



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
Université de Tissemsilt
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme

de Master académique en

Filière : **Sciences agronomiques**

Spécialité : **Production végétale**

Présenté par :

- **AZELIL Sarra**

- **MORSLI Nawal**

Thème

**Contribution à l'étude des mécanismes de tolérance au stress
hydrique de *Ceratonia siliqua* L**

Soutenu le, 19/06/2022

Devant le Jury :

ZEMOUR Kamel	Président	M.C.B.	Univ.Tissemsilt
GADOUM Abdelkader	Encadreur	M.C.B.	Univ.Tissemsilt
CHOUHIM Kadda Mohamed	Co.Encadreur	M.A.A	Univ.Tissemsilt
CHAHBAR Mohamed	Examineur	M.C.A	Univ .Tissemsilt

Année universitaire : 2021.2022



Remerciement

En premier lieu, nous remercions notre **Dieu**, pour nous avoir donné la force et la patience, la santé et la volonté pour accomplir ce travail.

Nos premiers remerciements s'adressent à monsieur **GADOUM Abdelkader**, notre promoteur pour avoir proposé ce thème, pour son aide précieux ses conseils avisés, ses encouragements,

On tient à exprimer nos plus vifs remerciements à notre Co.promoteur monsieur **CHOUHIM KADA Mohamed** pour tous ses efforts, son savoir, ses idées, sa confiance et son encouragement. Cela a été un privilège pour nous, de travailler sous sa direction

Nous remercions vivement les membres de jury :

Mes profonds respects et remerciement vont monsieur **ZEMOUR kamel**, pour l'honneur qu'il me fait en président ce jury de cette mémoire

Nos remerciements s'adressent aussi à monsieur **CHAHBAR Mohamed** pour avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Nous adressons également nos remerciements :

A tous les ingénieurs au niveau de laboratoire du département d' SNV pour leurs aides.

A tous les ingénieurs de la subdivision agricole de la daïra de Khemisti

Surtout monsieur **BELAID.A**

A tous nos enseignants de Master 2 **production végétale**.

En fin un grand merci à l'ensemble de bibliothèque, de l'administration et nous remercions gracieusement toute qui a contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Dédicaces

Je remercie Allah de m'avoir illuminé le chemin de m'avoir donné la foi
et le courage pour arriver jusqu'à là,

Je dédie ce travail :

Avant tout les plus chers sur terre, mes parentes « *Meriem et Djoudi* »
qui m'on toujours setenu et encouragé tout au long de mon cursus,

