



UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH



FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE FES



Projet de Fin d'Etudes

Licence Sciences & Techniques

Biotechnologie et Valorisation des Phyto-Ressources

Évaluation de la diversité de certaines lignées de carthame

Présenté par : ABJAOU Sanae

Encadré par :

-Mr. RACHIQ Saâd

FST-Fès

- Mr. NABLOUSSI Abdelghani

INRA- Meknès

Soutenu le : 11/06/2019

Devant le jury composé de :

➤ Mr NABLOUSSI Abdelghani

INRA- Meknès

➤ Mr RACHIQ Saâd

FST-Fès

➤ Mme BENJELLOUN Meryem

FST-Fès

Année universitaire

2018/2019

Dédicace

Je dédie ce travail aux êtres les plus chers qui sont mes parents.

Ma mère pour son affection, sa patience, sa compréhension, son écoute et son soutien.

Mon père pour être mon plus haut exemple de persévérance pour aller toujours de l'avant et ne jamais baisser les bras.

A ma sœur fatima et mes frères mohammed et soufiane, que dieu leurs accorde succès et bonheur.

A mes cousines fatima-zohra, khadija, karima, meryem, zineb et asmae, qui m'ont toujours encouragé.

A ma grande mère pour son soutien, sa tendresse, sa patience, sa constante assistance et leurs persévérants efforts.

A toute ma famille maternelle paternelle, en témoignage de mon affection et respect

A mes respectueux enseignants, pour leurs efforts, leur disponibilité.

A mes meilleures amies Nada et Salma, en témoignage de mon grand amour et de l'amitié que je porte

A tous ceux qui j'aime.

Merci !

Remerciements

Ma plus grande reconnaissance va à Mr. NBLOUSSI Abdelghani,
Docteur Ingénieur en Chef Principal à l'INRA, pour ses précieuses informations qu'il
m'a données chaque fois, pour faciliter la compréhension du sujet et faciliter le travail pendant
la période de stage. Il mérite mon profond respect.

Mr. FECHTALI Mohamed, je le remercie pour leur encadrement et pour leur
patience, durant la période de stage.

Je tiens également à exprimer ma gratitude et à remercier Mr. RACHIQ Saâd professeur à la Faculté
des Sciences et Techniques de Fès, pour ses conseils, corrections et orientations, au cours de son
encadrement pour bien rédiger mon projet de fin d'études.

Mes plus vifs remerciements à Mme BENJELLOUN Meryem professeur à la Faculté des Sciences et
Techniques de Fès qui a accepté de lire et juger mon travail.

Enfin, cette formation ne serait accomplie s'il n'y avait pas la tendresse, l'amour et la compréhension
de mon entourage.

Alors je remercie ma famille, mes amis et tous mes professeurs au sein de la FST.

Liste des abréviations

INRA :	Institut National de Recherche Agronomique
CRRA :	Centre Régional de Recherche Agronomique
CS :	Conductance stomatique
DC :	Diamètre au collet
EPI :	Présence ou absence d'épines
TC :	Taux de croissance
NJF :	Nombre de jours à la floraison
NR :	Nombre de ramifications
ROU :	Attaque de la rouille
SF :	Surface foliaire
TCH :	Teneur en chlorophylle
TF :	Température foliaire

Liste des figures

Figure 1: Planche d'illustration des différentes parties de carthame (*Carthamus tinctorius*) par (Johann Georg Sturm 1796).

Figure 2 : Principaux pays producteurs du carthame (Gilbert, 2008).

Figure 3 : Période de semis et de récolte dans les principaux pays producteurs (Gilbert, 2008).

Figure 4: variation de la température et des précipitations mensuelles au niveau du centre INRA/Meknès durant la campagne agricole 2018/2019.

Figure 5 : Mesure du diamètre au collet à l'aide d'un pied à coulisse numérique.

Figure 6: Appareil de chlorophyllomètre de model SPAD-502.

Figure 7: Mesure de la conductance stomatique à l'aide d'un poromètre AP4.

Figure 8 : Mesure de la température des feuilles à l'aide d'un thermomètre IR.

Figure 9 : Variation de la moyenne du taux de croissance (cm/j) des accessions de carthame.

Figure 10 : Variation de la moyenne de la surface foliaire (cm²) des accessions de carthame.

Figure 11 : Variation de la moyenne de diamètre au collet (mm) des accessions de carthame.

Figure 12 : Variation de la moyenne de nombre de ramifications des accessions de carthame.

Figure 13 : Variation du degré de présence des épines des génotypes de carthame.

Figure 14 : Variation de la moyenne de conductance stomatique (mmol/m².s) des accessions de carthame.

Figure 15 : Variation de la moyenne de température foliaire (°C) des accessions de carthame.

Figure 16 : Variation de la moyenne de la teneur en chlorophylle des accessions de carthame.

Figure 17 : Variation de la moyenne de nombre de jours à la floraison (j) des accessions de carthame.

Figure 18 : comportement des accessions de carthame à l'égard de la rouille.

Liste des tableaux

Tableau 1: Code de cinq accessions de carthame de différentes origines géographiques.

Tableau 2 : moyennes des paramètres agro-morphologiques des cinq accessions de carthame étudiées.

Table des matières

Introduction	1
Partie1: Revue bibliographique	2
I. Généralités sur le carthame	3
1. Taxonomie	3
2. Description botanique	3
3. Importance du carthame	4
4. Intérêt et utilisation du carthame.....	5
II. Exigences et techniques culturales.....	6
1. Eau	6
2. Température.....	6
3. Sol	6
III. Conduite technique	6
1. Préparation du sol.....	6
2. Date de semis.....	7
3. Fertilisation	7
4. Entretien	8
a. Binage	8
b. Démariage.....	8
5. Récolte	8
6. Rendement	8
IV. Ressources génétiques	9
1. Importance des ressources génétiques	9
2. Caractérisation des ressources génétiques	9
Partie 2 : Matériel et méthodes	10
I. Installation de l'essai	11
II. Données pédoclimatiques	11
III. Matériel végétal.....	12
IV. Observations et mesures	12
1. Paramètres morphologiques.....	12
2. Paramètres physiologiques	13
3. Paramètre phénologique.....	15
4. Paramètre pathologique	15
V. Analyses statistiques.....	15
Partie 3 : Résultats et discussion	16

I. Performance globale des paramètres étudiés	17
II. Analyse des paramètres morphologiques	17
1. Variation de la moyenne du taux de croissance des accessions de carthame.....	17
2. Variation de la moyenne de la surface foliaire des accessions de carthame.....	18
3. Variation de la moyenne de diamètre au collet des accessions de carthame	19
4. Variation de la moyenne de nombre de ramifications des accessions de carthame.....	20
5. Variation du degré de présence des épines	20
III. Analyse des paramètres physiologiques	21
1. Variation de la moyenne de conductance stomatique des accessions de carthame	21
2. Variation de la moyenne de température foliaire des accessions de carthame.....	22
3. Variation de la moyenne de la teneur en chlorophylle des accessions de carthame	23
IV. Analyse du paramètre phénologique	24
Variation de la moyenne de nombre de jours à la floraison des accessions de carthame	24
V. Analyse du paramètre pathologique	24
Comportement des accessions de carthame à l'égard de la rouille.....	24
Conclusion:	26
Références bibliographiques	27

Présentation De l'Institut National de la Recherche

Agronomique

L'Institut National de la Recherche Agronomique "INRA" a pour mission d'entreprendre les recherches pour le développement agricole. C'est un établissement public dont les origines remontent à 1914 avec la création des premiers services de recherche agricole officiel. Il a connu dernièrement une réorganisation structurelle visant la modernisation de son processus de gestion.

L'INRA opère à travers dix centres régionaux de la recherche agronomique et 23 domaines expérimentaux répartis sur le territoire national et couvrant les divers agro systèmes du pays.

Les projets de recherche de l'INRA sont définis avec la participation des partenaires, des clients et des prescripteurs régionaux. Ils sont menés au sein de trente unités de recherche hébergés par les Centres Régionaux. Ils sont encadrés à l'échelle centrale par dix départements scientifiques à vocation disciplinaire.

Pour accomplir sa mission et être au diapason de l'actualité scientifique, l'INRA entretient des relations de partenariats avec des organisations nationales et internationales, les structures de développement, le secteur privé et les Organisations Non Gouvernementales.

Introduction

Le carthame est une culture oléagineuse qui présente des avantages agronomiques importants dont essentiellement l'adaptation aux conditions climatiques arides et semi- arides (Weiss, 2000). Cette caractéristique lui permet d'être une meilleure alternative aux cultures oléagineuses au Maroc particulièrement dans le présent contexte incarné par des changements climatiques parfois extrêmes (Nabloussi et Boujghagh, 2006). A l'échelle mondiale, environ 734 000 tonnes de carthame sont produites sur une superficie de 937 000 ha (FAOSTAT, 2014).

Au Maroc, la culture de carthame pour la production d'huile, a été lancée en 1965, mais a été abandonnée depuis 1992, principalement pour des raisons commerciales. De plus, les prix de vente de la production n'ont pas été fixés, ni garantis comme c'était le cas pour le tournesol et le colza. En outre, le rendement en graines et la teneur en huile étaient très faibles en raison du manque de variétés adaptées aux conditions locales et de la mauvaise conduite technique adoptée par les agriculteurs (Nabloussi et Boujghagh, 2006).

