., Linder, M. and Desobry, S., 2009. Chemical composition on the seeds and oil of sesame (*Sesamum indicum* L.) Grown in Congo Brazzaville. *Adv. J. Food Sci. Technol.* 1 (1), 6-11.
- Ofosuhene, S.H., Yeboah-Badu, V.I., 2010. Evaluation of sesame (*Sesamum indicum*) production in Ghana. *J. Anim. Plant Sci.*, 6(3): 653-662.
- Okçu, G., Kaya, M.D., Atak, M., 2005. Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turk. J. Agric. For.*, 29: 237-242.
- Ollé, M., 2002. Analyse des corps gras DGCCRF, Laboratoire interrégional de Montpellier France, *Techniques de l'ingénieur*, pp 3325.
- Olowe, V.I.O., 2007. Optimum planting date for sesame (*Sesamum indicum* L.) in the transition zone of south west Nigeria. *Agric. Tropica Subtropica.*, 40(4): 156-164.
- Olowe, V.I.O., 2006. EFFECTS OF VARYING AGRONOMIC PRACTICES ON SOME SHOOT CHARACTERISTICS OF SESAME (*Sesamum indicum* L.). *AGRICULTURA TROPICA ET SUBTROPICA*, 39(2) : 127-131.
- Oplinger, E.S., Putnam, D.H., Kaminski, A.R., Hanson, C.V., Oelke, E.A., Schulte, E.E., Doll, J.D., 1990. Sesame. *Univ. Wisconsin Ext. Univ. Minnesota Ext.*, Madison, WI and St. Paul, MN.
- Ojiambo, P.S., Ayiecho, P.O., Nyabundi, J.O., 1999. Effect of plant age on sesame infection by *Alternaria leaf spot*. *African Crop Science Journal* 7(1), 91-96.
- Ono, E., Nakai, M., Fukui, Y., Tomimori, N., Fukuchi-Mizutani, M., Saito, M., Satake, H., Tanaka, T., Katsuta M., Umezawa, T., Tanaka, Y., 2006. Formation of two methylenedioxy bridges by a Sesamum CYP81Q protein yielding a furofuranlignan, (+)-sesamin, *PNAS* 103 (2006) 10116-10121.
- Ogbonna, P.E., Ukaan, S.I., 2013. Chemical composition and oil quality of seeds of sesame accessions grown in the Nsukka plains of South Eastern Nigeria. *Afr. J. Agric. Res.* 8 (9): 797-803.
- Onwueme, I.C., Sinha, T.D., 1991. *Field Crop Production in Tropical Africa: Principles and Practice*. Technical Centre for Agricultural and Rural Co-Operation, Wageningen, the Netherlands, ISBN: 9789290810865, Pages: 480.

- Onstad, D., 1996. Whole Foods Companion: A Guide for Adventurous Cooks, Curious ... White River Junction, VT: Chelsea Green Publishing Company.
- ORMVAT, 2014, <http://ormva-tadla.ma/filieres/production-v%C3%A9g%C3%A9tale/le-sesame>.
- Orruno, E., Morgan, M.R.A., 2007. Purification and characterization of the 7S globulin storage protein from sesame (*Sesamum indicum* L.). Food Chemistry, 100: 926-934.
- Osawa, T., Nagata, M., Namiki, M., Fukuda, Y., 1985. Sesamolol, a novel antioxidant isolated from sesame seeds. Agric. Biol. Chem. 49: 3351-3352.
- Ou, B., Hampsch-Woodill, M., Prior, R.L., 2001. Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49: 4619-4626.
- Ou, B., Huang, D., Hampsch-Woodill, M., Flanagan, J.A., Deemer, E.K., 2002. Analysis of antioxidant activities of common vegetables employing oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP) assays: a comparative study. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50: 3122-3128.
- Pace, R. and Benincasa, P., 2010. Effect of Salinity and Low Osmotic Potential on the Germination and Seedling Growth of Rapeseed Cultivars with Different Stress Tolerance. Ital. J. Agron. / Riv. Agron., 5: 69-77.
- Packer, L., Kraemer, K., Rimbach, G., 2001. Molecular aspects of lipoic acid in the prevention of diabetes complications. Nutrition, 17(10): 888-895.
- Pandey, R.K., Maranville, J.W., Admou, A., 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a Sahelian environment. I. Grain yield, yield components and water use efficiency. European Journal of Agronomy, 15: 93-105.
- Panfili, G., Fratianni, A., Irano, M., 2003. Normal phase high-performance liquid chromatography method for the determination of tocopherols and tocotrienols in cereals. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51(14): 3940-3944.
- Papavizas, G.C., 1977. Some factors affecting survival of sclerotia of *Macrophomina* in soil. Soil Biol. Biochem., 9: 337-341.
- Parsaeian, M., Mirlohi, A., Saeidi, G., 2011. Study of genetic variation in sesame (*Sesamum indicum* L.) using agromorphological traits and ISSR markers. Genetica, 47: 359- 367.
- Pastre, J., Priymenko, N., 2007. Intérêt des anti-oxydants dans l'alimentation des carnivores domestiques. Revue Méd. Vét. (4) :187p.
- Pathak, N., Rai, A.K., Kumari, R., Thapa, A., Bhat, K.V., 2014. Sesame crop: An underexploited oilseed holds tremendous potential for enhanced food value. Agricultural Sciences, 5:519-529.
- Pathirana, R., 1994. Natural cross-pollination in sesame (*Sesamum indicum* L.). Plant Breeding. 112: 167-170.
- Patil, S.K., Dharne, P.K., Shambharkar, D.A., 2001. Response of different promising genotypes of sesame to major insect pests & leaf spot disease. Sesame and Safflower Newsletter 16: 72-74.
- Pearson, T.A., 1994. Stearic acid and cardiovascular disease-answer and questions. Am. J. ClinNutr., 60:1017-1072.
- Pelli, K., Lyly, M., 2003. Les antioxydants dans l'alimentation. VTT Biotechnology Finlande.
- Pernès J. (1984) Gestion des ressources génétiques des plantes. Tome 11 : Manuel (J. Pernès et al., ed.) A.C.C.T. Paris
- Peter, K.V., ed. 2004. Woodhead Publishing in Food Science and Technology: Handbook of spices. 2. Cambridge.

- Pham, D.T., Bui, M.T., Werlemark, G., Bui, C.T., Merker, A., Carlsson, A.S., 2009. A study of genetic diversity of sesame (*Sesamum indicum* L.) in Vietnam and Cambodia estimated by RAPD markers. *Genet. Resour. Crop. Evol.*, 56(5): 679-690.
- Pham, D.T., Nguyen, T.T.D., Carlsson, A.S., Bui, M.T., 2010. Morphological evaluation of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties from different origins. *Australian Journal of Crop Science*, 4(7): 498- 504.
- Pham, T.D., Geleta, M., Bui, T.M., Bui, T.C., Merker, A., Carlsson, A.S. 2011 . Comparative analysis of genetic diversity of sesame (*Sesamum indicum* L.) from Vietnam and Cambodia using agro-morphological and molecular markers. *-Hereditas*, 148 : 28-35.
- Phillips, K.M., Ruggio, D.M., Ashraf-Khorassani, M., 2005. Phytosterol composition of nuts and seeds commonly consumed in the United States. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(24): 9436- 9445.
- Piironen, V., Lindsay, D.G., Miettinen, T.A., Toivo, J., Lampi, A.M., 2000. Review Plant sterols: Biosynthesis, biological function and their importance to human nutrition. *J. Sci. Food Agric.*, 80 :939-966.
- Pincemail, J., Meurisse, M., Limet, R., Defraigne, J.O., 1999. L'évaluation du stress oxydatif d'un individu : une réalité pour le médecin. *Vaisseaux, Coeur, Poumons*, 4 (5).
- Pinelo, M., Rubilar, M., Sineiro, J., Núñez, M.J., 2004. Extraction of antioxidant phenolics from almond hulls(*Prunus amygdalus*) and pine sawdust (*Pinus pinaster*). *Food Chemistry*, 85:267-273.
- Pleines, S., Friedt, W., 1988. Breeding for improved C18-fatty acid composition in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Fat Sciences and Technology*,90:167-171.
- PMV, 2008. Plan Maroc Vert, Plan Agricole Régional de Tadla-Azilal.
- Pradeep, A.R., Chatterjee, S.N., Nair, C.V., 2005. Genetic differentiation induced by selection in an inbred population of the silkworm *Bombyx mori*, revealed by RAPD and ISSR marker systems. *J. Appl. Genet.*, 46:291-98.
- Premović, T., Dimić, E., Romanić, R., Takači, A., 2010. Influence of impurities and hull content in material for pressing on sensory quality cold-pressed sunflower oil. *Acta Periodica Technologica*, 41: 69-76.
- Psotova, J., Lasovsky, J., Vicar, J., 2003. Metal chelating properties, electrochemical behavior, scavenging and cytoprotective activities of six natural phenolic. *Biomed. Papers* 174-153 p.
- Purseglove, J.W., 1968. *Tropical crops: Dicotyledons*; vol 2 Wiley New York. pp 430-435.
- Purohit, A., Gehlot, H.S., Khurana, P., Agarwal, P., 2005. An evaluation of early seedling growth characteristics of sesame cultivars under salt stress. *Plant Archives*, 5: 249-256.
- Purushottam, G., 2005. Integrated nutrient management in sesame (*Sesamum indicum* L.) and its residual effect in succeeding chickpea (*Cicer arietinum* L.). M.Sc thesis, University of Agricultural Sciences, Dharwad, India, 100 pp.
- Ramirez, R., Gutiérrez, D., Villafaña, R., Lizaso, J.I., 2005. Salt tolerance of sesame genotypes at germination, vegetative and maturity stages. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36: 2405-2419.
- Rao, B.S.N., Prabhavathi, T., 1982. Tannin content of foods commonly consumed in India and its influence on ionisable iron. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 33: 89-96.
- Rawls, H.R., Vansanten, P.J., 1968. Singlet oxygen and the initiation of fatty acid autoxidation. *Tetrahedron letters*, 14: 1675-1678.
- Reboul, E., Thap, S., Perrott, E., Amiot M. J., Lairon, D., Borel P., 2007. Effect of the main dietary antioxidants (carotenoids, γ -tocopherol, polyphenols, and vitamin C) on α -tocopherol absorption. *Eur. J. Clin. Nutr.* (61) 1167-1173.
- Reddy, A.R., Das, V.S.R., 1995. Characteristics of high efficiency photosynthesis in *Sesamum alatum*, a C3 species. *Acta physiol. Plant.* 17: 249-254.