A mes frères et mes sœurs et tout la famille « *AZELIL* »,

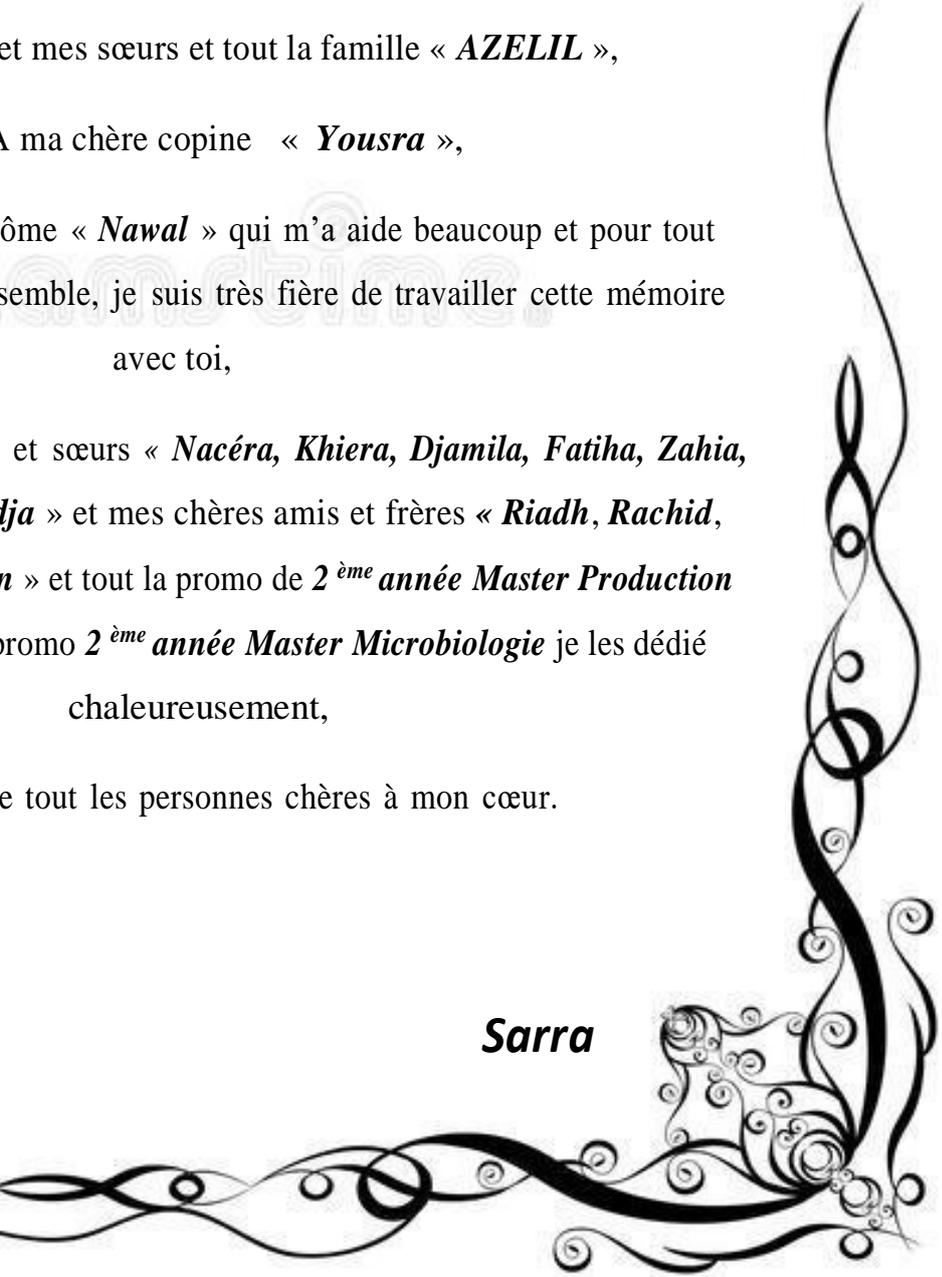
A ma chère copine « *Yousra* »,

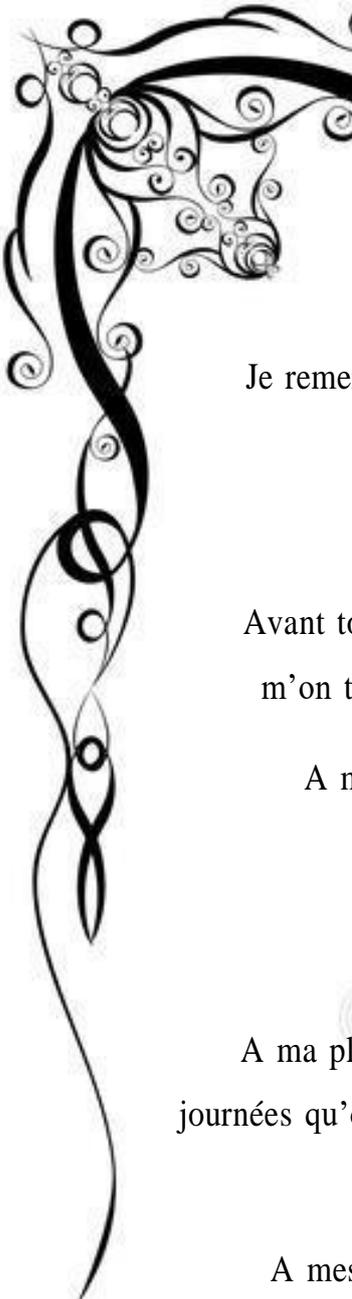
A ma plus chère binôme « *Nawal* » qui m'a aide beaucoup et pour tout
les journées qu'on passé ensemble, je suis très fière de travailler cette mémoire
avec toi,

A mes chères amis et sœurs « *Nacéra, Khiera, Djamila, Fatiha, Zahia,
Saadia, Khadidja* » et mes chères amis et frères « *Riadh, Rachid,
Mohamed, Abderrahman* » et tout la promo de *2^{ème} année Master Production
Végétale*, ainsi que la promo *2^{ème} année Master Microbiologie* je les dédie
chaleureusement,

Ainsi que tout les personnes chères à mon cœur.

Sarra





Dédicaces

Je remercie Allah de m'avoir illuminé le chemin de m'avoir donné la foi
et le courage pour arriver jusqu'à là,

Je dédie ce travail :

Avant tout les plus chers sur terre, mes parentes « *Yamina et Djilali* » qui
m'on toujours setenu et encouragé tout au long de mon cursus,

A mes sœurs « *Amel, Lamis* » et mon frère « *Mohamed* » et tout

la famille « *MORSLI* »,

A ma chère copine « *Yousra* »,

A ma plus chère binôme « *Sarra* » qui m'a aide beaucoup et pour tout les
journées qu'on passé ensemble, je suis très fière de travailler cette mémoire
avec toi,

A mes chères amis et sœurs « *Hanane, Khadidja* » et mes chères amis
« *Abdou, Rachid* » et tout la promo de 2^{ème} *année Master Production*
Végétale, ainsi que la promo 2^{ème} *année Master Microbiologie* je les dédie
chaleureusement,

Ainsi que tout les personnes chères à mon cœur.

Nawal

Liste des tableaux

N°	Titre	page
01	Classification classique et phylogénétique de <i>Cératonia siliqua</i> L..	06
02	Estimation de la surface cultivée, de la production et du rendement du caroubier dans le monde en 2011 (Tableau établi à partir des données de la FAOSTAT.2011)	15
03	Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie, année2009	15
04	Différentes variétés du caroubier Evreinoff .1947	18
05	Le protocole de préparation des graines du caroubier pour le test de germination.	38
06	les doses de PEG utilisées dans le test de germination et sons pression osmotiques.	40
07	La couleur et la forme des gousses des provenances étudiées.	49

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Arbre du caroubier.	07
02	Racines du caroubier.	07
03	Le tronc de caroubier	08
04	feuilles du caroubier	08
05	inflorescences du caroubier	09
06	fruit du caroubier	10
07	Les graines du caroubier	11
08	Coupe transversale d'une graine de caroube	12
09	Centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde(BOUBLENZ, 2012	13
10	Répartition du caroubier en Algérie suivant les étages bioclimatiques	14
11	répartition de la surface mondiale dédiée au caroubier	16
12	arbre du caroubier utilisé dans l'ornementation et l'ombrage	17
13	Les différentes phases de la germination	23
14	Les stratégies de réponse des plantes au déficit hydrique	30
15	Mécanismes de résistance des plantes à la sécheresse	31
16	les quatre échantillons de caroube.	35
17	Exemple sur le choix des 25 gousses.	35
18	Les outils utilisés dans les mesures biométriques des gousses.	36
19	L'extraction des graines de caroube et leurs pesées.	36
20	désinfection des graines de caroube par l'eau de javel diluée .	37
21	disposition des graines dans la boîte de pétri	37
22	Préparation des Doses de PEG6000	38
23	Répartition des boîtes de pétri dans l'étuve.	39
24	développement des radicules dans des prétraitements différents.	42
25	Transplantation des graines germées dans les pots.	42
26	suivi de la croissance des jeunes plantules.	43
27	Mesure du diamètre au collet à l'aide d'un pied à coulisse numérique	42
28	Longueur moyenne des gousses.	46
29	Largeur moyenne des gousses.	46
30	Epaisseur moyenne des gousses.	47
31	Poids moyenne des gousses.	47
32	Nombre des graines par gousse.	48
33	Nombre des graines avortées par gousse.	48