Cependant, en 2005, le Ministère de l'Agriculture a appelé à la relance et au développement de la culture du carthame. Dans ce contexte, un nouveau programme d'amélioration de carthame a été lancé. L'objectif est de développer de nouvelles variétés inermes, à forte valeur technologique, caractérisée par un cycle végétatif plus court, un rendement en grains et une teneur en huile plus élevés que les trois variétés enregistrées (Zitghani, Cartmar et Cartafi). Parmi ces trois variétés, les deux premières sont inermes et caractérisées par un rendement assez élevé entre 1,60 et 2 t/ha; cependant leur teneur en huile était faible (< 30%) (Nabloussi and Boujghagh, 2006). En somme, les variétés recherchées devraient avoir une teneur en huile proche de 40 %, précoces pour esquiver à la sécheresse de fin de saison et inermes (ou peu épineux) pour convenir aux pratiques de conduite traditionnelles, telles que la récolte à la main.

Notre travail a pour objectif de caractériser et d'évaluer quelques lignées de carthame, faisant partie des ressources génétiques de l'INRA, par le biais de quelques paramètres morphologiques, physiologiques, phénologiques et pathologiques.

Le présent rapport comporte :

- une introduction ;
- une partie bibliographique, rassemble les diverses données bibliographiques collectées sur l'espèce *Carthamus tinctorius* ;
- une partie matériel et méthodes ;
- une partie résultats et discussion et ;
- une partie références bibliographiques.

Partie 1: Revue bibliographique

I. Généralités sur le carthame

1. Taxonomie

Le carthame ou faux safran, connu également sous le nom de carthame des teinturiers, est une plante cultivée depuis l'antiquité. Ce terme renvoie à la première utilisation de la plante. Le genre botanique *Carthamus* regroupe des plantes presque toutes méditerranéennes de la famille des composées.

Selon Weiss (2000), un certain nombre de régions ont été proposées en tant que centre d'origine du carthame, comprennent l'Asie et le Moyen Orient.

Carthamus tinctorius est domestiqué depuis des temps anciens, à l'origine pour le colorant orange fourni par ses pétales, et pour lequel on la cultivait déjà en Égypte 2000 ans avant JC. (Van et Mkamilo, 2007).

Classification classique

Règne : Plantae

Division : Magnoliophita

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Asterales

Famille : Asteraceae

Genre : *Carthamus*

Espèce : *Carthamus tinctorius*

2. Description botanique

Le carthame (*Carthamus tinctorius*) est une plante oléagineuse et herbacée tinctoriale de la famille des Astéracées ou Composées, annuelle ou vivace, le plus souvent épineuse, autogame très ramifiée ressemblant au chardon. C'est une plante glabre, peut atteindre jusqu'à 180 cm de hauteur, et grâce à son système racinaire développé, la racine pivotante est très puissante et descend à plus de 2 m de profondeur (Houmanat, 2018).

Généralement, il porte des épines au niveau des feuilles et bractées. Les feuilles disposées en spirale, sessiles, simples, exstipulées (stipules absentes) de couleur vert foncé. Le type d'inflorescence est un capitule solitaire entouré d'un involucre de bractées épineuses (Figure1) (Van et Mkamilo, 2007).

La tige est cylindrique, solide avec une moelle tendre, elle est ramifiée au sommet et chaque ramification se termine par un capitule (Van et Mkamilo, 2007). Le nombre de capitules n'excède pas généralement 50 par plante, ayant des fleurs globulaires oranges (parfois jaunes, rouges ou blanches selon les variétés). Les graines sont des achènes blanches, lisses et luisants (Houmanat, 2018).



Figure 1: Planche d'illustration des différentes parties de carthame (*Carthamus tinctorius*) par (Johann Georg Sturm 1796).

3. Importance du carthame

3.1. À l'échelle mondiale

Le carthame est une espèce originaire de la Méditerranée et du moyen orient, il est considéré comme une culture oléagineuse «mineure» car la superficie cultivée dans le monde est d'environ 782 614 ha, avec une production annuelle d'environ 647 374 tonnes. A travers le monde le carthame est produit dans plus de 60 pays (Houmanat, 2018). L'Inde est le premier producteur mondial avec 109000 tonnes de graines produites sur 150000 hectares alors que le deuxième producteur est les États Unis d'Amérique avec 25 400 tonnes en 2004-2005, où la quasi majorité de la production a lieu en Californie à climat similaire à celui du Maroc. Parmi les autres pays producteurs on peut citer: le Mexique, l'Argentine, l'Australie, le Canada, la Chine, l'Espagne, l'Italie, l'Irak, l'Iran, l'Égypte, l'Éthiopie, les pays de l'ex-Union Soviétique et la Turquie (Figure2) (Gilbert, 2008).



Figure 2 : Principaux pays producteurs du carthame (Gilbert, 2008).

3.2. À l'échelle nationale

La culture du carthame a débuté au Maroc en 1950 la production a atteint 25 000 quintaux, mais la culture a régressé par la suite dans des proportions importantes.

Depuis quelques années, on constate un regain d'intérêt pour le carthame pouvant prospérer dans des zones du Maroc, y compris celles à faible pluviométrie, là où les autres cultures oléagineuses annuelles sont plus limitées (zraïbi et al., 2012). En outre l'introduction et l'extension de la culture du carthame dans les zones pluviales peuvent réduire la pénurie d'huile alimentaire dans notre pays (El Asri et al., 2014). Sa culture peut être envisagée : sur la zone côtière, de Safi à Kenitra, dans la sous, les Srhrana et le Haouz, dans les régions de Fès, Meknès et du Gharb (Surugue, non daté).

4. Intérêt et utilisation du carthame

La culture du carthame est destinée principalement à la production d'huile de table extraite des graines. Cependant, il y a d'autres utilisations parallèles qui sont de plus en plus importantes. Parmi ces utilisations, on note ce qui suit :

- L'intérêt porte actuellement sur les variétés avec différentes compositions en acides gras requise pour la fabrication des peintures et des vernis.
- Les fleurs du carthame sont considérées comme des stimulants et sédatifs. En outre, elles dilatent les artères, réduisent la pression artérielle et favorisent l'oxygénation des tissus d'organes.
- L'huile du carthame est employée en traitement contre le cholestérol, pour réguler la glycémie et réduire les lipides sanguins chez les sujets obèses (Houmanat, 2018).
- Le carthame a des propriétés adoucissantes, purgatives, laxatives, et sudorifiques, ce qui lui confère de larges usages.
- Le carthame est utilisé généralement pour des fins alimentaires, médicales, cosmétiques et autres. Il est actuellement cultivé pour son huile alimentaire qui est riche en acide linoléique et pour la qualité de ses fleurs bio-colorants des textiles. De plus, les graines de carthame sont utilisées comme aliment d'oiseaux (Houmanat, 2018).

II. Exigences et techniques culturales

1. Eau

Les racines profondes du carthame peuvent puiser les eaux d'infiltration ou l'eau accumulée dans le sous-sol. Dans les régions où l'humidité du sol est adéquate avant l'ensemencement, il suffit de 300 mm de précipitations pour obtenir d'excellents rendements. Les précipitations abondantes favorisent les maladies foliaires (El Asri et al., 2014).

Selon Kesri et Mazliak (1983), environ 60% des besoins en eau du carthame, soit 660 à 710 mm, peuvent être satisfaits par une seule irrigation, sachant que le reste des besoins de la culture en eau seront prélevés à partir de la réserve du sol. Lorsque la pluviométrie annuelle est inférieure à 430 mm ou lorsque le taux d'infestation par les mauvaises herbes est élevé, il est recommandé de précéder le carthame par une jachère (terre labourable qu'on laisse reposer).

2. Température

La graine du carthame peut germer lorsque la température est supérieure à 4,5°C. Cependant, le taux de germination est accéléré si la température est supérieure ou égale à 14°C. En début de végétation, le carthame peut supporter des abaissements de température allant jusqu'au -6°C et même en deçà selon les variétés. Le carthame résiste également bien à une sécheresse prolongée ainsi qu'à des températures très élevées (de l'ordre de 50°C). En outre, durant la floraison, la plante est sensible au climat torride (peut rendre le pollen stérile), la température optimale durant cette période se situe entre 22 et 30°C (El Asri et al., 2014).

3. Sol

Le carthame a besoin d'un sol profond et bien drainé. La croissance des racines peut être retardée par un sous-sol dense ou une couche imperméable. Le carthame croit mal dans les sols sableux légers dépourvus de bonnes réserves d'humidité en profondeur. Dans ces sols, le carthame épuise rapidement l'eau disponible et subit ensuite un stress hydrique pendant le remplissage des graines. L'humidité excessive fait pourrir les racines et réduit la densité du peuplement.

Considérée comme une plante modérément tolérante au sel de sodium, le carthame peut produire de bons rendements en sol salin. Il tolère le sel un peu moins bien que l'orge, mais mieux que le blé. Les plantes de carthame affectées par la salinité ont tendance à être plus courtes et à produire des tiges plus minces et des feuilles d'un vert plus foncé (El Asri et al., 2014).

III. Conduite technique

1. Préparation du sol

Le profil recherché est un sol travaillé en profondeur, bien aérée et meuble en surface pour permettre une bonne germination des graines. C'est pour ça l'outil utilisé est le labour qui favorise

le développement des racines en profondeur et permet à la plante de profiter des réserves hydriques et minérales du sous-sol et de mieux résister à la verse (El Asri et al., 2014).

2. Date de semis

Les dates internationales de la période entre semis et récolte varient d'un pays à l'autre. A titre d'exemple, en Inde, le semis est en octobre/novembre et la récolte s'étale durant la période allant de mars à avril. Aux Etats Unis, le semis a lieu durant la période de février-mai et la récolte se trouve entre août et septembre (Figure3) (Gilbert, 2008).