- Reiter, E., Jiang, Q., Christen, S., 2007. Anti-inflammatory properties of α - and γ - tocopherol. *Mol. Asp. Med.* (28) 668-691.
- Reshma, M.V., Namitha, L.K., Sundaresan. A., Kiran. C.R., 2012. Total phenol content, antioxidant activities and A-Glucosidase inhibition of sesame cake extracts. *Journal of Food and Biochemistry*; 22:1-9
- Rice-Evans, C.A., Miller,N.J., Paganga,G., 1996. "Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids." *Free Radical Biology and Medicine*, 20(7): 933-956.
- Rizki H., Kzaiber F., El Harfi M., Nabloussi A., Hanine H., 2015. Chemical Composition and Morphological Markers of 35 Cultivars Of Sesame (*Sesamum Indicum* L) From Different Areas In Morocco. *International Journal of Technology Enhancements and Emerging Engineering Research*, 3(01):50-55.
- Rizzardi, M.A.,Luiz, A.R., Roman, E.S., Vargas, L, 2009. Effect of cardinal temperature and water potential on morning glory (*Ipomoea triloba*) seed germination. *Planta Daninha*, v. 27(1) : 13-21.
- Rock E., 2003. Stress oxydant, Micronutrimet et Santé ; Université d'été de Nutrition 2003 Clément Ferrand P. : 40 - 41 INRA France.
- Rodriguez, A., Le Vay, L., Mourente, G., Jones, D.A., 1994. Biochemical composition and digestive enzyme activity in larvae and postlarvae of *Penaeus japonicus* during herbivorous and carnivorous feeding. *Mar. Biol.* 118: 45-51.
- Roldan-Ruiz, I., Dendauw, J., Van Bockstaele, E., Depicker,A., De Loose, M., 2000. AFLP markers reveal high polymorphic rates in ryegrasses (*Lolium* spp.). *Mol. Breed.*, 6: 125-134.
- Romain, H.R., 2001. Le sesame (*Sesamum indicum* L) III «Agriculture en Afrique Tropicale» édition CERAAS 1634p.
- Ronald, S.K., Ronald, S., 1989. Pearson's Composition and Analysis of Food (9th edition). Longman Publishers. London, UK 2:4-8.
- Salazar, B., Laurentin, H., Davila, M., Castillo, M.A.,2006. Reliability of the RAPD technique for analysis of sesame (*Sesamum indicum* L.) from Venezuela. *Interciencia.*, 31: 456-460.
- Saleem, T.S.M., Chetty, C.M., Kavimani, S., 2013. In-vitro antioxidant activity of sesamine isolated from sesame oil. *J Nat Pharm*, 4:120-5.
- Sanchez de la Hoz, M.P., Davila, J.A, Loarce, Y., Ferrer, E., 1996.Simple sequence repeats primer used in PCR amplifications to study genetic diversity in barley. *Genome.*, 39:112-117.
- Santens, P., 2009. Agriculture spéciale, fascicule 13, le sésame, le voandzou, le fonio.types of sesame germplasm. *Sesame and Safflower NL*, 20:29-33.
- Sarker A.M., 2004. Effect honeybee pollinisation on the yield of rapeseed, mustard and sesame. *Geobros (jodhpur)*, 31: 49-51.
- Sayar, R., Bchini, H., Mosbahi,M., Ezzine, M., 2010. Effects of salt and drought stresses on germination, emergence and seedling growth of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *J. Agric. Res.*, 5: 2008-2016.
- Scalbert, A., Monties, B., Janin, G., 1989. Tannins in wood: comparison of different estimation methods. *J Agric Food Chem*, 37: 1324-1329.
- Scalbert, A., Manach, C., Morand, C., Rémésy, C., Jiménez, L., 2005. Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Crit Rev Food Sci.*, 45:287-306.
- Seegeler, C.J.P., 1983. Oil plants in Ethiopia: Their Taxonomy and Agricultural Significance, Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation.
- Seo, G.S., Jo, J.S., Choi, C.Y., 1986. The effect of fertilization level on the growth and oil quality in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Korean J. Crop Sci*, 31:24-29.

- Shaikh, F., Gul, B., Li, W.Q., Liu, X.J., Khan, M.A., 2007. Effect of calcium and light on the germination of *Urochondrasetus* under different salts. *Journal of Zhejiang University Science B*, 8: 20-26.
- Shahidi, F., Naczki, M., 2004. *Phenolics in Food and Nutraceuticals*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Shahidi, F., Pathirana, C.M.L., Wall, D.S., 2006. Antioxidant activity of white and black sesame seeds and their hull fractions. *Food Chem.*, 99:478-483.
- Shahidi, F., Tan, Z., 2011. Physiological effect of sesame. *Bioactive and antioxidant compounds*. In *Sesame: the genus Sesamum*; Bedigian D. Ed.; CRC Press: Boca Raton, FL.; pp 153-139.
- Sharif, A., Farhoosh, R., Haddad Khodaparast, M.H., TavassoliKafrani, M.H., 2009. Antioxidant Activity of Bene Hull Oil Compared with Sesame and Rice Bran Oils During the Frying Process of Sunflower Oil. *J. Food Lipids*, 16: 394-406.
- Sharma, N., Trikha, M., Raisuddin, S., 2000. Inhibitory effect of *Embllica officinalis* on the in vivo clastogenicity of benzo(a)pyrene and cyclophosphamide in mice. *Human & Experimental Toxicology*, 19: 377-384.
- Sharma, S.N., Vinod, K., Shivangi, M., 2009. Comparative analysis of RAPD and ISSR markers for characterization of sesame (*Sesamum indicum* L.). *J. Plant Biochem. Biotechnol.*, 18:37-43.
- Sharma, S.N., Vinod, K., 2011. Comparative potential of phenotypic, ISSR and SSR markers for characterization of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties from India. *J. Crop Sci. Biotechnol*, 14:163-171.
- Sharma, P., Jha, A.B., Dubey, R.S., Pessaraki, M., 2012. "Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions." *Journal of Botany*, 1-26.
- Sharmila, B.G., Kumar, G., Rajasekhara, P.M., 2007. Cholesterol-lowering activity of the aqueous fruit extract of *Trichosanthes dioica* Roxb. in normal and streptozotocin diabetic rats. *J Clin Diagnostic Res*, 1: 561-569.
- Shimizu, H., 2004. Relationship between plasma glutathione levels and cardiovascular disease in a defined population: the Hisayama study, *Stroke*, 35 (9) : 2072-2077.
- Siger, A., Nogala-Kalucka, M., Lampart-Szczapa, E., 2008. The content and antioxidant activity of phenolic compounds in cold-pressed plant oils. *Journal of Food Lipids*, 15, 137.
- Sikka, A., Gupta, A., 1957. Inheritance Studies in *Sesamum Indicum* L. *Indian J. Genet et PL. Breed.*, 7 (1-2): 35-42.
- Simon, H.U., Haj-Yehia, A., Levi-Schaffer, F., 2000. Role of reactive oxygen species (ROS) in the apoptosis induction. *Apoptosis*, 5: 415-418.
- Singh, K.M., Kumar, D.B., Kumar, D.S., Manorama, 2015. Assessment of Genetic Diversity among Indian Sesame (*Sesamum indicum* L.) Accessions using RAPD, ISSR and SSR Markers. *Research Journal of Biotechnology*, 10(8): 35-47.
- Sirato-Yasumoto, S., Katsuta, M., Okuyama, Y., Takahashi, Y., Ide, T., 2001. Effect of sesame seeds rich in sesamin and sesamol on fatty acid oxidation in rat liver. *J. Agr. Food Chem.*, 49:2647-2651.
- Skiredj, A., El Attir, H., El fadl, A., 2003. Fiche technique des cultures aromatiques et condimentaires. Département d'horticulture, IAV Hassan II. P 222
- Smith, D.E., Salerno, J.W., 2001. Selective growth inhibition of a human malignant melanoma cell line by sesame oil in vitro. *Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids.*, 46:145-150.