34	Les formes des gousses de quatre stations.	49
35	poids des graines par gousse	50
36	Précocité de germination des graines (%) du caroubier	51
37	Cinétique de germination des graines de <i>Ceratonia siliqua</i> L(Prov. de Lazharia	52
38	Cinétique de germination des graines de <i>Ceratonia siliqua</i> L(Prov. de Larbaa	52
39	Cinétique de germination des graines de <i>Ceratonia siliqua</i> L(Prov. de Beni Amar	53
40	Cinétique de germination des graines de <i>Ceratonia siliqua</i> L(Prov. de Khemisti	54
41	Coefficient de vélocité (Cv) et temps moyen de germination (Tm) des graines du caroubier stressé au PEG 6000	54
42	La durée de germination	55
43	Taux final de germination	56
44	longueur de radicule de graines germées	56
45	Diamètres du collet des plantules du <i>Ceratonia siliqua</i> L	57
46	Longueur de la tige des provenances étudiées	57
47	Nombre des Feuilles /plant	58
48	Nombre des entre nœuds des plantules de <i>Ceratonia siliqua</i> L	58

LISTE DES ABREVIATION

J. C.	Jésus Christ
APG	Angiosperm Phylogeny Group
m	Mètre
Cm	Centimètre
Mm	Millimètre
g	Gramme
%	Pourcentage
°C	Dégré Celsius
Mp	Poids molucélaire
FAO STAT	Food and Agriculture Organization statistics
PEG6000	Poly éthylène glycol 6000
mL	Millilitre
NT	Nombre total des grains
Ni	Nombre des graines germées
Tg	Taux de germination
Cv	Coefficient de vélocité
Tm	Temps moyen
N	Nombre de jours
SAS	Statistical Analysis System
Tsc	Graine témoin scarifiée
D1	Dose de 15% de PEG 6000
D2	Dose de 20% de PEG 6000
D3	Dose de 30% de PEG 6000
Prov	Provonance
DDL	Degrés de Liberté
Pr	Probabilité
STL	Longueur de la tige
DC	Diamètre du collet
NbLv	Nombre de feuilles
NbNd	Nombre de nœuds

	Sommaire	Page
	Remerciement	I
	Dédicace	II
	Liste des tableaux	IV
	Liste des figures	V
	Liste des abréviations	VII
	Introduction	01
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE		
CHAPITRE I : GENERALITE SUR LE CAROUBIER		
	1.1. Historique et Origine	05
	1.2. Étude botanique	05
	1.3. Morphologie et description des principales parties du caroubier	06
	1.3.1. Le système racinaire	07
	1.3.2. Le tronc	08
	1.3.3. Le système aérien	08
	1.3.3.1. Feuilles	08
	1.3.3.2. Fleurs	09
	1.3.3.3. fruit	10
	1.3.3.4. Graines	10
	1.4. La multiplication du caroubier	12
	1.5. Répartition géographique	13
	1.5.1. Répartition géographique dans le monde	13
	1.5.2. Répartition géographique en Algérie	13
	1.6. La production mondiale et algérienne de caroubier	14
	1.7. Importance économique et écologique du caroubier	16
	1.7.1. Importance économique	16
	1.7.2. Importance écologique	16
	1.8. Domaines d'utilisation du caroubier	17
	1.8.1. Dans l'industrie alimentaire	17
	1.8.2. Dans la santé	17
	1.9. Variétés	18
CHAPITRE II : GENERALITE SUR LA GERMINATION		
	2.1. La germination	22
	2.1.1. Définition	22
	2.1.2. Conditions de germination	22
	2.1.2.1. Conditions internes	22
	2.1.2.2. Conditions externes	23
	2.1.3. Les phases de germination	23

CHAPITRE III : LE STRESS HYDRIQUE		
	3.1. Le stress hydrique	26
	3.1.1. Définition	26
	3.1.2. Effet du stress hydrique sur le développement des plantes	26
	3.1.3. Effet du stress hydrique sur la germination	26
	3.1.4. Effet du stress hydrique sur les traits morphologiques	27
	3.2. Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique	28
	3.2.1. Adaptation phénologique	28
	3.2.2. Adaptation morphologique	28
	3.3. Tolérance au stress hydrique	29
	3.4. Réponse des plantes au déficit hydrique	29
	3.5. Effet du stress osmotique sur la germination	31
	3.5.1. Définition de PEG 6000	31
	3.5.2. Effet de la PEG 6000	32
PARTIE EXPERIMENTALE		
CHAPITRE IV : MATERIELS ET METHODES		
	Objectif d'étude	35
	4.1. Préparation des échantillons	35
	4.2. Paramètres biométriques	35
	4.2.1. Les mesures biométriques des gousses	35
	4.2.2. Les mesures biométriques des graines	36
	4.3. Test de germination	37
	4.3.1. Préparation des graines pour les tests de germination	37
	4.3.2. Préparation des doses de PEG 6000	38
	4.3.2.1. Matériels utilisés	38
	4.3.2.2. Effet du stress osmotique sur la germination	39
	4.4. Paramètres de germination	40
	4.4.1. Précocité de germination	40
	4.4.2. Vitesse de germination ou coefficient de Kotowski	40
	4.4.3. Durée de germination	41
	4.4.4. Taux final de germination	41
	4.5. Paramètre biométrique de radicule	41
	4.6. Test de croissance des plantules de caroubier	42
	4.6.1. Repiquage des graines germées	42
	4.6.2. Paramètres de suivi de la croissance des plantules	43
	4.7. Traitement statistique	44
CHAPITRE V : RESULTATS		