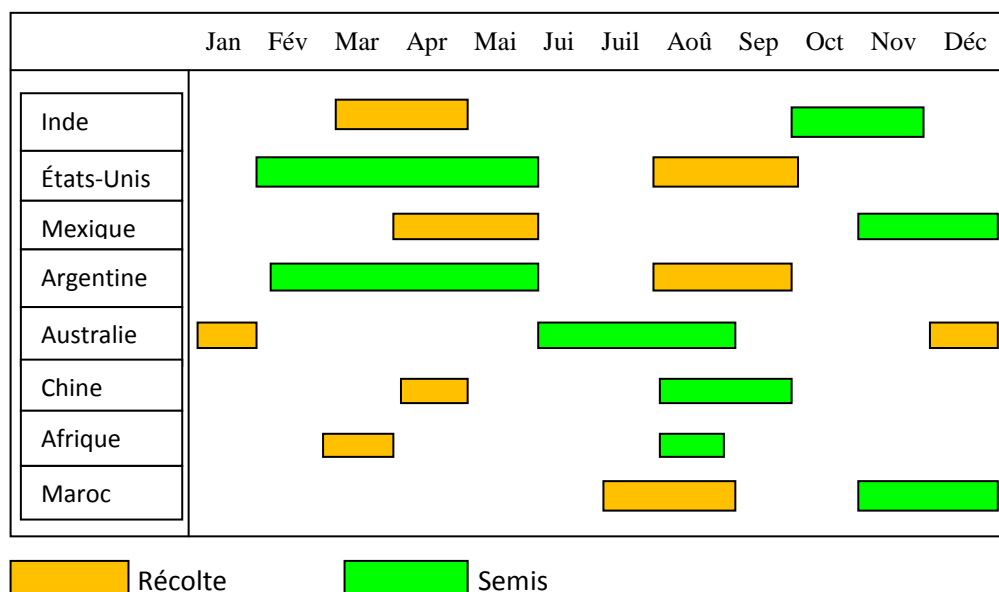


Figure 3 : Période de semis et de récolte dans les principaux pays producteurs (Gilbert, 2008).

Au Maroc, il est préférable de semer le carthame en automne pour que les graines germent avant l'arrivée du froid hivernal. En culture pluviale, et en général, l'époque de semis s'étale selon les régions de novembre à janvier (Houmanat, 2018).

3. Fertilisation

La fertilisation minérale du carthame doit tenir compte des besoins en éléments minéraux de la culture, du rendement escompté et du niveau de richesse du sol en éléments minéraux et leur disponibilité pour la plante sur la base des analyses du sol (El Asri et al., 2014).

En manque des analyses du sol, l'apport de garantie des principaux éléments nutritifs pour avoir un bon rendement est comme suit :

Azote : engrais de fond à une dose de 40 à 80 unités d'azote.

Acide phosphorique : 50 à 70 unités du phosphore, comme engrais de fond.

Potasse : 60 à 80 unités de la potasse, comme engrais de fond.

4. Entretien

a. Binage

La présence des mauvaises herbes avec le carthame réduit son rendement de différentes manières: une compétition précoce des adventices pour l'eau, la lumière et les éléments minéraux réduit le rendement et augmente les coûts de production par la nécessité de recourir à de nombreuses opérations de binage (Rzozzi, non daté). Ce dernière permet la destruction des mauvaises herbes, la conservation de l'eau dans le sol et l'aération des couches superficielles du sol. Il est conseillé d'effectuer un premier binage quelques jours après la levée et avant l'apparition du premier verticille (El Asri et al., 2014).

b. Démariage

Il est nécessaire de procéder à un éclaircissage des plantes de façon à laisser un pied tous les 25 à 35 cm. Ce processus doit intervenir quand la hauteur des plants atteint environ 10 cm (soit de 4 à 6 feuilles). Le peuplement final espéré à la récolte est de l'ordre de 24.000 pieds par hectare. (El Asri et al., 2014).

5. Récolte

Les graines atteignent la maturité physiologique, 25 jours après pollinisation lorsque l'humidité des graines est de 8 à 10%. La culture atteint le stade de récolte 40 jours après la floraison. La récolte peut débuter au moment où la majorité des bractées qui entourent les capitules commencent à se dessécher et prendre une couleur obscure (généralement fin juin-début juillet) (El Asri et al., 2014). Ces dates de récolte coïncident également avec la teneur maximale en huile dans les graines. (Houmanat, 2018). La période de récolte est très critique et il est nécessaire de la respecter, car la récolte précoce entraîne le risque de mauvaise battage et de pourriture de la récolte par excès d'humidité, alors que la récolte tardive engendre le risque de perte par éclatement des capitules. Pour conserver la récolte, les graines doivent avoir un taux maximum d'humidité de 8% (El Asri et al., 2014).

6. Rendement

L'amande, étant dure et entièrement blanche ou rayée, son poids total de la graine varie en moyenne de 33 à 45 mg. L'huile est essentiellement localisée au niveau du noyau, avec une teneur de l'ordre de 60%, alors que les protéines au niveau noyau se situent à des teneurs avoisinant 25%. La teneur en fibres varie de 11% chez les graines à coque mince à 34% au niveau des graines ayant une paroi épaisse. L'huile de carthame commercialisée se compose essentiellement d'acide linoléique (72-78%) suivi de l'acide oléique représentant 15 à 20% (Houmanat, 2018).

IV. Ressources génétiques

1. Importance des ressources génétiques

Le genre *Carthamus* comprend 25 espèces ayant 10, 11, 12, 22 et 32 paires de chromosomes. Une collection de matériel génétique de plus de 6000 accessions est maintenue à la Direction de la recherche des Oléagineux «Rajendranagar, Hyderabad, India». De même, une collection américaine de 2383 accessions a été maintenue à WRPIS Western «Regional Plant Introduction Station». Au Maroc, plus de 200 accessions de carthame sont conservées dans la banque de gènes de l'INRA à Settat.

Les espèces de *Carthamus* sont regroupées en sections basées sur le nombre de paires de chromosomes. Les espèces de 12 paires de chromosomes comprennent *C. tinctorius*, *C. palaestinus* et *C. oxyacantha*, tandis que d'autres espèces contiennent 10, 11, 22 et 32 paires de chromosomes. Les trois espèces susmentionnées sont des espèces allogames peuvent être facilement inter-croisées. En revanche, seule l'espèce *C. tinctorius* a été domestiquée et commercialisée, alors que les autres espèces sont sauvages (Houmanat, 2018).

2. Caractérisation des ressources génétiques

La création variétale à travers les différentes méthodes de sélection nécessite l'existence d'une diversité génétique. Et cette diversité doit être caractérisée et évaluée avant toutes utilisations dans les programmes d'amélioration génétique.

Dans la biologie, et spécialement dans le monde végétal, le polymorphisme est une caractéristique très recherchée et étudiée. L'objectif étant de différencier des variétés ou des génotypes d'une même espèce (intraspécifiques) ou d'espèces différentes (interspécifiques) pour estimer les distances génétiques ou pour déterminer les gèneurs. L'étude du polymorphisme est fondée sur les caractères phénotypiques, biochimiques et moléculaires.

En général, les êtres vivants présents dans la nature sont protéiformes (polymorphes) et cette variabilité est génétiquement détectable. De nombreux locus existent sous deux ou plusieurs formes alléliques différentes. La présence dans une population d'au moins deux phénotypes de morphisme différent, génétiquement déterminés par différents allèles, définit le polygénétique. L'allèle le plus rare ne peut s'y maintenir que grâce à des mutations répétées.

La caractérisation phénotypique des ressources génétiques est basée sur l'utilisation de marqueurs morphologiques, physiologiques et agronomiques. Par contre, la caractérisation moléculaire est basée sur l'utilisation de marqueurs moléculaires (Houmanat, 2018).

Partie 2 : Matériel et méthodes

I. Installation de l'essai

L'essai a été installé en pots dans la parcelle de l'INRA/CRRA de Meknès. Le semis a été effectué, en fin de décembre 2018, dans des plateaux alvéolaires remplis de tourbe sous serre à raison d'une graine par mini-motte. Après un mois, soit le 28 janvier 2019, au stade 3 feuilles, la transplantation a été faite dans des pots, à raison de deux plantules par pot.

II. Données pédoclimatiques

Le substrat de remplissage des pots est composé de : 1/3 de sol et 2/3 de tourbe.

Durant la campagne agricole de l'expérimentation faite par l'INRA (2018/2019) la température et les précipitations ont varié selon la courbe suivante :