- Smith, A.R., Shenvi, S.V., Widlansky, M., Suh, J.H., Hagen, T.M., 2004. "Lipoic acid as a potential therapy for chronic diseases associated with oxidative stress." *Current Medicinal Chemistry*, 11(9): 1135-1146.
- SNIMA: Service de normalisation industrielle., 2003. Corps gras d'origine animale et végétale Huiles d'argane. Spécifications, Norme Marocaine NM 08.5.090. Rabat (Morocco).
- Somé, N.H., 2000. Contribution des facteurs biotiques aux pertes de rendement du sesame (*Sesamum indicum* L), mémoire d'ingénieur en agronomie. IDR/UPB, Bobo-Dioulasso (Burkina Faso), 60p.
- Son, D., 2010. Effet du stress hydrique sur la croissance et la production du sésame (*Sesamum indicum* L.). Mémoire DEA, Université Polytechniques de Bobo-Dioulasso.
- Stefanoudaki, E., Kotsifaki, F., Koutsaftakis, A., 1999. Classification of Virgin Olive Oils of the Two Major Cretan Cultivars Based on Their Fatty Acid Composition. *Journal of the American Oil Chemist's Society*, 76:623-626.
- Suddhiyam, P., Steer, B.T., Turner, D.W., 1992. The flowering of sesame (*Sesamum indicum* L.) in response to temperature and photoperiod. *Aus. J. Agric. Res.*, 43: 1101- 116.
- Suja, K.P., Abraham, J.T., Thamizh, S.N., Jayalekshmy, A., Arumughan, C., 2004a. Antioxidant efficacy of sesame cake extract in vegetable oil protection. *Food Chem.*, 84(3): 393-400.
- Suja KP, Jayalekshmy, A., Arumughan, C., 2004b. Free radical scavenging behavior of antioxidant compounds of sesame (*Sesamum indicum* L.) in DPPH system. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 52:912-915.
- Suzuki S., Umezawa T., 2007. Biosynthesis of lignans and norlignans, *J. Wood Sci.*, 53: 273-284
- Syed, R.N., Pathan, M.A., al. 2005. Evaluation of different fungicides against *Macrophomina phaseolina* causing rot disease of Sesame (*Sesamum indicum*) *Pak.J.Agril. Engg., Vet. Sc.* 21(1).
- Tabatabaei, S.A., Naghibalghora, S.M., 2014. The effect of salinity stress on germination characteristics and biochemical changes of sesame seeds. *Agric. Res. Moldova*, 2: 61-68.
- Thandar, M., Sarobol, E., Verawudh, J., Chowchong, S., 2010. Effects of Seeding Rates and Harvesting Period on Yield, Oil and Protein Content and Aflatoxin Incidence in Sesame Seed (*Sesamum indicum* L.). *Kasetsart J. (Nat. Sci.)*, 44 : 167 - 173.
- Tanguy, M., 2009. Antioxydants Première partie : Les antioxydants dans l'alimentation. *Médecine*, 5 (6):256-260.
- Tanouti, K., Elamrani, A., Serghini Caid, H., Khalid, A., Bahetta, Y., Benali, A., Harkous, M., Khiar, M., 2010. Caractérisation d'huiles d'olive produites dans des coopératives pilotes (Lakrarmaet Kenine) au niveau du Maroc oriental. *Les technologies de Laboratoire*, 5 :18-26.
- Tashiro, K., Hagiya, M., Nishizawa, T., Seki, T., Shimonishi, M., Shimizu, S., Nakamura, T., 1990. Deduced primary structure of rat hepatocyte growth factor and expression of the mRNA in rat tissues. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 87:3200-3204.
- Tavakoli, J., Khodaparast, M.H.H., Kenari, R.E., Lari, M.A., Sharif, A., 2013. Evaluating antioxidant activity of kolkhung skin oil as a new edible source in Iran. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 9 (1): Pe61-Pe67.
- Tekaya, I.B., Hassouna, M., 2005. Étude de la stabilité oxydative de l'huile d'olive vierge extra tunisienne au cours de son stockage. *OCL*, 12 (5-6):447-454.
- Tinay, A., Khattab, A.H., Khidir, M.O., (1976). Protein and oil compositions of Sesame seed. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 53: 648-653.
- Tonk, F.A., Tosun, M., Ilker, E., Istipliler, D., Tatar, O., 2014. Evaluation and comparison of ISSR and RAPD markers for assessment of genetic diversity in triticale genotypes. *Bulg. J. Agric. Sci.*, 20: 1413-1420.

- Toth, J., 1978 a. Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le Sud de la France. Thèse. Doc. Ing. Fac. St. Jérôme -- Marseille, France : 136 p.
- Tripathi, S.K., Tamrakar, P., Chatterji, D., 1998. Evaluation of *sesamum* cultivars for resistance to *Cercospora* leaf spot. *Crop Research (Hisar)*, 15(2-3): 265-269.
- Tyler, V.E., Brady, L.R.,Robbers,J.E., 1976. Lipids. p. 121-122. In: *Pharmacognosy*. Lea & Febiger, Philadelphia, PA.
- Umezawa, T., 2005. Biosynthesis of lignans, lignins, and norlignans, *Kagaku to Seibutsu*, 43: 461-467.
- Uzun, B., Ulger, S., Cagirgan, M.I., 2002. Comparison of determinate and indeterminate types of sesame for oil content and fatty acid composition. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 26(5), 269- 274.
- Uzun, B., Lee, D., Donini, P., Cagirgan, M.I., 2003. Identification of a molecular marker linked to the closed capsule mutant trait in sesame using AFLP. *Plant Breed.*, 122(1): 95-97.
- Uzun, B., Cagirgan, M.I., 2006. Comparison of determinate and indeterminate lines of sesame for agronomic traits. *Field Crops Res*, 96:13-18.
- Uzun, B., Arslan, C., Furat, S., 2008. Variation in fatty acid compositions, oil content and oil yield in a germplasm collection of sesame (*Sesamum indicum* L.). *J Am Oil Chem Soc*, 85:1135-1142.
- Uzun, B.,Cagirgan, M.I., 2009. Identification of molecular markers linked to determinate growth habit in sesame. *Euphytica* 166(3) : 379-384.
- Valko, M., Rhodes, C.J., Moncol, J., Izakovic, M., Mazur, M., 2006. Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biol Inter*, 160:1-40.
- Van De Mark, M.R., Sandefur, K., 2005. Vegetable oils in paint and coatings. *AOCS*, 478-481.
- Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M.T.D., Mazur, M., Telser, J.,2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, 39: 44-84.
- Velasco, L., Goffman, F.D., Becker, H.C.,1998.Variability for the fatty acid composition of the seed oil in a germplasm collection of the genus *Brassica*. *Genet Resour Crop Evol*, 45:371-382.
- Verleyen, T., 2002. Stability of minor components during vegetable oil refining. *Applied biological sciences: Chemistry*. University of Gent. Gant. 277.
- Vigneron, P.Y., Caigniez, J., Stoclin, B., Bregnard, J.P., 2006.L'huile de colza : une huile multi usages en devenir. *Oléagineux Corps Gras Lipides*, (13)363-367.
- Visavadiya, N.P., Narasimhacharya, A.V.R.L., 2008. Sesame as a hypocholesteremic and antioxidant dietary component. *Food Chem. Toxicol.*, 46:1889-1895.
- Visavadiya, N.P., Soni, B., Dalwadi, N., 2009. Free radical scavenging and antiatherogenic activities of *sesamum indicum* seed extracts in chemical and biological model systems. *Food and Chemical Toxicology*, 47, 2507.
- Vishwanath, H.S., Anilakumar, K.R., Harsha, S.N., Khanum, F., Bawa, A.S., 2012. In vitro antioxidant activity of *Sesamum indicum* seeds. *Asian J Pharm Clin Res*, 5:56-60.
- Voelker, T.A., Kinney, A.J., 2001. Variations in the biosynthesis of seed storage lipids. *Annu. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.*, 52: 335-361.
- Vural H., Eşiyok,D., Duman,İ., 2000. Kültür sebzeleri (*Sebze Yetiştirme*). Ege Üniversitesi Basımevi. ISBN:975-97190-0-2. Bornova, İZMİR. 440s.
- Wan, Y., Li, H., Fu, G., Chen, X., Chen, F., Xie, M., 2015. The relationship of antioxidant components and antioxidant activity of sesame seed oil. *J Sci Food Agric*. 95 : 2571-2578.
- Wankhede, D.B., Tharanathan, R.N., 1976. Sesame (*Sesamum indicum*) carbohydrates. , 24(3):655-9.