5.1. Les paramètres biométriques	46
5.1.1. Les mesures biométriques des gousses	46
5.1.1.1 Longueur de la gousse (Cm)	46
5.1.1.2 Largeur de la gousse (Cm)	46
5.1.1.3 Epaisseur de la gousse (Cm)	47
5.1.1.4 Poids de la gousse (g)	47
5.1.1.5 Nombre de graine par gousse	48
5.1.1.6 Nombre des graines avortées par gousse	48
5.1.1.7 La forme des gousses	49
5.1.1.8 La couleur de la gousse/graine	49
5.1.2 Les mesures biométriques de la graine	50
5.1.2.1 Poids des graines par gousse (g)	50
5.2. Paramètres de germination	51
5.2.1 Précocité de germination	51
5.2.2 Cinétique de germination	51
5.2.2.1 Provenance de Lazharia	51
5.2.2.2 Provenance de Larbaa	52
5.2.2.3 Provenance de Beni Amar	53
5.2.2.4 Provenance de Khemisti	54
5.2.3 Vitesse de germination	54
5.2.4 Durée de germination	55
5.2.5 Taux final de germination	56
5.3. Paramètre biométrique de radicule	56
5.4. Teste de croissance	57
5.4.1 Diamètre du collet (cm)	57
5.4.2 Longueur de la tige (cm)	57
5.4.3 Nombre des feuilles par plant	58
5.4.4 Nombre des entre nœud	58
Discussion	61
Conclusion	66
Références bibliographiques	.
Résumé Abstract الملخص	

INTRODUCTION

Introduction

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) appartient aux Fabacées de l'ordre des Rosales. C'est un arbre qui peut jouer les rôles les plus intéressants au niveau socio.économique et écologique, notamment dans les régions arides et les zones où les processus de désertification s'intensifient, notamment dans le bassin méditerranéen (**Rejeb et al., 1991**).

Le caroubier a reçu une attention croissante non seulement pour sa rusticité, son indifférence aux propriétés du sol, son bois de qualité, sa valeur ornementale et paysagère, mais surtout pour ses graines. Celle-ci fait l'objet de transactions commerciales dont la valeur dépasse largement celle de la production de bois. En conséquence, les gousses entières, la pulpe, les graines et les gommages sont largement commercialisées vers l'Europe et largement utilisées dans l'industrie alimentaire (**Biner et al., 2007**).

Le caroubier (*C.siliqua*) appartient à la famille des Leguminosae de l'ordre des Rosales. C'est une espèce sclérotique, sèche, chaude, rouge, calcicole, et ses origines sont les régions arides et semi-arides de la Méditerranée et de la péninsule arabique. C'est un arbre qui peut jouer un rôle particulièrement important, aux niveaux social, économique et environnemental, notamment dans les zones arides et dans les zones où les processus de désertification deviennent de plus en plus préoccupants, notamment dans le bassin méditerranéen (**Gadoum et al., 2021**).

C'est une espèce sclérophylle, thermophile, héliotrope, aridophile et lithophyte originaire des régions arides et semi-arides de la Méditerranée et de la péninsule arabique. Les écosystèmes méditerranéens se caractérisent par des précipitations rares ou irrégulières et de longues périodes sèches en été. Ces contraintes climatiques combinées à la pression anthropique entraînent souvent une dégradation du couvert végétal et une érosion rapide des sols. Pour lutter contre ce fléau, préserver la fertilité des sols et améliorer le niveau de vie des populations rurales, des espèces d'arbres pionnières aux multiples usages, comme le caroubier, sont utilisées dans des programmes et de reboisement, adaptées aux aléas climatiques et capables de s'installer sur des terres marginales, La restauration des sols dégradés reste une bonne stratégie (Ait Chitt et al., 2007).

En Algérie, où les espèces forestières sont mises à l'épreuve, dans les champs forestiers et sur les terrains privés, les caroubiers sont un objet de protection et de préoccupation pour les agriculteurs. Ses vertus et ses atouts que n'ont pas les autres espèces témoignent de ce privilège. Elle est appréciée et recherchée en raison de ses nombreux potentiels bénéfiques pour le développement rural, la conservation des sols et l'économie de montagne, elle fournit des fruits et des semences d'une qualité indéniable et de multiples

Introduction

usages domestiques et industriels (**Mhirit et Tobi, 2002**).

Cependant, le caroubier est connu pour être l'une des espèces méditerranéennes les plus sensibles au froid, de sorte que son aire de croissance est limitée à des zones d'altitude ne dépassant pas 500 m, et bien que des zones de faible altitude, il peut être gravement endommagé. L'hiver, comme ce fut le cas en Espagne en 1956 et 1985 (**Albanel, 1990**), où les basses températures ont dévasté une grande partie des vergers de caroubiers, obligeant de nombreux agriculteurs à abandonner leur culture pour se tourner vers la plantation d'oliviers.

Le but de ce travail était d'étudier la caroube dans différentes provenances et la contribution des mécanismes de stress hydrique dans ces régions et de proposer des perspectives de développement durable de cette filière.

Notre travail est constitué de deux parties, la première consacrée à une synthèse bibliographique composé de trois chapitres comme suit « généralité sur le caroubier, la germination et le stress hydrique », et la deuxième partie destinée à des études biométriques, de test de germination des graines du caroubier et d'un suivi de croissance des jeunes plantules pour extraire les différents mécanismes d'adaptation aux aléas climatique.

SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

Généralités sur le caroubier

1. Historique et Origine

L'origine du caroubier semble être en Méditerranée orientale, où il a été domestiqué depuis la période néolithique en 4000 avant JC, et cette culture extensive remonte à au moins 2000 avant JC, où il est largement connu sur le Proche .Orient et les îles de la Méditerranée. En Égypte, les pharaons utilisaient de la farine de fruits pour renforcer les bandages des momies (XVIIIe siècle av. J.C.).

Le nom scientifique du caroubier *Ceratonia Siliqua* dérivé du grec « kéras », signifiant petite corne, le nom d'espèce « siliqua » signifie silique ou gousse en latin, faisant allusion à sa dureté et sa forme (**Batlle et al., 1997**).