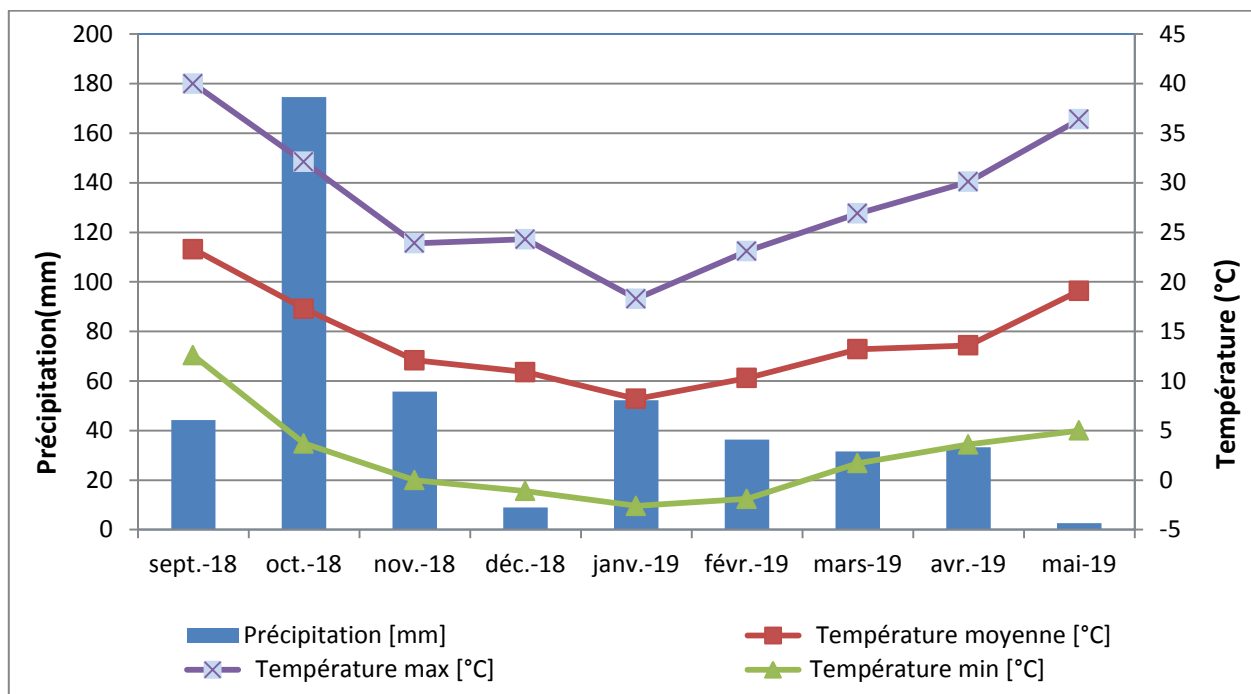


Figure 4: Variation de la température et des précipitations mensuelles au niveau de centre INRA/CRRA de Meknès durant la campagne agricole (2018/2019).

D'après la figure 4, la date la plus pluvieuse enregistrée est le mois d'octobre avec une précipitation de 174,6 mm, septembre est le mois le plus chaud de la campagne avec une température de 40 °C, et une pluviométrie de l'ordre de 44,2 mm et janvier est le mois le plus froid avec une température minimale de -2,6°C enregistrée le 1^{er} janvier 2019 et des précipitations de 52,2 mm seulement.

III. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué de 5 accessions de carthame (*C. tinctorius*) de différentes origines géographiques, une accession syrienne, une accession indienne, une accession iranienne et deux accessions égyptiennes, issues de la collection de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA-Centre Régional de Meknès).

Des codes ont été attribués aux géotypes qui constituent le matériel végétal de notre étude. Ce tableau illustre ces codes regroupés par origine (Tableau1).

Tableau 1: Code de cinq accessions de carthame de différentes origines géographiques.

Code INRA	151	134	115	98	2
Code universel	PI250821	PI306601	PI250533	PI305212	PI262430
Origine	Iran	Égypte	Égypte	Inde	Syrie

IV. Observations et mesures

Les observations ont été prises en trois répétitions. Ces observations ont concerné un ensemble de caractères morphologiques (Taux de croissance, diamètre au collet, surface foliaire, nombre de ramifications, degré de présence des épines), physiologiques (teneur en chlorophylle, conductance stomatique, température foliaire), phénologique (nombre de jours à la floraison), et pathologique (présence ou absence de la rouille).

1. Paramètres morphologiques

- ✓ **Taux de croissance (TC, cm/j)** : cet indicateur de croissance exprimé en cm/j et qui renseigne sur l'accroissement de la hauteur par jour, est évalué par des mesures de la hauteur de la plante chaque quinze jours à l'aide d'un mètre ruban.

Le **TC** peut être calculé selon l'équation suivante:

$$\text{TC (cm/j)} = \frac{H_1 - H_0}{t_1 - t_0}$$

H_0 : hauteur au temps t_0

H_1 : hauteur au temps t_1

$t_1 - t_0$: le nombre de jours écoulés entre les deux mesures.

- ✓ **Diamètre au collet (DC, mm)** : mesuré à l'aide d'un pied à coulisse numérique afin d'avoir une idée sur la vigueur des plantes (Figure 5).



Figure 5 : Mesure du diamètre au collet à l'aide d'un pied à coulisse numérique.

- ✓ **Surface foliaire (SF)** : la surface foliaire (cm²), a été calculée selon la formule ci-après, développée par (Poormohammad kiani, 2007).

$$\text{SF (surface foliaire)} = \text{Longueur} * \text{Largeur} * 0.7 \text{ (cm}^2\text{)}$$

- ✓ **Nombre de ramifications (NR)** : ce nombre est déterminé par accession, notamment au stade floraison où les ramifications principales sont facilement repérables.
- ✓ **Présence ou absence d'épines (EPI)** : est notée selon une échelle de 1 (accession inerme ou très peu épineuse) à 5 (accession très épineuse).

2. Paramètres physiologiques

- ✓ **Teneur en chlorophylle (TCH, SPAD)** : la teneur en chlorophylle des feuilles permet d'évaluer le niveau du stress subi par la plante. Plus cette teneur est réduite, plus la plante est stressée.

Trois prises de mesures sont effectuées au niveau de la feuille sur trois points différents (sommet, milieu, base), la moyenne des trois valeurs s'affiche à la fin sur l'écran.

Ce paramètre est mesuré à l'aide d'un chlorophyllomètre de model SPAD-502 (Figure 6).



Figure 6: Appareil de chlorophyllomètre de model SPAD-502.

- ✓ **Conductance stomatique (CS, $\text{mmol/m}^2\cdot\text{s}$)** : elle mesure le niveau de transpiration à l'aide d'un poromètre qui est un appareil qui détermine la conductance stomatique à travers le flux d'eau qui passe par les stomates (Figure 7).



Figure 7: Mesure de la conductance stomatique à l'aide d'un poromètre AP4.

- ✓ **Température foliaire (TF, $^{\circ}\text{C}$)** : elle est mesurée à l'aide d'un thermomètre infrarouge (IR) qui facilite les mesures de températures à distance sans contact avec les feuilles (Figure 8).



Figure 8 : Mesure de la température des feuilles à l'aide d'un thermomètre IR.

3. Paramètre phénologique

- ✓ **Nombre de jours à la floraison (NJF)** : c'est le nombre de jours qui sépare le semis et l'apparition de la première fleur sur chacune des plantes marquées.

4. Paramètre pathologique

- ✓ **Attaque la rouille (ROU)** : le comportement à l'égard de la rouille est évalué selon une échelle de sévérité de l'attaque allant de 1 (absence d'attaque ou attaque très légère) à 5 (attaque très sévère).

V. Analyses statistiques

Les données recueillies ont été analysées en utilisant la procédure ANOVA (Analyse de la variance) du logiciel statistique SAS (Statistical Analysis System). La classification des accessions étudiées pour chacun des paramètres a été réalisée en utilisant le test Duncan.

Partie 3 : Résultats et discussion

I. Performance globale des paramètres étudiés

Le tableau 2 montre les performances moyennes des différentes accessions de carthame étudiées. De même, il montre la classification de ces accessions dans des groupes homogènes pour chacun des paramètres étudiés.

Tableau 2 : moyenne des paramètres agro-morphologiques des cinq accessions de carthame étudiées.

Accessions	TC (cm/j)	SF (cm ²)	DC (mm)	NR	CS (mmol/cm ² .s)	TF (°C)	TCH (unité SPAD)	NJF (j)
2	1,16 B	16,50 B	6,71 C	5,33 A	4,50 A	23,27 A	44,8 B	114 AB
98	1,36 AB	30,75 B	9,68 B	10,67 A	4,73 A	20,43 BC	49,4 AB	107 B
115	0,73 B	37,59 B	10,74 B	3,00 A	4,11 A	20,70 B	55,4 B	121 A
134	1,58 AB	77,20 A	13,98 A	6,67 A	5,88 A	19,47 C	81,2 A	115 AB
151	2,49 A	92,20 A	14,77 A	8,33 A	6,83 A	18,17 D	69,1 AB	113 AB

TC : taux de croissance. **SF** : surface foliaire. **DC** : diamètre au collet. **NR** : nombre de ramifications. **CS** : conductance stomatique. **TF** : température foliaire. **TCH** : teneur en chlorophylle. **NJF** : nombre de jours à la floraison.

A, B, C, et D montrent les groupes homogènes selon le groupement de Duncan.

II. Analyse des paramètres morphologiques

1. Variation de la moyenne du taux de croissance des accessions de carthame

L'analyse de la variance a montré qu'il existe des différences significatives entre les accessions pour le taux de croissance ($P < 0,05$). La moyenne globale de toutes les accessions est de 1,46 cm/j, avec une variation de 0,73 à 2,49 cm/j pour les accessions 115 et 151, respectivement (Figure 9).

Trois groupes homogènes ont pu être distingués. Le premier groupe A contient un seul individu qui est 151 caractérisé par la plus grande valeur du taux de croissance, 2,49 cm/j. Le deuxième groupe AB contient deux accessions, 134 et 98, dont la valeur moyenne est 1,47 cm/j. Le dernier groupe B contient aussi deux accessions 2 et 115 avec un taux de croissance moyenne de l'ordre de 0,95 cm/j (Tableau 2). L'accession 115 a enregistré la plus faible valeur du taux de croissance (Figure 9).

La hauteur de la plante recherchée par les agricultures est généralement moyenne puisqu'elle facilite la récolte mécanique (Weiss, 2000). Khan et al. (2009) ont montré que les génotypes qui proviennent de l'Asie ont une hauteur faible par rapport aux génotypes de l'Europe.