- Wei, L., Zhang, H., Zheng, Y., Guo, W., Zhang, T., 2008. Development and utilization of EST derived microstellites in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Acta Agronomica Sinica*, 34(12): 2077- 2084.
- Wiesner, I., Wiesnerová, D., 2003. Effect of resolving medium and staining procedure on inter-simplesequence-repeat (ISSR) patterns in cultivated flax germplasm. *Genet. Res. Crop Evol.*, 50:849-853.
- Weiss, E.A., 1971. Castor, sesame and safflower. Leonard Hill Books, London. p. 311-525.
- Weiss, E.A., 1983. Oilseed crops. Longman, NY, USA.
- Were, B.A., Lee, M., Stymne, S., 2001. Variation in seed oil content and fatty acid composition of *Sesamum indicum* L. and its wild relatives in Kenya. *Swedish Seed Association*, 4:178-183.
- Were, B.A., Gudu, S., Onkware, A.O., Carlsson, A.S., Welander, M., 2006a. In vitro regeneration of sesame (*Sesamum indicum* L.) from seedling cotyledon and hypocotyl explants. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 85(2): 235-239.
- Were, B.A., Onkware, A.O., Gudu, S., Welander, M., Carlsson, A.S., 2006b. Seed oil content and fatty acid composition in East African sesame (*Sesamum indicum* L.) accessions evaluated over 3 years. *Field Crop. Res.*, 97(2-3): 254-260.
- White, P.J., Armstrong, L.S., 1986. Effect of selected oat sterols on the deterioration of heated soybean oil. *J Am Oil Chem Soc*, 63: 525-529.
- Willenborg, C.J., Wildeman, J.C., Miller, A.K., Rossnagel, B.G., Shirliffe, S.J., 2005. Oat germination characteristics differ among genotypes, seed sizes and osmotic potential. *Crop Science*, 45: 2023-2029.
- Wiseman, H., Halliwell, B., 1996. Damage to DNA by reactive oxygen and nitrogen species: role in inflammatory disease and progression to cancer. *Biochemical Journal*, 313: 17-29.
- Witcombe, J.R., Hollington, P.A., Howarth, C.J., Reader, S. and Steele, K.A., 2008. Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363: 703-716.
- Woldemariam, Y., 1990. Genotype-environment interaction study on sesame (*Sesamum indicum* L.). Thesis- Departement of plant Sciences, McGill University, Montreal, Quebec, Canada.
- Wolff, N., Cogan, U., Admon, A., Dalal, I., Katz, Y., Hodos, N., Karin, N., Yannai, S., 2003. Allergy to sesame in humans is associated primarily with IgE antibody to a 14 kDa 2S albumin precursor. *Food and Chemical Toxicology*, 41(8): 1165-1174.
- Wu, Q., Liu, T., Liu, H., Zeng, G., 2009. Unsaturated fatty acid: metabolism, synthesis and gene regulation. *Afr J Biotechnol*, 8(9):1782-5.
- Wu, C., Wang, Q., Xie, B., Wang, Z., Cui, J., Hu, T., 2011. Effects of drought and salt stress on seed germination of three leguminous species. *African Journal of Biotechnology*, 10: 17954-17961.
- Xiurong, Z., Yingzhong, Z., Yong, C., Xiangyun, F., Qingyuan, G., Mingde, Z., Hodgkin, T., 2000. Establishment of sesame germplasm core collection in China. *Genet Resour Crop Evol*, 47:273-279.
- Xu, J., Chen, S., Hu, Q., 2005. Antioxidant Activity of Brown Pigment and Extracts from Black Sesame Seed (*sesamum indicum* L.). *Food Chem.*, 91: 79-83.
- Yadav, M., Chaudhary, D., Sainger, M., Jaiwal, P.K., 2010. *Agrobacterium tumefaciens*-mediated genetic transformation of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 103(3): 377-386.
- Yalçın, H., Unal, M.K., 2011. Evaluation of tocopherol homologues of Turkish sesame seed (*Sesamum indicum*) cultivars grown in different locations. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 84: 61-64.

- Yariwake, J.H., Lanças, F.M., Cappelaro, E.A., Vasconcelos, E.C., Tiberti, L.A., Pereira, M.A.S., 2005. Variabilidade sazonal de constituintes químicos (triterpenos, flavonoides e fenólicos totais) das folhas de *Maytenus aquifolium* Mart. (Celastraceae). *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, 15 (2): p. 162-168.
- Yen, G.C., 1990. Influence of seed roasting process on the changes in composition and quality of sesame (*Sesame indicum*) oil. *J. Sci. Food Agr.*,50:563-570.
- Yermanos, D.M., Saleeb, W., Hemstree, S, Huszar, C.K., 1972. Oil content and composition of seed in world collection of sesame introductions. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 49(1): 20-23.
- Yermanos, D.M., 1980. Sesame. In: Fehr W.R. and Hadley H.H. (eds), *Hybridization of crop plants*. Am. Soc . Agron., CSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Yoshida, Y., Saito, Y., Jones, L.S., Shigeri, Y.,2007. Chemical reactivities and physical effects in comparison between tocopherols and tocotrienols: physiological significance and prospects as antioxidants. *J Biosci Bioeng*, 104:439-445.
- Yokota, T., Matsuzaki, Y., Koyama, M., Hitomi, T., Kawanaka, M., Enoki-Konishi, M., Okuyama, Y., Takayasu, J., Nishino, H., Nishikawa,A., Osawa, T., Sakai, T., 2007. Sesamin, a lignan of sesame, down-regulates cyclin D1 protein expression in human tumor cells. *Cancer Sci.*, 98:1447-1453.
- Zavareh, M., Hoogenboom, G., Rahimian, M.H., Arabd, A.A., 2008.Decimal code to describe the growth stages of sesame (*Sesamum orientale* L.). *Int. J. Plant Prod.*, 2(3):193-206.
- Zhang, J.H., Guo, H., Wang,Y., Chen, D.C., 2004. Study on method of determination of the content of sesame oil by second derivative ultraviolet spectrophotometry. *J. Hunan. Agric. Univ.*, 30:367-370.
- Zhang, H., Miao, H., Wei, L., Li, C., Zhao, R., Wang, C., 2013. Genetic analysis and QTL mapping of seed coat color in sesame (*Sesamum indicum* L.). *PLoS One*, 8(5): 1-10.
- Zietkiewicz, E., Rafalski, A., Labuda, D., 1994. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification. *Genomics*, 20: 176-183.
- Zine, S., Gharby, S., El Hadek, M., 2013. Physicochemical characterization of *opuntia ficus-indica* seed oil from Morocco. *Biosci. Biotechnol. Res. Asia*, 10 (1): 1-7.
- Zraibi, L., Nabloussi, A., Kajeiou, M., El Amrani, A., Khalid,A., Serghini Caid, H., 2011. Comparative germination and seedling growth response to drought and salt stresses in a set of safflower (*Carthamus tinctorius*) varieties. *Seed Technol.*, 33: 39-52.

Annexes

Annexe 1 : Fiche enquête

DIAGNOSTIQUE SUR LES CONDITIONS DE PRODUCTION ET DE COMMERCIALISATION DE SESAME DANS LA REGION DE TADLA

Auteur :

Date :

N° :

I. FICHE SIGNALETIQUE DU PRODUCTEUR :

Nom et prénom du producteur :

Localisation :

CDA :

Adresse :

GSM :

II. PRESENTATION DE L'EXPLOITATION

SAU (ha) :

Superficie irriguée :Superficie Bour :

Assolement :

Culture	Superficie (ha)	Type d'irrigation	Culture intercalaires	Nombre de parcelles
Total				

III. CYCLE BIOLOGIQUE DU SESAME

Période de semis et de levée	Période de floraison	Période de fructification	Période de maturité	Période de la récolte

VI. CONDUITE TECHNIQUE

1. Rotation pratiquée :

2. Travail du sol

Nature du sol	Nature du travail	Nbre de passage	Période	Matériel	Coût dh/ha

3. Semis

Epoque	Dose (Kg/ha)	Densité	Variété (Nom, origine et caractéristiques)*	Coût semence (dh/kg)	Nbre de JW

4. Entretien de la culture

Nature d'opération	Epoque d'intervention	Nbre de JW	Principe et compétence

5. Fertilisation

Engrais (Organique ou minéral)	Epoque/stade d'application	Qté Kg/ha	Nbre de JW

6. Désherbage et maladies phytosanitaires :

Mauvaises herbes /Maladies/Ravageurs/...	Symptômes/Dégâts	Période d'apparition	Solution adoptées

7. Irrigation :

Origine de l'eau : Puits Canal

Nombre d'irrigation	Période/fréquence	Volume M3/ha		Nbre de JW
		Débit 1/h	Nbre d'heure d'irrigation	

Dans le cas d'irrigation par pompage :

Source d'énergie : électricité gasoil gaz

Coûts dh/ha

8. Récolte

Indice de maturité		Séchage (durée et lieu)	Séparation
Nbre de JW	Nbre d'ouvrier		
	Durée		
	Coût		
Rendement T/ha			

9. Commercialisation :

Destination de la production	Mode de Vente	Lieu de vente	Epoque de vente	Prix de vente

Y'a-t'il des problèmes d'écoulement de la marchandise ?