Les noms des espèces *Ceratonia siliqua* dans différents pays sont depuis longtemps dérivés de la forme générale du nom arabe Al kharroub ou kharroub, comme lgarrobo ou garrofero en espagnol. Dans le commerce des substances et matériaux de valeur, leurs graines utilisées comme unité de poids. Ainsi, « elkilate » en espagnol ou « carat » en français (0,2 g) semble dériver du nom arabe de la graine (Al.karat ou qirat), qui se caractérise par son poids relativement constant (**Albanelle, 1990**)

2. Étude botanique

Le caroubier (*Cératonia siliqua* L), est un arbre appartenant à la famille des Fabacées et à l'ordre des Rosales. Il est généralement placé dans la tribu Casciaee de sa famille Caesalpinoideae.

Selon la systématique de **Cronquist (1981)** et **APG III (2009)**.

Les classifications classique et phylogénétique de *Ceratonia siliqua* L. sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau N°01: Classification classique et phylogénétique de *Ceratonia siliqua* L.

Classification pré. phylogénétique (Cronquist, 1981)		Classification phylogénétique (APGIII, 2009)	
Règne	<i>Plantae</i>	Règne	<i>Plantae</i>
Sous.règne	<i>Tracheobionta</i>	Clade	<i>Tracheobionta</i>
Embranchement	<i>Spermaphytes</i>	Clade	<i>Magnoliophyta</i>
Sous.embranchement	<i>Magnoliophyta</i>	Clade	<i>Rosidés</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>	Clade	<i>Rosidés I</i>
Sous.classe	<i>Rosidae</i>	Ordre	<i>Fabales</i>
Ordre	<i>Fabales</i>	Famille	<i>Fabaceae</i>
Famille	<i>Caesalpinaceae</i>	Sous.famille	<i>Caesalpinioideae</i>
Sous.famille	<i>Caesalpinioideae</i>	genre	<i>Ceratonia</i>
Genre	<i>Ceratonia</i>	Espèce	<i>Ceratonia siliqua</i> L.
Espèce	<i>Ceratonia siliqua</i> L.		

3. Morphologie et description des principales parties du caroubier

Le caroubier est un arbre ou un arbuste à feuilles dures et persistantes d'une hauteur de 7 à 20 m et d'une circonférence de 2 à 3 m à la base du tronc. L'écorce est lisse grise et brune lorsqu'elle est jeune et rugueuse à maturité. Son bois rougeâtre est très dur. Les caroubiers peuvent vivre jusqu'à 200 ans (Rejeb et al., 1991 ; Batlle et Tous, 1997 ; Ait Chitt et al., 2007) (Figure N°01).



Figure N°01 : Arbre du caroubier.

3.1. Le système racinaire

L'arbre forme un système racinaire pivotant jusqu'à une profondeur de 18 m (Aafi, 1996 ; Gharnit, 2003). En plus de maintenir fermement l'arbre dans le sol, ce système racinaire peut également absorber de l'eau et des nutriments sur de grandes étendues, en particulier des couches supérieures du sol, où il présente les niveaux de fertilité, d'aération et de matière organique les plus élevés. C'est probablement l'une des principales raisons pour lesquelles cette plante peut pousser dans des terrains rocheux avec des sols peu profonds et dans des conditions arides qui limitent la croissance d'autres cultures. (Albanelle, 1990).



Figure N°02 : Racines du caroubier.

3.2. Le tronc

Le tronc du caroubier est robuste et l'écorce est rugueuse et brun grisâtre (Albanelle, 1990), tandis que l'écorce de la partie supérieure du tronc et de la base des branches est lisse. (Figure N°03)

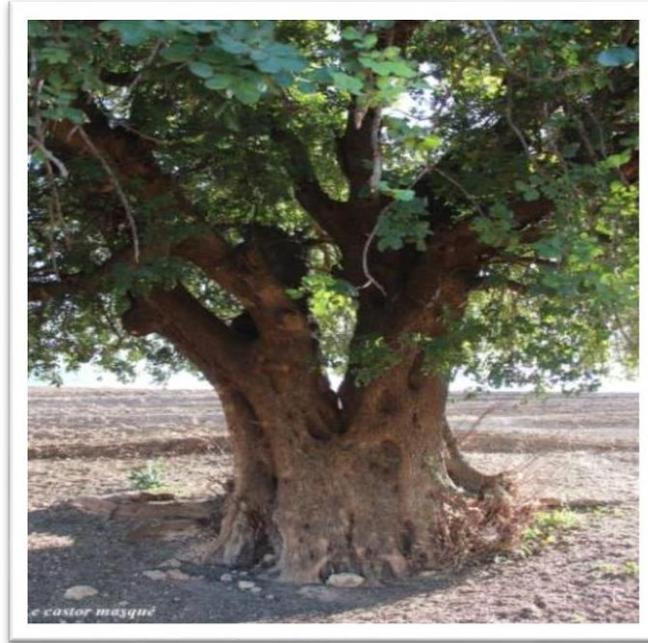


Figure N°03 : Le tronc de caroubier.

3.3. Le système aérien**3.3.1. Feuilles**

Ses feuilles sont longues de 10 à 20 cm, persistantes, coriaces, alternes, et les pétioles sont cannelés. Elles sont constituées de 4 à 10 folioles vert sur la face inférieure et vert pâle sur la face ventrale. Il perd ses feuilles tous les deux ans en juillet (KICHER et LADJOUZI, 2016). (Figure N°04)

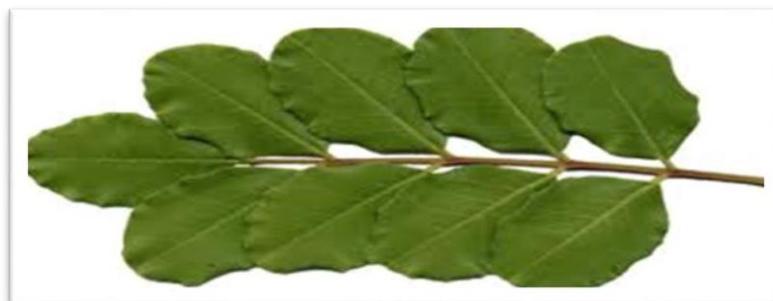


Figure N°04 : feuilles du caroubier

3.3.2. Fleurs

Les caroubiers sont dioïques, parfois monoïques et rarement monoïques (**Linskens et Scholten, 1980 ; Batlle et Tous, 1988**). Les pieds mâles sont stériles et non productifs (**Rejeb, 1995**).