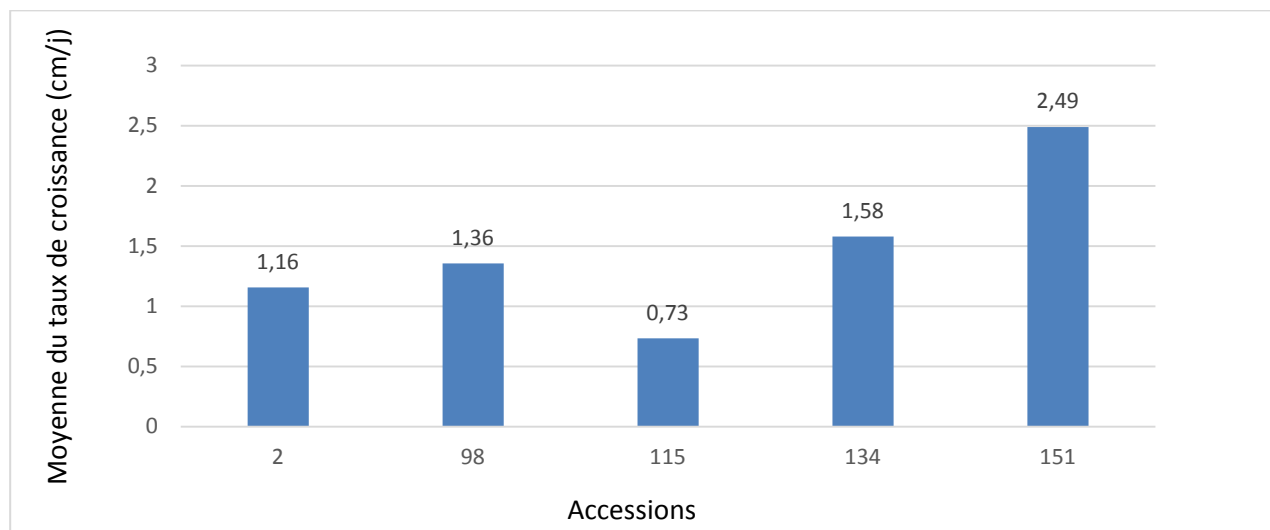


Figure 9 : Variation de la moyenne du taux de croissance (cm/j) des accessions de carthame

2. Variation de la moyenne de la surface foliaire des accessions de carthame

L'analyse de la variance a montré qu'il existe des différences très hautement significatives entre les accessions pour la surface foliaire ($P < 0,001$). La surface foliaire moyenne des accessions est de $50,85 \text{ cm}^2$, avec une valeur minimale de $16,5 \text{ cm}^2$ enregistrée par l'accession 2 et une valeur maximale de $92,2 \text{ cm}^2$ enregistré par 151 (Figure 10). Un nombre élevé de feuilles par plante et une grande surface foliaire sont corrélés à une transpiration excessive de la plante (Romero-Aranda et al., 2001). De même, plus la surface des feuilles augmente plus le nombre de stomates augmente et donc plus la transpiration est importante.

Deux groupes homogènes ont pu être ressortis. Le groupe A regroupe les accessions 151 et 134, ayant une moyenne de $84,7 \text{ cm}^2$, alors que le groupe B contient les autres accessions (115, 98, 2), avec une moyenne de $28,28 \text{ cm}^2$ (Tableau 2).

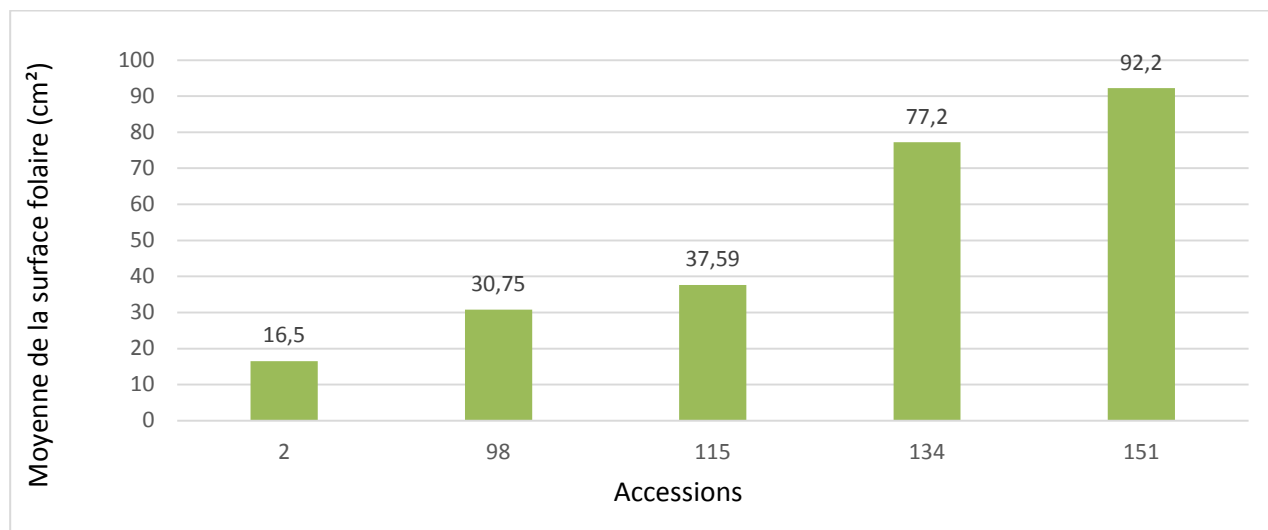


Figure 10 : Variation de la moyenne de la surface foliaire (cm²) des accessions de carthame

3. Variation de la moyenne de diamètre au collet des accessions de carthame

L'analyse de la variance a montré qu'il existe des différences très hautement significatives entre les accessions pour le diamètre au collet ($P < 0,001$). La moyenne globale de toutes les accessions est de 11,18 mm, avec une variation de 6,71 à 14,77 mm pour les accessions 2 et 151, respectivement (Figure 11).

Trois groupes homogènes ont pu être distingués. Le premier groupe A contient deux accessions, 151 et 134, dont la valeur moyenne est de 14,38 mm. Le deuxième groupe B contient aussi deux accessions 115 et 98, ayant une moyenne de 10,21 mm. Le troisième groupe C contient un seul individu qui est 2 caractérisé par la plus faible valeur du diamètre au collet, 6,71 mm (Tableau 2). Le diamètre au collet est un indicateur d'une bonne adaptation dans des environnements stressés.

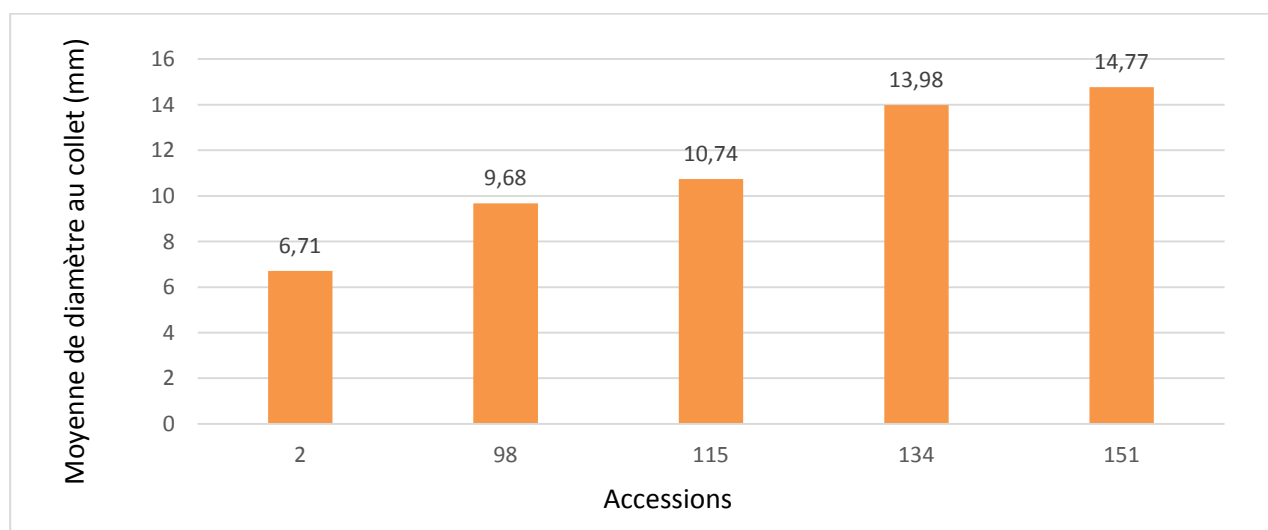


Figure 11 : Variation de la moyenne de diamètre au collet (mm) des accessions de carthame

4. Variation de la moyenne de nombre de ramifications des accessions de carthame

L'analyse de la variance a montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les accessions pour le nombre de ramifications par plante ($P > 0,05$). Cependant, la figure 12 montre une grande variation allant de 3 rameaux par plante chez l'accession 115 à 10,67 rameaux par plante chez l'accession 98, même si cette variation reste statistiquement non significative. La moyenne globale, toutes accessions confondues est de 6,80. Weiss (2000) a trouvé une gamme de variation de 6 à 8 rameaux par plante, alors que d'autres travaux ont rapporté que ce paramètre pourrait atteindre 50 rameaux (Omid et al., 2009).

En outre, plus les plantes sont ramifiées, plus il y a une forte probabilité d'avoir plus de rameaux secondaires et donc plus de capitules par plante, et par conséquent plus de productivité.