Oui Non

Si oui, lesquels ? :.....

10. Stockage et conditionnement :

Durée du stockage	Mode et lieu du stockage	Cause des pertes au cours du stockage	Type d'insecticide utilisé	Coût stock	Prix vente après stock	Matériel de conditionnement

Observation :

Annexe 2 : Modes opératoires

Acidité des huiles

Les extinctions spécifiques K232 et K270 sont déterminées selon le protocole suivant : 0,25g de l'échantillon d'huile est dissout dans 25 ml du cyclohexane à la température ambiante. Après homogénéisation, la lecture des absorbances est effectuée dans une cuve en quartz par rapport à celle du solvant, sur un spectrophotomètre, équipé d'une fibre optique de 1 cm d'épaisseur.

Indice de peroxyde

L'indice de peroxyde est déterminé selon la norme AFNOR NFT 60-220. 1g d'huile est pesé dans une fiole et dissoute dans 10 ml de chloroforme. 15 ml d'acide acétique glacial ainsi que 1ml d'Iodure de potassium (KI) sont ajoutés. On bouche le ballon et le mélange est agité pendant 1min et laissé reposer pendant 5min à l'abri de la lumière et à une température entre 15 à 25°C. 75ml d'eau distillée sont additionnés suivi d'un titrage de l'iode libéré avec une solution de thiosulfate de sodium à 0,001N en agitant vigoureusement et en employant la solution d'amidon (1 g/100 ml) comme indicateur jusqu'à disparition de la couleur.

Indice d'iode

L'annexe XVI du Règlement (CEE) No 2568/91 de la commission du 11 juillet 1991, est utilisée pour la détermination de l'indice d'iode. Dans une fiole de 500 ml, une quantité de 0,13g d'huiles est solubilisée dans 20 ml du mélange cyclohexane- acide acétique glaciale (V/V). A cette solution on ajoute exactement 25ml du réactif de Wijis (solution de concentration de 0,1 M de monochlorure d'iode (ICl)). Le mélange est bouché, agité et mis à l'obscurité pendant une heure. Une fois ce laps de temps est écoulé, on ajoute au mélange précédent 20ml d'une solution d'iodure de potassium (KI) et 150ml d'eau distillée. L'excès d'iode est titré par une solution de thiosulfate de sodium (0,1N) jusqu'à ce que la couleur jaune due à l'iode ait pratiquement disparu. Après l'ajout de quelques gouttes de la solution d'amidon, le titrage est poursuivi jusqu'au moment où la couleur bleue disparaît, après agitation très vigoureuse.

Indice de saponification

La détermination de l'indice de saponification est réalisée en utilisant la norme (AFNOR, NF T60- 206) en suivant les étapes suivantes :

Une quantité de deux grammes d'huile est saponifiée à reflux par 25 ml de KOH éthanolique (0,5N) pendant une heure, l'excès du KOH est neutralisé par de l'acide chlorhydrique (HCl) (0,5N) en présence de phénophtaléine comme indicateur coloré. Un essai à blanc est réalisé dans les mêmes conditions sans l'huile.

Determination des coefficients d'extinction

Les extinctions spécifiques K232 et K270 sont déterminées selon le protocole suivant : 0,25g de l'échantillon d'huile est dissout dans 25 ml du cyclohexane à la température ambiante. Après homogénéisation, la lecture des absorbances est effectuée dans une cuve en quartz par rapport à celle du solvant, sur un spectrophotomètre, équipé d'une fibre optique de 1 cm d'épaisseur.

Determination de la composition en acides gras

Préparation des esters méthyliques

Les esters méthyliques des acides gras (EMAG) sont obtenus par méthanolyse des glycérides et des acides gras libres en milieu alcalin (réaction de trans-méthylation). Pour la détermination de la composition en acides gras, les esters méthyliques sont préparés selon la méthode décrite par Stefanoudaki et al.,(1999). Les esters méthyliques d'acides gras ont été préparés à partir d'huile de sésame avec un procédé de saponification froid. A température ambiante, l'huile de sésame (0,25 g) a été transférée dans un tube à essai dans lequel on ajoute 5 ml du n-hexane et 0,5 ml d'une solution méthanolique d'hydroxyde de potassium 2N. Le mélange est centrifugé à 3500 rpm pendant 2 min.

Protocole extraction de l'aDN

Après lyophilisation des échantillons, on procède à l'extraction de l'ADN en utilisant la méthode CTAB. Les étapes d'extraction sont les suivantes :

- Broyer dans un mortier 20 à 40 mg de feuilles lyophilisées.
- Ajouter 1250 µl de tampon d'extraction CTAB.
- Mettre les extraits dans le bain marie réglé à 65°C pendant 30 min à 1h, en mixant à l'aide d'un vortex toutes les 15 min.
- Additionner 500 à 700 µl du chloroforme/ alcool iso-amylque (24/1).
- Agiter pendant 15 à 20 min.
- Centrifuger à 13 000 rpm, à 25°C, pendant 10 min.
- Prendre le surnageant dans un tube Eppendorf de 1.5 ml.
- Ajouter 500 µl du chloroforme/alcool iso-amylque (24/1), et agiter pendant 3 min.
- Centrifuger à 13 000 rpm, à 25°C, pendant 10 min.
- Prendre le surnageant et ajouter 800 µl d'iso-propanol refroidi.
- Laisser les tubes pendant 30 min ou plus, à 4°C avant la dernière centrifugation.
- Centrifuger à 13 000 rpm, pendant 10 min, à 4°C.
- Récupérer le culot et rincer avec 500 µl d'éthanol (70%) froid.
- Sécher les tubes Eppendorf de l'éthanol dans un dessiccateur.
- Additionner 100 µl de la solution Tris-EDTA (0.5 X).
- Conserver les échantillons dans le congélateur.

Annexe 3 : Fiches techniques

Fiche technique – produit : sésame

Zone d'échantillonnage : **Taghzirt**

Latitude : 32.45, Longitude : -6.2

Superficie occupée par le sésame : 0,5 – 2 ha

Précédent Cultural : Betterave, Mais ou céréales

Préparation du sol : Labour profond + covercavage avec 1 à 2 passages

Période de semis : Fin avril- Début Juin

Mode de semis : Manuel

Fertilisation : Engrais azotés (début floraison)

Semenceutilisée : semence locale de couleur jaune (8 à30kg/ha)

Types d'irrigation : Gravitaire,

Nombre d'irrigation : 7 à11 irrigations

Récolte : Fin Aout –fin septembre

Séchage : sur les terrasses ou des bâches en plastiques

Rendement : 0,8 à 1,5 t/ha

Commercialisation : vente au souk hebdomadaire

Fiche technique – produit : sésame

Zone d'échantillonnage : **Ouled yaich**

Latitude : Latitude : 32 25' 00" Longitude : -6 20' 00"

Superficie occupée par le sésame : 0,5 – 2 ha

Précédent Cultural : Betterave ou céréales

Préparation du sol : Labour profond + covercropping avec 2 passages

Période de semis : Fin avril- Début Juin

Mode de semis : Manuel

Fertilisation : Engrais azotés (200 kg)

Semence utilisée : semence locale de couleur jaune (8 à 10kg/ha)

Types d'irrigation : Gravitaire,

Nombre d'irrigation : 7 à 10 irrigations

Récolte : Début septembre- début Octobre

Séchage : sur les terrasses ou des bâches en plastiques

Rendement : 0,8 à 1,4 t/ha

Commercialisation : vente au souk hebdomadaire

Fiche technique – produit : sésame

Zone d'échantillonnage : **Bazzaza**

Latitude : 32 26' 00" Longitude : -6 23' 00"

Superficie occupée par le sésame : 0,5 – 2 ha

Précédent Cultural : Céréales ou légumineuses

Préparation du sol : Labour profond + covercrops avec 2 à 3 passages

Période de semis : Fin mai- Début Juin

Mode de semis : Manuel

Fertilisation : Engrais azotés, engrais phosphatés (150 à 300 kg/ha)

Semence utilisée : semence locale de couleur jaune (5 à 14 kg/ha)

Types d'irrigation : Gravitaire,

Nombre d'irrigation : 5 à 12 irrigations avec eau du puits

Récolte : Début septembre- fin Octobre

Séchage : sur les terrasses ou des bâches en plastiques

Rendement : 0,7 à 1,5 t/ha

Commercialisation : vente au souk hebdomadaire

Fiche technique – produit : sésame

Zone d'échantillonnage : **Ouled mbarek**

Latitude : 32 17' 00" Longitude : -6 28' 00"

Superficie occupée par le sésame : 0,8 – 1 ha

Précédent Cultural : céréales ou légumineuses

Préparation du sol : Labour profond + covercropping avec 1 à 2 passages ou seulement covercropping

Période de semis : Début Juin- début Juin

Mode de semis : Manuel

Fertilisation : Engrais azotés, engrais phosphatés (150 - 200)