Les fleurs mâles, femelles et hermaphrodites poussent sur différentes plantes.

Il existe trois formes de fleurs : fleurs mâles (**Fig. a.5**), fleurs femelles (**Fig. c.5**) et fleurs hermaphrodites (**Fig. b.5**), portées par des pieds différents. (**Figure N°05**)

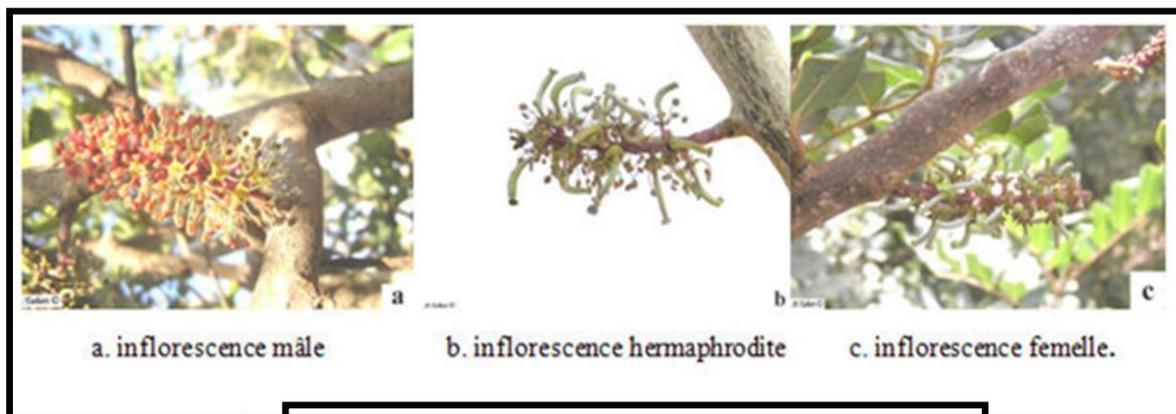


Figure N°05 : Inflorescences du caroubier.

Ces fleurs sont regroupées en touffes de tiges, violettes et parfois rouges, apparaissant sur du vieux bois et parfois sur des troncs d'arbres. La fleur femelle est constituée d'un pistil court et incurvé et d'un petit ovaire bicarpe (5 à 7 mm). Le stigmate est bilobé et recouvert de papilles. A la base, le disque nectarifère est entouré de 5 à 6 sépales immatures, par contre la corolle est absente, les fleurs mâles portent 5 étamines et les filaments sont allongés (**Aafi, 1996**).

La morphologie florale des caroubiers est très complexe, selon la littérature on distingue cinq types d'inflorescences :

- **Inflorescence polygame** : composée de fleurs mâles, femelles et bisexuées.
- **Inflorescence hermaphrodite** : Les fleurs ont des étamines et des pistils bien développés.
- **Inflorescence mâle** : Les fleurs ont des étamines courtes et des pistils immatures.
- **Les inflorescences femelles** : ont des pistils bien développés et des étamines immatures.

La pollinisation des fleurs de caroubier se fait principalement par les insectes et le vent. Par rapport aux fleurs mâles, les fleurs femelles sécrètent des quantités et une teneur en sucre plus élevées de substances d'amande (**Ortiz et al., 1996**). La floraison l'année prochaine dépend de la région et du cultivar.

3.3.3. Fruit

Les caroubes sont regroupées en une seule grappe. Ce sont des gousses indéhiscentes, de 10 à 30 cm de long, 1,5 à 3 cm de large et 1 à 2 cm d'épaisseur. Chaque caroube pèse environ 15 à 30 grammes. L'intérieur des gousses est séparé par des cloisons pulpeuses et contient 12 à 16 graines brunes, de 8 à 10 mm de longueur et 7 à 8 mm de largeur (**Battle et Tous, 1997**) (**Figure N°06**) .



Figure N°06 : fruit du caroubier (01 : gousse verte 02 : gousse mure).

La couleur des caroubes est verte au début et brun foncé à maturité. Pour atteindre cette maturité, les caroubiers mettent généralement 9 à 10 mois, correspondant à trois stades de développement :

- La première étape est caractérisée par une croissance lente en automne et en hiver ;
- La seconde correspond au développement actif et à la croissance rapide des gousses au printemps ;
- Au stade final, les gousses mûrissent et durcissent en juin.juillet.

3.3.4. Graines

Les graines sont ovoïdes, fermes et dépendantes de la couleur, brunes, rouges ou noires, et mesurent 8 à 10 mm de longueur et 7 à 8 mm de largeur (**Battle et Tous, 1997**). En raison de leur uniformité, les graines de caroube sont appelées "carats" et sont utilisées depuis longtemps par les bijoutiers comme unité de poids pour peser les diamants, perles et autres pierres précieuses (**Rejeb, 1995**). Ils attribuent aux Arabes l'utilisation de la graine entière du

caroubier comme unité de poids dans le commerce des substances et matières précieuses. Ainsi, 'elkilate' en espagnol ou 'carat' (0,2 g) en français semble dériver du nom arabe de la graine (Al.karat . qirât), qui se caractérise par son poids relativement constant (**Albanelle, 1990**).

La graine du caroubier est composée de trois parties (**Melgarejo et Salazar, 2003**) :

❖ **Episperme ou tégument**

Il enrobe les graines et se compose principalement de cellulose, de lignine et de tanins, et se compose de deux enveloppes distinctes, une extérieure appelée tégument coloré, qui est ferme, et une intérieure, appelée tégument, qui est plus blanche et plus douce. Le tégument représente 30% à 33% de la graine.

❖ **Endosperme ou albumen**

Il se situe en dessous de l'ectoderme et constitue le tissu de réserve pour la germination embryonnaire, c'est la partie la plus intéressante de la graine qui a une forte teneur en glucomannane ou gomme de caroube, l'endosperme constitue 42% à 46% du germe ou germe de la graine " 23% à 25% de la semence.