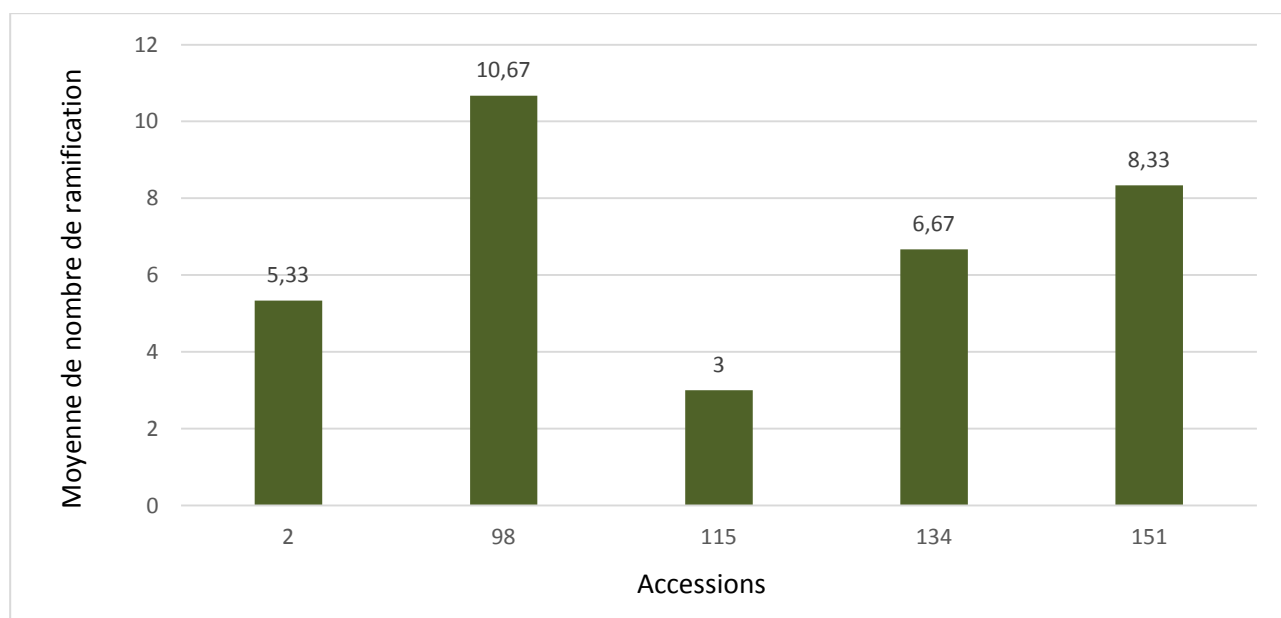


Figure 12 : Variation de la moyenne de nombre de ramifications des accessions de carthame

5. Variation du degré de présence des épines

D'après la figure 13, on distingue que les génotypes se comportent différemment *vis-à-vis* du degré de présence des épines avec une moyenne de 2,8. Le génotype 98 est le plus épineux par contre le génotype 115 est inerme.

Des résultats antérieurs ont montré que la majorité des génotypes du carthame sont épineux, et que sa culture est freinée par ce paramètre, qui gêne les travaux d'entretien, notamment la récolte et le battage, pratiqués habituellement d'une façon manuelle (Sujath, 2008). Par conséquent l'un des principaux objectifs des programmes d'amélioration de carthame est de développer des variétés

inermes avec un rendement et une teneur en huile élevés, dotées en plus, d'une tolérance aux différents stress (Houmant, 2018).

Il est à noter que généralement les variétés inermes ont une teneur en huile inférieure à celles des épineuses.

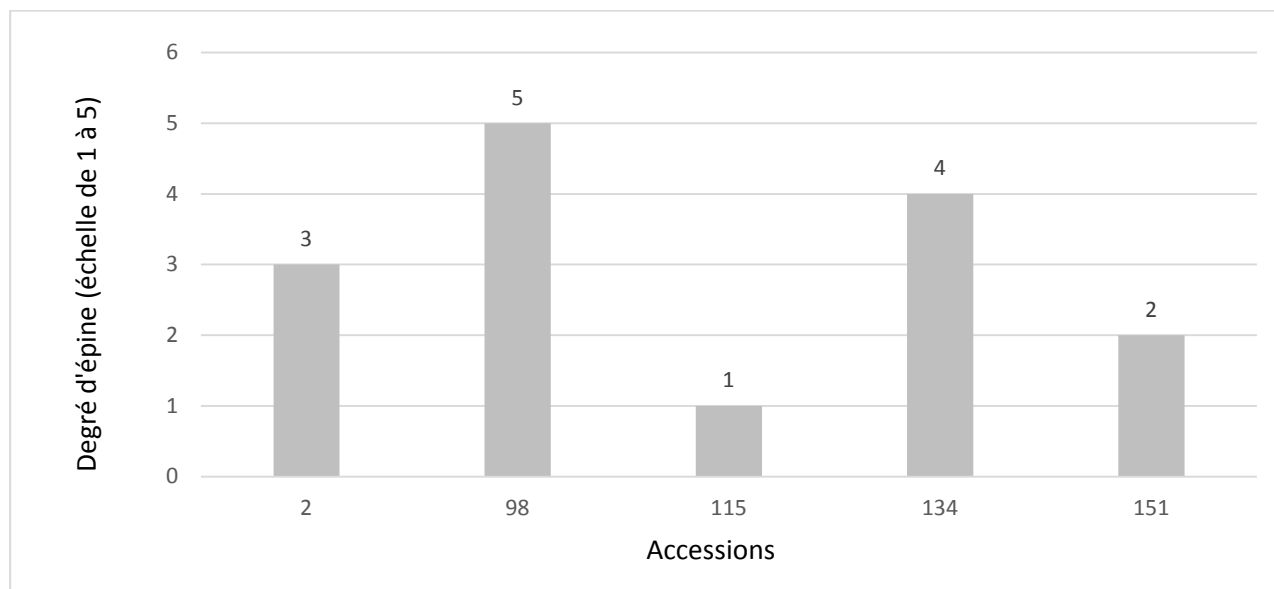


Figure 13 : variation du degré de présence des épines des génotypes de carthame

III. Analyse des paramètres physiologiques

1. Variation de la moyenne de conductance stomatique des accessions de carthame

L'analyse de la variance réalisé sur les accessions de carthame a montré qu'il n'y a pas de différence significative entre ces accessions pour la conductance stomatique ($P > 0,05$). Cependant, la figure 14 montre une variation allant de 4,5 mmol/m².s pour l'accession 2 à 6,83 mmol/m².s pour l'accession 151, même si cette variation reste statistiquement non significative. La moyenne globale de toutes les accessions est de 5,21 mmol/m².s.

En effet, la valeur élevée de la conductance stomatique montre une tolérance au stress, par contre la valeur faible montre une sensibilité au stress. La réduction de la conductance stomatique pourrait être expliquée par des températures élevées enregistrées pendant la germination qui ont réduit la biomasse végétale en diminuant la photosynthèse et en diminuant la transpiration et par conséquent la conductance stomatique (Jones et Corlett, 1992).

En outre, les stomates ont un rôle central dans la régulation des échanges de vapeur d'eau et de CO₂ entre les plantes et l'atmosphère, donc les facteurs contrôlant la conductance stomatique agissent aussi sur la photosynthèse et par conséquent la production primaire nette et le rendement.

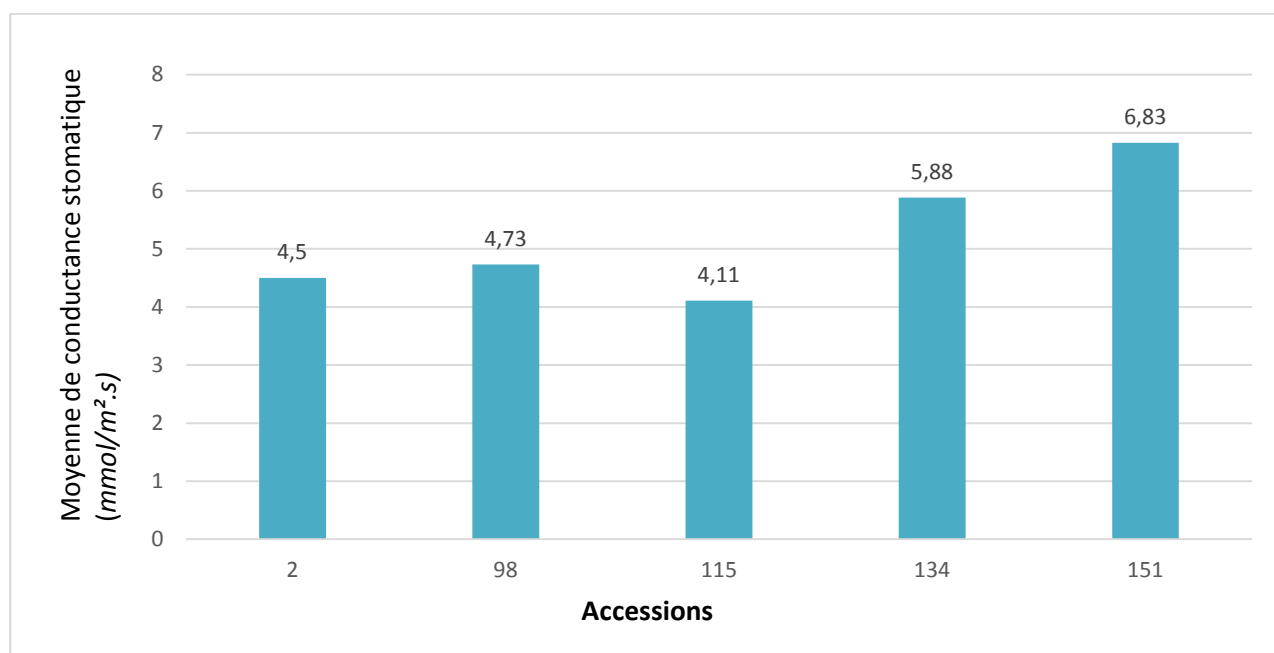


Figure 14 : Variation de la moyenne de conductance stomatique (mmol/m².s) des accessions de carthame

2. Variation de la moyenne de température foliaire des accessions de carthame

L'analyse de la variance a montré qu'il existe des différences très hautement significatives entre les accessions pour la température foliaire ($P < 0,0001$). La moyenne globale de toutes les accessions est de 20,41°C, avec une valeur minimale de 18,17°C enregistré par l'accession 151 et une valeur maximale de 23,27°C enregistré par l'accession 2 (Figure 15).