Semence utilisée : semence locale de couleur jaune (9 à 10kg/ha)

Types d'irrigation : Gravitaire,

Nombre d'irrigation : 5 à 7 irrigations avec l'eau du barrage

Récolte : Fin Août – fin septembre

Séchage : sur les terrasses ou des bâches en plastiques

Rendement : 1 à 1,1 t/ha

Commercialisation : vente au souk hebdomadaire

Fiche technique – produit : sésame

Zone d'échantillonnage : **Krakeb**

Latitude : 32 23' 00'', Longitude : -6 22' 00''

Superficie occupée par le sésame : 0,5 – 2 ha

Précédent Cultural : céréales et ou légumineuses

Préparation du sol : Labour profond + covercrops avec 2 à 3 passages

Période de semis : Fin mai- Début Juin

Mode de semis : Manuel

Fertilisation : Engrais azotés + engrais phosphatés (150- 300 kg/ha)

Semence utilisée : semence locale de couleur jaune (10 à 20kg/ha)

Types d'irrigation : Gravitaire,

Nombre d'irrigation : 6 à 10 irrigations avec eau du puits et ou de la seguia

Récolte : septembre

Séchage : sur les terrasses ou des bâches en plastiques

Rendement : 0,7 à 1,2 t/ha

Commercialisation : vente au souk hebdomadaire

Fiche technique – produit : sésame

Zone d'échantillonnage : OuledZiane – Fkihbensaleh

Superficie occupée par le sésame : 0,5 ha

Précédent Cultural : céréales

Préparation du sol : Labour profond

Période de semis : Début Juin

Mode de semis : Manuel

Fertilisation : Engrais phosphatés (200 kg/ha)

Semence utilisée : semence locale de couleur jaune (15 kg/ha)

Types d'irrigation : Gravitaire,

Nombre d'irrigation : 6 irrigations avec l'eau du barrage

Récolte : début novembre

Séchage : sur les bâches en plastiques

Rendement : 0,6 t/ha

Commercialisation : vente au souk hebdomadaire

Fiche technique – produit : sésame

Zone d'échantillonnage : **Krifate**

Longitude : 6.7W Latitude : 32.567N

Superficie occupée par le sésame : 0,5 – 1 ha

Précédent Cultural : céréales ou luzerne

Préparation du sol : Labour profond + covercropage avec 2 passages ou covercropage (2X) seulement

Période de semis : Fin avril- Début Juin

Mode de semis : Manuel

Fertilisation : Engrais azotés (100 à 200 kg/ha)

Semence utilisée : semence locale de couleur jaune (8 à 10kg/ha)

Types d'irrigation : Gravitaire,

Nombre d'irrigation : 5 à 8 irrigations

Récolte : Fin Aout – fin septembre

Séchage : sur les terrasses ou des bâches en plastiques

Rendement : 0,6 à 1,6 t/ha

Commercialisation : vente au souk hebdomadaire

Fiche technique – produit : sésame

Zone d'échantillonnage : **Ouled slimane-Souk sebt**

Latitude : 32.3166667, Longitude : -6.7333333

Superficie occupée par le sésame : 1 – 3 ha

Précédent Cultural : Betterave, légumineuses ou céréales

Préparation du sol : Labour profond + covercropage avec 2 à 3 passages

Période de semis : Fin avril- Début Juin

Mode de semis : Manuel

Fertilisation : Engrais azotés (200 kg/ha)

Semence utilisée : semence locale de couleur jaune (9 à 20kg/ha)

Types d'irrigation : Gravitaire,

Nombre d'irrigation : 5 à 7 irrigations avec l'eau du barrage ou l'eau de puits

Récolte : Fin Aout –fin septembre

Séchage : sur les terrasses ou des bâches en plastiques

Rendement : 0,6 à 1,1 t/ha

Commercialisation : vente au souk hebdomadaire

Fiche technique – produit : sésame

Zone d'échantillonnage : **Had boumoussa**

Latitude : 32 28 3N, Longitude : 6.983 W

Superficie occupée par le sésame : 0,8 – 3 ha

Précédent Cultural : céréales

Préparation du sol : Labour profond + covercropage avec 1 à 3 passages ou covercropage seul avec 1 à 3 passages

Période de semis : Fin avril- fin Juin

Mode de semis : Manuel

Fertilisation : Engrais azotés, engrais phosphatés (100 à 200 kg/ha)

Semence utilisée : semence locale de couleur jaune (7 à 15kg/ha)

Types d'irrigation : Gravitaire,

Nombre d'irrigation : 5 à 8 irrigations avec eau du barrage + eau du puits

Récolte : septembre - novembre

Séchage : sur les terrasses ou des bâches en plastiques

Rendement : 0,3 à 1,1 t/ha

Commercialisation : vente au souk hebdomadaire

Fiche technique – produit : sésame

Zone d'échantillonnage : **Ouledbarkat**

Latitude 32°13'48" N Longitude 6°52'48" W

Superficie occupée par le sésame : 1 ha

Précédent Cultural : Betterave ou céréales

Préparation du sol : covercropping avec 2 à 3 passages

Période de semis : Mai

Mode de semis : Manuel

Fertilisation : Engrais azotés (100 kg/ha)

Semence utilisée : semence locale de couleur jaune (8 à 10 kg/ha)

Types d'irrigation : Gravitaire,

Nombre d'irrigation : 5 à 8 irrigations, eau du barrage + eau de puits

Récolte : début septembre

Séchage : sur les terrasses ou des bâches en plastiques

Rendement : 0,7 à 0,9 t/ha

Commercialisation : vente au souk hebdomadaire

Fiche technique – produit : sésame

Zone d'échantillonnage : **Ouledayad**

Latitude : 32 20' 00" Longitude : -6 24' 00"

Superficie occupée par le sésame : 2 – 10 ha

Précédent Cultural : céréales

Préparation du sol : covercropping avec 1 passage

Période de semis : Juin

Mode de semis : Manuel

Fertilisation : Engrais organiques, engrais azotés, engrais phosphatés (200 kg/ha)

Semence utilisée : semence locale de couleur jaune (10 à 15kg/ha)

Types d'irrigation : Gravitaire,

Nombre d'irrigation : 5 à 7 irrigations avec eau du barrage et ou eau de puits

Récolte : Fin Aout –fin septembre

Séchage : sur les terrasses ou des bâches en plastiques

Rendement : 0,8 à 1 t/ha

Commercialisation : vente au souk hebdomadaire

Fiche technique – produit : sésame

Zone d'échantillonnage : **Bniayat**

Latitude :32° 12' 36" Nord Longitude :6° 43' 19" Ouest

Superficie occupée par le sésame : 0,5 – 2 ha

Précédent Cultural : céréales

Préparation du sol : covercropping avec 2 passages

Période de semis : 15 Mai

Mode de semis : Manuel

Fertilisation : Engrais phosphatés (100 kg/ha)

Semence utilisée : semence locale de couleur jaune (20kg/ha)

Types d'irrigation : Gravitaire,

Nombre d'irrigation : 4 à 6 irrigations avec l'eau du barrage

Récolte : début septembre

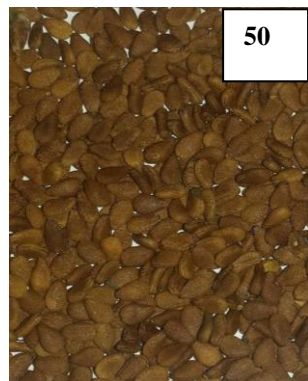
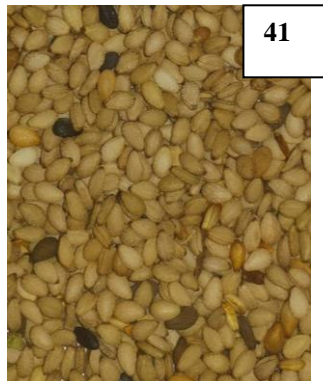
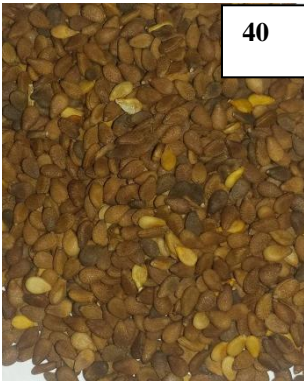
Séchage : sur les terrasses ou des bâches en plastiques