❖ **L'embryon**

C'est la partie essentielle qui représente 23 à 25% de la graine.



Figure N°07 : Les graines du caroubier.

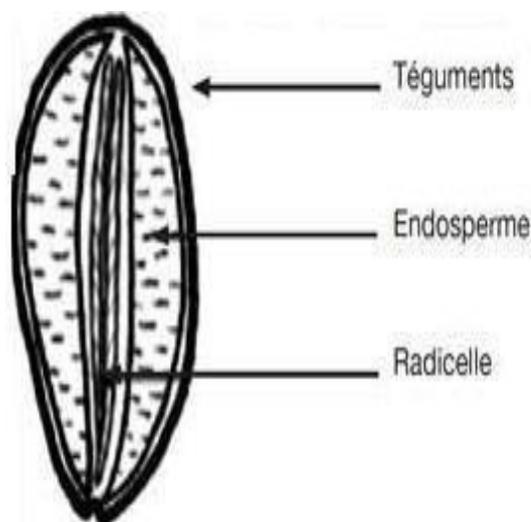


Figure N°08 : Coupe transversale d'une graine de caroube (Dakia et al., 2008).

4- La multiplication du caroubier

La technique de propagation des graines de caroube la plus couramment utilisée est l'ensemencement. Les graines ont une coque transparente épaisse et dure qui doit d'abord être séchée pour faciliter la germination. Certains prétraitements peuvent améliorer considérablement la germination chez cette espèce. Les exemples incluent le prétraitement avec de l'eau bouillante, de l'acide sulfurique (H_2SO_4) ou de l'acide gibbérellique (AG3) (BATLLE et TOUS, 1997).

L'élevage végétatif a l'avantage de fournir des copies qui reproduisent fidèlement les traits du troupeau parent. Le caroubier a été et est considéré comme une espèce ligneuse capricieuse difficile à enraciner et à hacher. Son potentiel d'enracinement inattendu est considéré comme très faible (LEE et al., 1977 ; HARTMANN et KESTER, 1983).

Le greffage est la méthode de propagation la plus courante. Il est utilisé après le semis pour greffer des plants mâles sur des plants femelles. Les plants sont greffés 1 ou 2 ans après leur germination dans une pépinière, puis transplantés dans les vergers (BATLLE et TOUS, 1997).

La multiplication végétative in vitro, appelée aussi micro propagation ou culture in vitro est une technique prometteuse, qui permet d'obtenir une plante conforme à la plante d'origine. Les premières tentatives de multiplication in vitro du caroubier ont été réalisées par MARTINS LOUÇAO et RODRIGUEZ BARRUECO (1981), qui n'ont observé qu'une

formation de cal. Les premiers succès ont été obtenus par **SEBASTIAN et MCCOMB (1986)** et par **ALORDA et al. (1987)**.

5- Répartition géographique

5.1. Répartition géographique dans le monde

Selon **Thillot et al.,(1980)**, le caroubier est étendu, à l'état sauvage, en Turquie, Chypre, Syrie, Liban, Sud de Jordanie, Egypte, Arabie, Tunisie et Libye avant d'atteindre l'Ouest de la méditerranéen (**Konate, 2007**).

Le caroubier a été propagé par les grecques, puis par les Arabes et les Berbères de l'Afrique du Nord, en Grèce et en Italie, en Espagne et au Portugal (**Rejeb, 1995 ; Gharnit, 2003**), ensuite il a été introduit en Amérique du Sud, du Nord et en Australie par les Espagnols. Actuellement le caroubier se trouve aussi aux Philippines, en Iran, en Afrique du sud et en Inde (**Berrougui, 2007**) (**Figure N°09**).

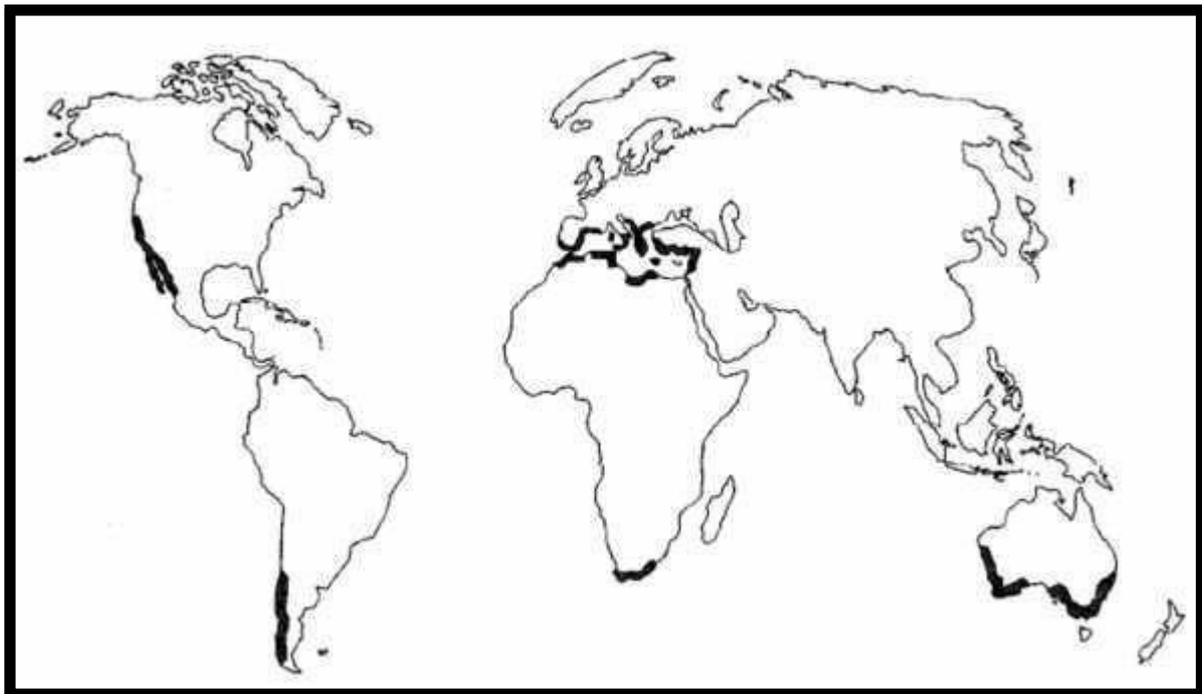


Figure N°09 : Centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde (BOUBLENZ, 2012).