Cinq groupes homogènes ont pu être ressortis. Le groupe A contient une seule accession qui est 2 caractérisée par la plus forte valeur de la température, 23,27 °C, donc elle est plus sensible et ne supporte pas les hautes températures. Les fortes températures conduisent un stress hydrique. Par contre l'accession 151 de groupe D a enregistré la plus faible valeur avec une moyenne de 18,17°C, donc elle est moins stressée, et tolère les fortes températures par rapport aux autres accessions (98, 115 et 134) de groupes BC, B et C, respectivement (Tableau 2).

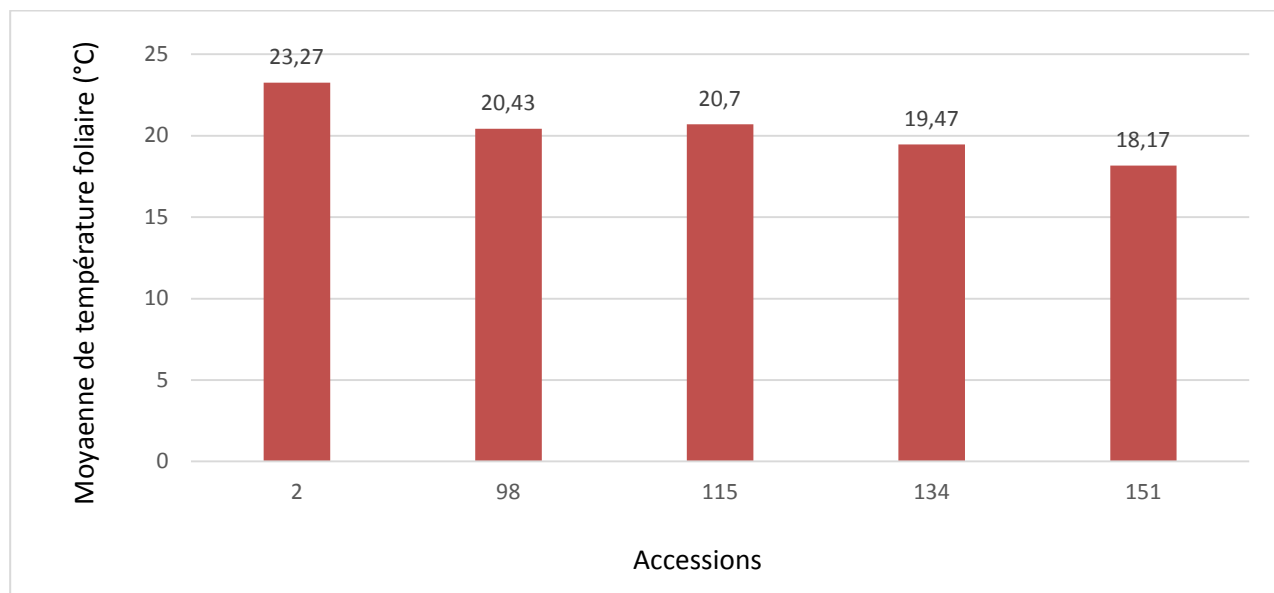


Figure 15 : Variation de la moyenne de température foliaire (°C) des accessions de carthame

3. Variation de la moyenne de la teneur en chlorophylle des accessions de carthame

D'après l'analyse de la variance aucune différence significative n'a été relevée entre les accessions pour la teneur en chlorophylle ($P > 0,05$). Cependant, la figure 16 montre une grande variation allant de 44,8 unité SPAD pour l'accession 2 à 81,2 unité SPAD pour l'accession 134, même si cette variation reste statistiquement non significative.

Selon Yang et al., (2015), les génotypes dotés de fortes teneurs en chlorophylle sont le plus souvent tolérants aux conditions de stress abiotique (sécheresse, froid ou autre).

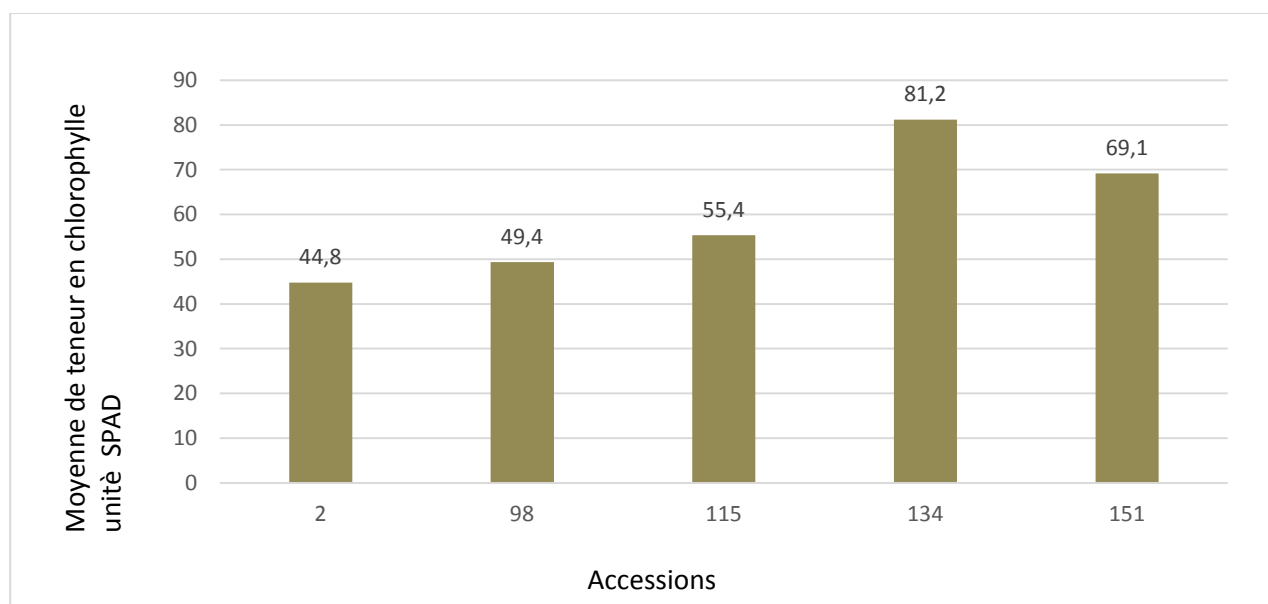


Figure 16 : Variation de la moyenne de la teneur en chlorophylle des accessions de carthame

IV. Analyse du paramètre phénologique

Variation de la moyenne de nombre de jours à la floraison des accessions de carthame

L'analyse de la variance a montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les accessions pour le nombre de jours à la floraison ($P > 0,05$). Autrement dit, les accessions étudiées sont très comparables pour les nombres de jours à la floraison. La moyenne globale de toutes les accessions est de 113 jours. Trois groupes homogènes ont pu être distingués, le groupe B contient l'accession 98 qui est la plus précoce (107 jours), le groupe AB contient les accessions (2, 151, 134) qui ont fleuri environ une semaine après l'accession 98, (114 jours). Par contre, la variété 115 de groupe A est la plus tardive avec une moyenne de 121 jours (Tableau 2) (Figure 17).

D'après la littérature, la précocité à la floraison, permet à la plante d'accomplir son cycle de développement avant que le déficit hydrique s'installe. De plus, les génotypes à croissance rapide et à maturité précoce utilisent plus d'eau disponible et sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs. La précocité à la floraison peut être utilisée comme critère de sélection pour améliorer la productivité, notamment dans les zones arides (Bajji, 1999).

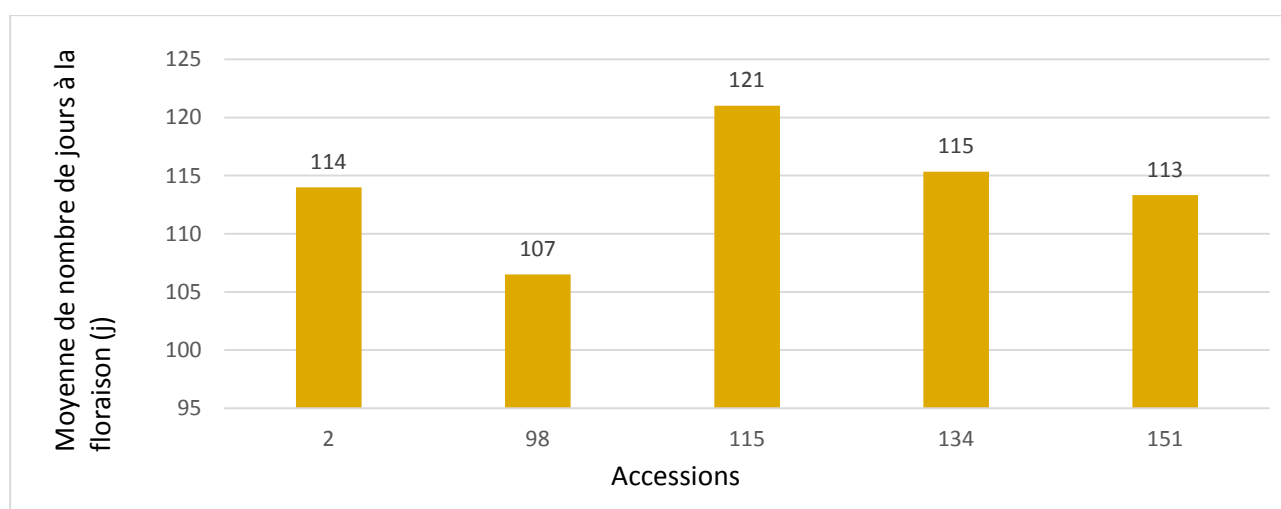


Figure 17 : Variation de la moyenne de nombre de jours à la floraison (j) des accessions de carthame

V. Analyse du paramètre pathologique

Comportement des accessions de carthame à l'égard de la rouille

Le comportement des accessions *vis-à-vis* de la rouille (*Puccinia carthami*) a été établi selon une échelle de notation allant de 1 (la plus résistante) à 5 (la plus sensible). Nos résultats montrent qu'il y a des accessions résistantes et des accessions sensibles, avec une moyenne de 1,9.