Rendement : 0,5 à 0,8 t/ha

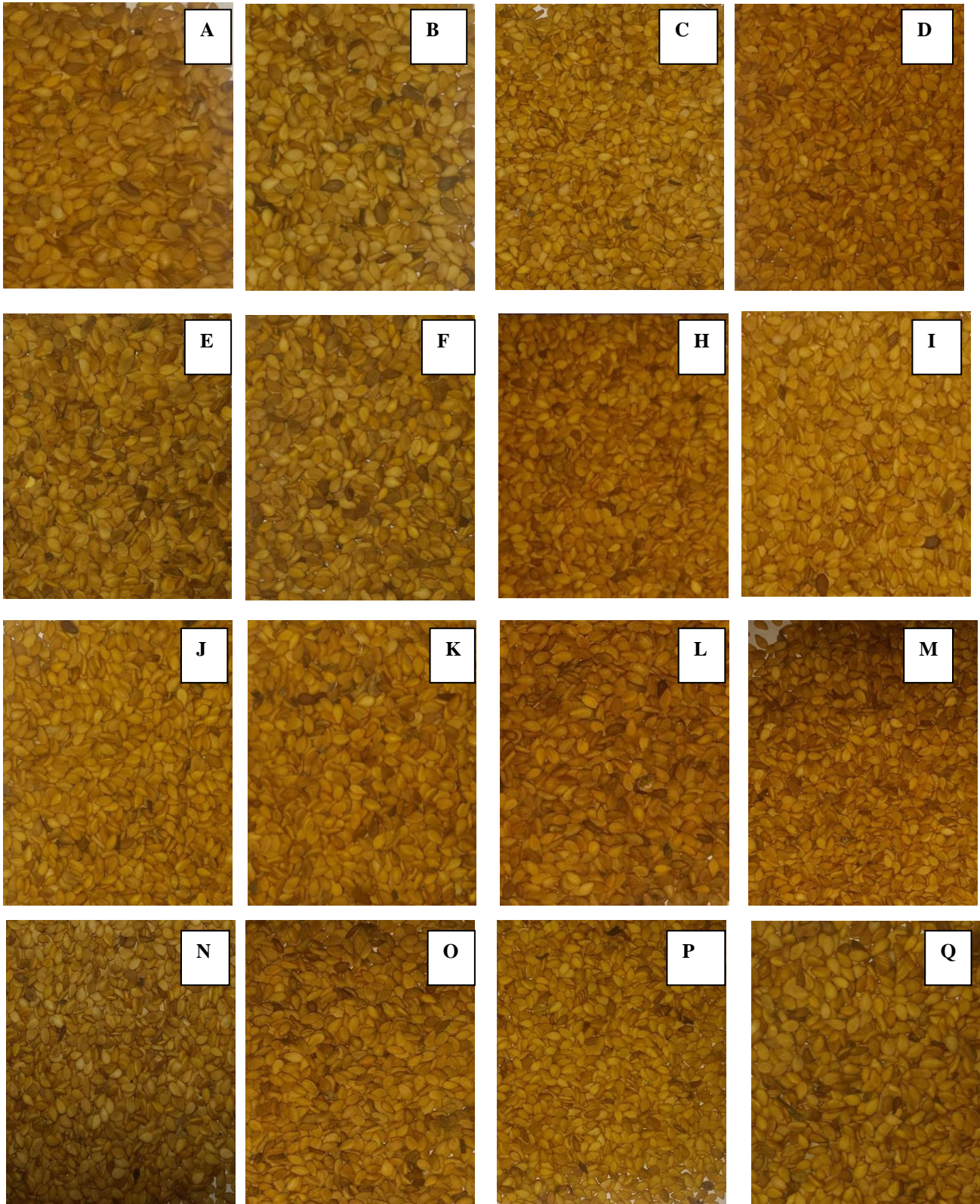
Commercialisation : vente au souk hebdomadaire

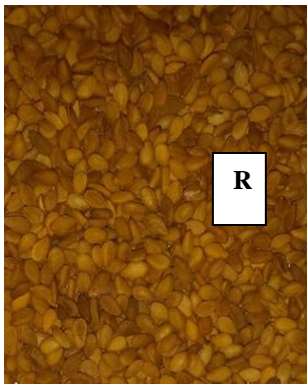
**Annexe 4 : Photos des 12 matériels génétiques étrangers et des 33
accessions de sésame collectées lors de l'enquête et leurs récoltes
de l'environnement 1, 2 et 3.**

Matériels génétiques étrangers :



33 accessions de sésame collectées lors de l'enquête :





R



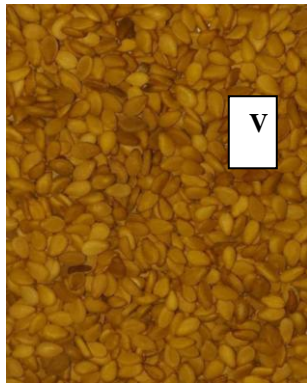
S



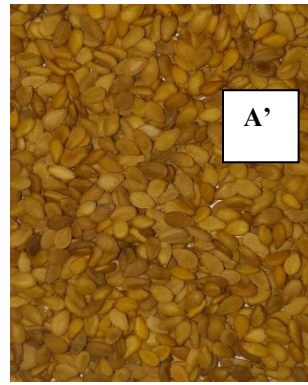
T



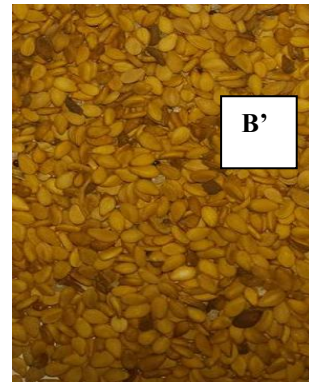
U



V



A'



B'



C'



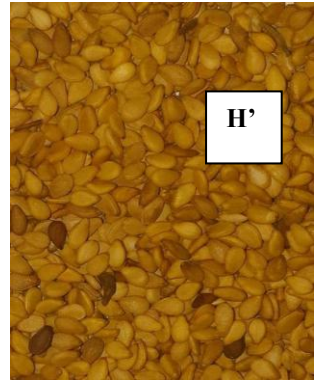
E'



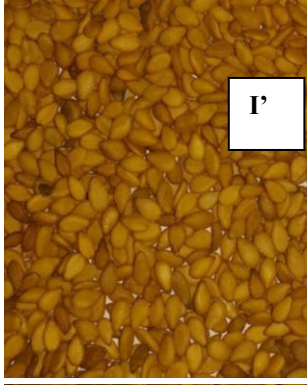
F'



G'



H'



I'



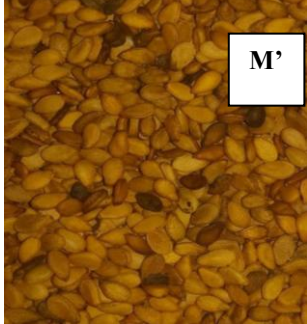
J'



K'

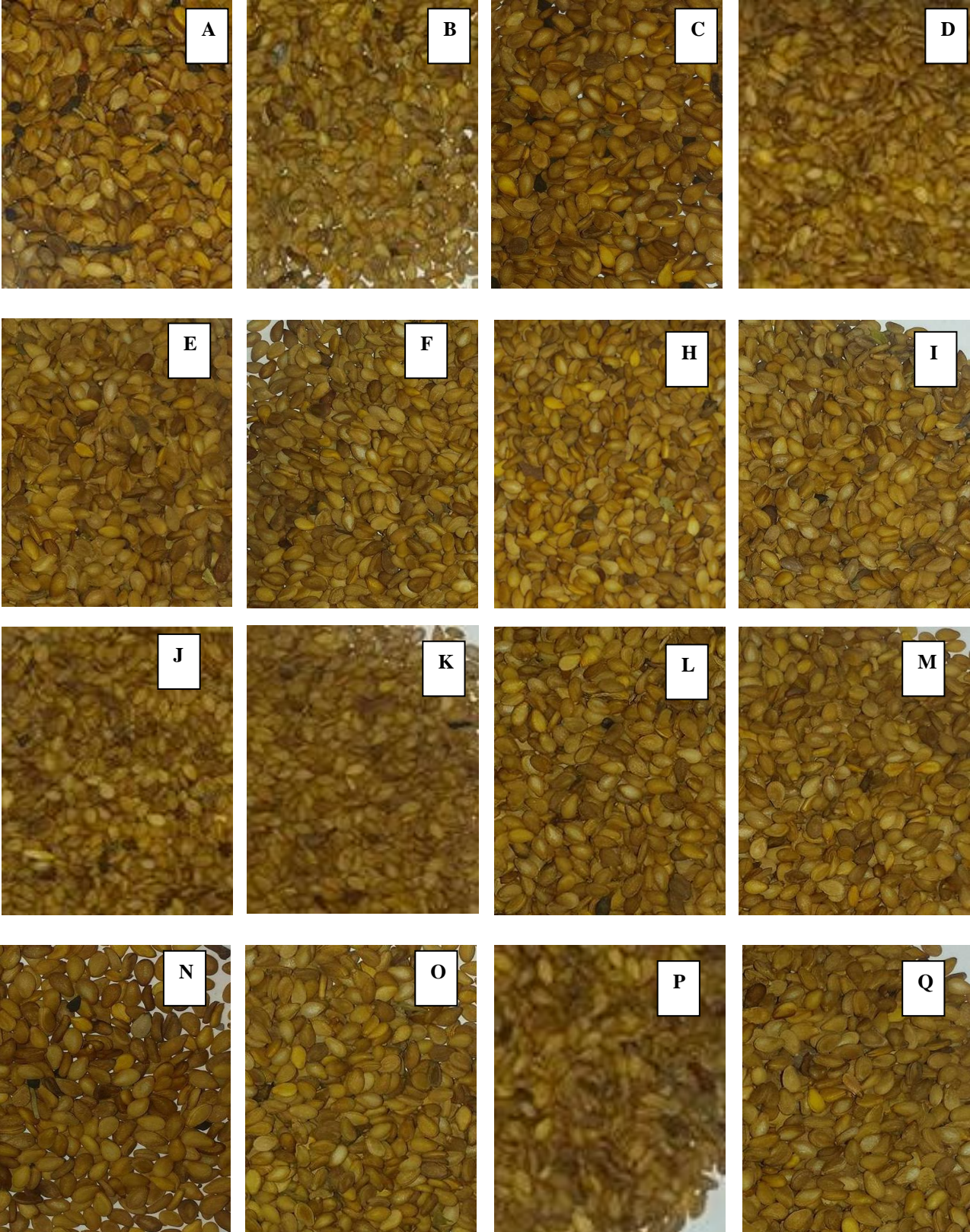


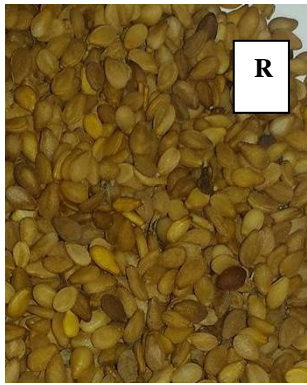
L'



M'

33 accessions récoltées de l'environnement 1 : Afourar 2013





R



S



T



U



V



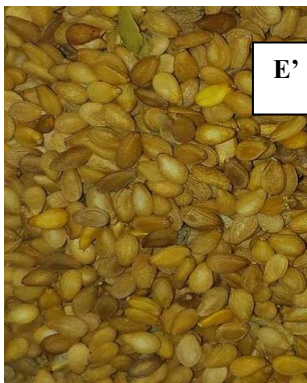
A'



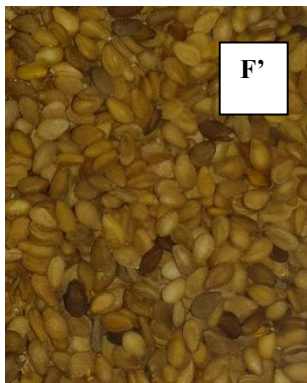
B'



C'



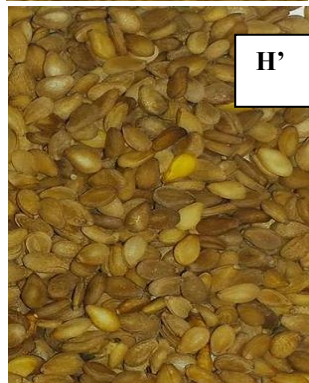
E'



F'



G'



H'



I'



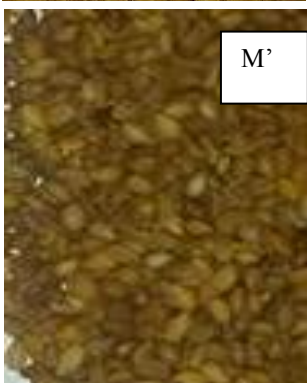
J'



K'

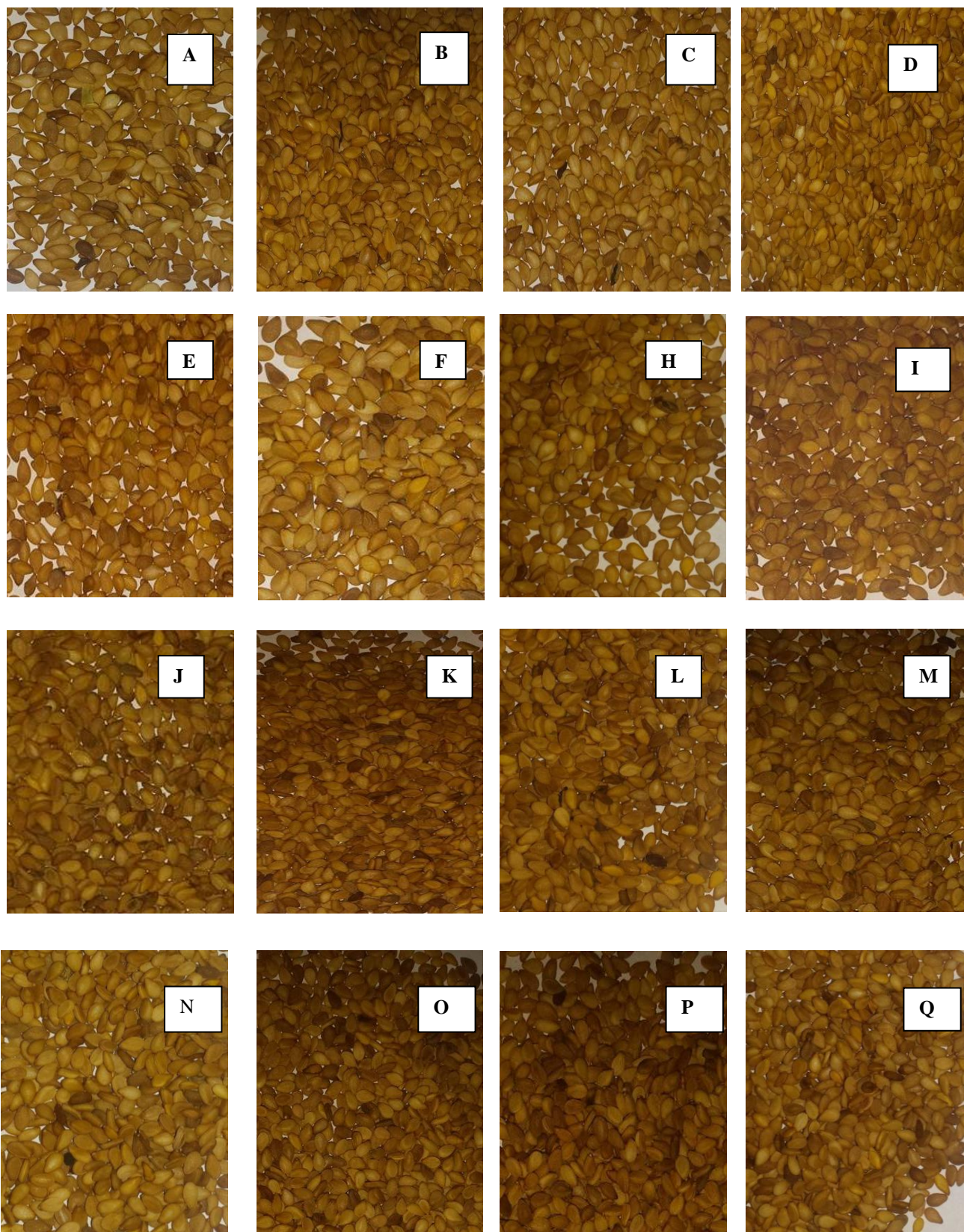


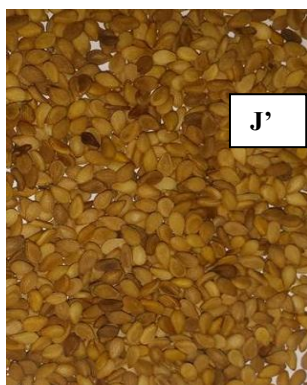
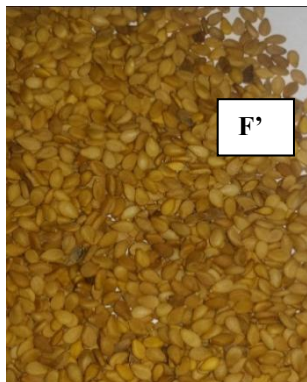
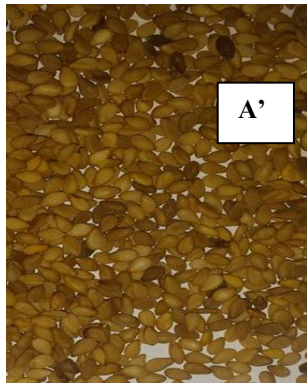
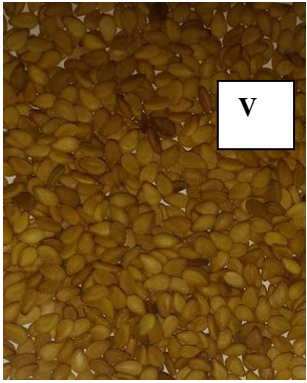
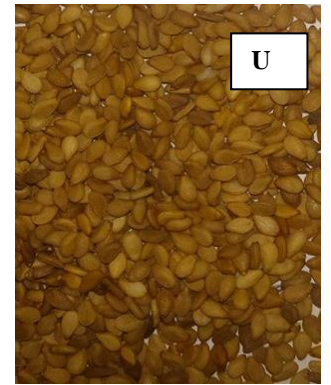
L'



M'

33 accessions de sésame récoltées de l'environnement 2 : Afourar 2014





33 accessions du sésame récoltées de l'environnement 3 : Ait Taoujdat 2014