D'après la figure 18, l'accession 115 est la plus sensible à la rouille, tandis que les accessions (98, 134, 151) montrent une absence totale des symptômes de la rouille.

Selon la littérature, l'infestation des génotypes de carthame par les téliosporos (paroi épaisse de spores de certaines champignons) de *Puccinia carthami* provient soit du sol soit de graines, de plus l'humidité favorise le développement et la propagation de cette maladie (Bruckart et al., (1999). D'autre part, les résultats obtenus par Zimmer et al.(1968) indiquent que l'infestation du carthame par *P. carthami* entraîne des pertes en rendement très importantes lorsque la floraison coïncide avec une période à forte humidité.

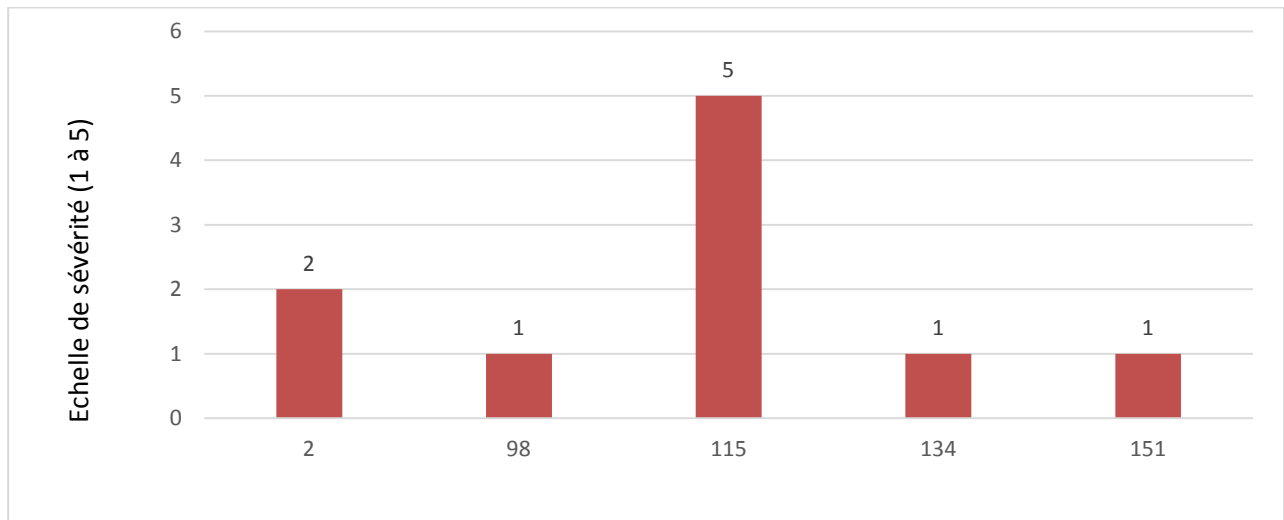


Figure18 : comportement des accessions de carthame à l'égard de la rouille

Conclusion:

La présente étude a été conduite en vue de caractériser et d'évaluer la diversité de quelques lignées de carthame, faisant partie des ressources génétiques de l'INRA, par le biais de quelques caractères morphologiques, physiologiques, phénologiques et pathologiques.

Les résultats trouvés montrent une assez grande variabilité pour les différentes lignées testées.

Nous avons constaté que :

Le génotype 151 a enregistré des valeurs de taux de croissance, de diamètre au collet et de surface foliaire importantes. De plus, il est caractérisé par des feuilles peu épineuses et une résistance remarquable *vis-à-vis* du *puccinia carthami*. En outre, il a enregistré une valeur de température foliaire faible.

Par analogie, le génotype 134 a été marqué par les mêmes caractéristiques que le génotype 151, mais il est très épineux.

Les résultats montrent également que le génotype 98 est précoce à la floraison et plus ramifié.

Par ailleurs le génotype 115 est caractérisé par une absence totale d'épines, mais il est plus sensible à la rouille.

Compte tenu de son intérêt économique croissant d'une part, et de ses caractéristiques agromorphologiques et technologiques, d'autre part, le carthame semblerait être une culture d'avenir et alternative au Maroc.

En revanche, il y a encore un grand potentiel inexploité, notamment en ce qui concerne les propriétés florales, la teneur en pigments (carthamine, carthamidine et lutéoline), les composants foliaires et l'activité antioxydante. Vu la demande croissante en colorants alimentaires naturels et en médicaments pour quelques maladies chroniques, l'orientation des travaux de recherches vers la valorisation des fleurs et des feuilles du carthame dans ce sens est très souhaitable.

Références bibliographiques

Bajji M (1999). Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de variétés différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés In vitro. Thèse de doctorat. Univ. Louvain.

Barbier E et Nadir M, JM Forentin, M Salma-Appidologie (1967), Pollinisation du carthame (*Carthamus Tinctorius L.*) ses effets sur la formation et la germination des semences. Station expérimentale d'apiculture, Centre de Recherches d'Avignon, I.N.R.A., Sd140 Montfavet S.A.S.M.A. Casablanca – Maroc. <https://scholar.google.fr>.

Bruckat WL (1999). A simple quantitative procedure for inoculation of safflower with teliospores of the rust fungus, *puccinia carthami*. Plant disease, 83(2), 181-185.

El Asri Mohammed, Nabloussi A, Achbani H, Essahat A, El Alaoui M (2014). Fiche technique de carthame (*Carthamus tinctorius L.*). n°4/2006/DPV/DCI. CRRRA Meknès.

FAOSTAT (2014): Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (Accessed on 20 Mai 2019).

Gilbert John (2008). International safflower production-an overview. In knights, S.E and potter, T.D.(Eds) (2008) Safflower. Unexploited potential and world adaptability. proceeding of the 7th International Safflower Conference, Wagga Wagga, Australia.

Houmanat, Karim (2018). Caractérisation et évaluation de ressources génétiques des cultures oléagineuses annuelles rustiques : cas du tournesol d'automne (*Helianthus annuus L.*) et du carthame (*carthamus tinctorius L.*). Thèse de doctorant : Biotechnologie et Amélioration Génétique des Plantes. Meknès faculté des sciences.

Kesri G, Mazliak P (1983). Formation et métabolisme des réserves lipidiques des akènes de carthame (*Carthamus tinctorius L.*) au cours du développement de la plante. Rev. Fr. Corps gras, 30 :293-297.

Khan MA, von Witzek-Ehbrecht S, Maass BL, Becker HC (2009). Relationships among different geographical groups, agro-morphology, fatty acid composition and RAPD marker diversity in safflower (*Carthamus tinctorius*). Genetic Resources and crop Evolution, 56: 19-30.

Nabloussi A and Boujghagh M (2006). Safflower breeding in Morocco: History and current situation. Sesame Safflower Newsl, 21: 84-87.

Omid AH, Khazaei H and Hongbo S (2009). Variation for some important agronomic traits in 100 spring safflower (*Carthamus tinctorius L.*) genotypes. American-Euroasian J. Agric. Environ. Sci. 5:791-795.

RZOZI SI Bennisseur (non daté), Quelques Cultures Oléagineuses Alternatives pour le Maroc, Département d'Agronomie et d'Amélioration des plates, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, BP 6202, Rabat-Instituts, Rabat, Maroc p : 185-186.

Sujatha M (2008): Biotechnological interventions for genetic improvement of safflower. Paper presented at the 7th International Safflower Conference, Wagga Wagga, Australia, 3-9.

SURUGUE. P.G (non daté). La culture des oléagineux au Maroc. [En ligne], page consulté (01/06/2019) <www.inra.ma>.

Van der vossen, H.AM & Mkamilo, G.S(2007).Oléagineux Ressources végétales de l'Afrique tropicale 14. CTA Wageningen, Pays-Bas [En ligne], page consulté (15/05/2019)<www.books.google.fr>.

WeissEA (2000). Safflower. In : Weiss EA (ed) Oilseed Crops, pp 93-129. Oxford: Blackwell Science.

Yang L, Fountain JC, Wang H, Ni X, Ji P, Robert D, Lee RD, Kemerait RC, Scully BT, Guo B (2015). Stress sensitivity Is Associated with Differential Accumulation of Reactive Oxygen and Nitrogen Species in Maize Genotypes with Contrasting levels of drought Tolerance. Int. J. Mol. Sci. 16:24791-24819.

Zimmer DE, and Urie AL (1968). Influence of foliage rust on yield, test weight, and oil percentage of safflower seed. Plant Dis. Rep. 52:876-878.

Zraibi L, Nabloussi A, Merimi J, Kajeiou M, El Amrani A, Mihamou A, Abid M and Serghini Caid H (2012). Effet of moisture stress on morphological, physiological and agronomic parameters of different safflower (*Carthamus tinctorius*) varieties J. Oilseed Res., 29: 210-214.