5.2. Répartition géographique en Algérie

En Algérie, le caroubier est fréquemment cultivé dans l'Atlas Saharien et il est commun dans le tell (**Quezel et santa, 1963**). On le trouve à l'état naturel en association avec l'amandier, Oléastres et Pistachier dans les étages bioclimatique semi.aride et subhumide,

avec une altitude allant de 100 m à 1300 m dans les vallons frais qui le protègent de la gelée ; avec une température de 5°C jusqu'à 20°C et une pluviométrie de 80 mm à 600 mm/an (Rebour, 1968).

Selon ces critères climatiques ; L'aire de répartition des caroubiers en Algérie est établie (Figure 10). Ses lieux de prédilection sont les collines ensoleillées des régions côtières ou littorales : le Sahel algérien, Dahra, Grande.Kabylie et Petite Kabylie, les vallées de la Sommam (1074 ha) et de l'Oued.Isser, les collines d'Oran et de Mostaganem à flanc de coteau semi. thermique . strate désertique, les plaines de Bône, Mitidja et vallées intérieures (1054 ha). Il descend à Bou.Saâda, mais n'y porte pas de fruits, et dans la région du Traras au nord de Tlemcen (276 ha) (Lavallée, 1962 ; Zitouni, 2010).

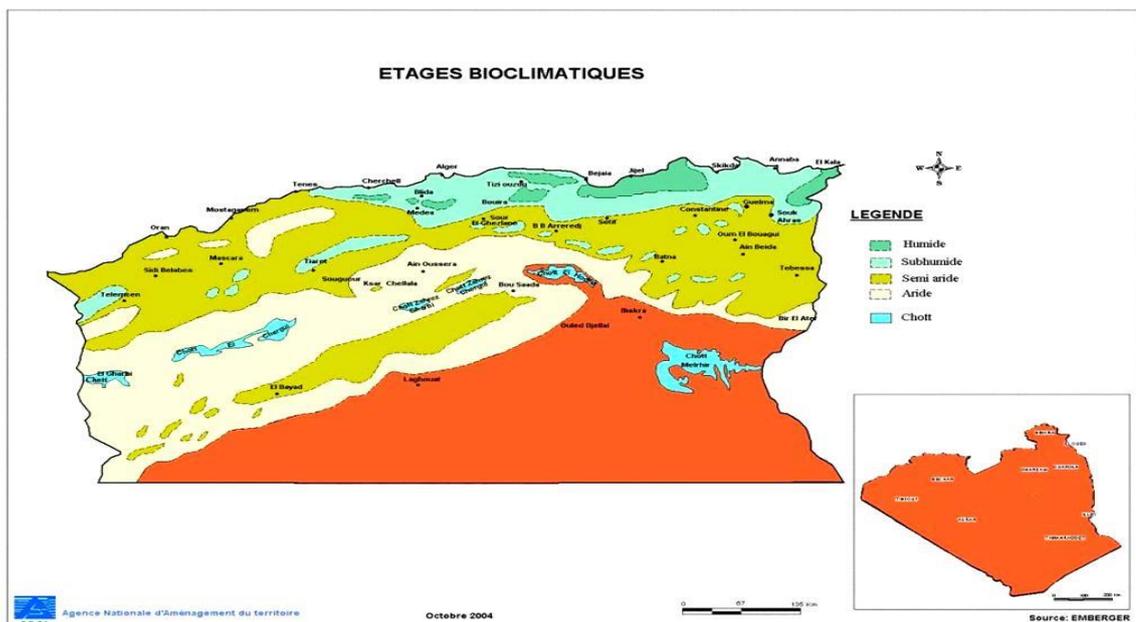


Figure N°10 : Répartition du caroubier en Algérie suivant les étages bioclimatiques

6-La production mondiale et algérienne de caroubier

La superficie totale cultivée de cette espèce dans le monde est estimée à 87 485 ha (Tableau 02) ; dont 74 174 hectares (84,81%) sont répartis entre l'Espagne, le Maroc, l'Italie et le Portugal. La production mondiale de caroube est estimée à 205 589 tonnes et est principalement concentrée en Espagne, premier producteur avec 55 754 tonnes, représentant 27,12 % de la production mondiale (Tableau 02), suivie de l'Italie (21,77 %) et le Portugal (15,11 %).

L'Algérie occupe la huitième place avec une production de 4000 tonnes, soit 1,95 % de la production mondiale.

Tableau N° 02 : Estimation de la surface cultivée, de la production et du rendement du caroubier dans le monde en 2011 (Tableau établi à partir des données de la FAOSTAT.2011)

Pays	Surface cultivée (ha)	Production (tonnes)	Rendement (t/ha)
Espagne	47000	55754	1,19
Maroc	9717	20489	2,11
Italie	9183	44749	4,87
Portugal	8274	31067	3,75
Grèce	5284	20901	3,96
Turquie	2910	13972	4,80
Chypre	1353	10560	7,80
Algérie	1000	4000	4,00
Reste du monde	1214	3711	4,09
Total	87458	205589	2,35

Les productions de gousses et de graines dans les différents pays ne sont pas en parallèles, car il existe des différences dans les rendements en graines entre les cultivars et les variétés de type sauvage (Batlle et Tous, 1997).

Tableau N° 03 : Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie, année 2009 (DSA de Tlemcen).

Wilayas	Surface cultivée (ha)	Production (Qx)	Rendement (qx/ha)
Bejaia	645	18 417	28,6
Tipaza	105	5 600	53,3
Blida	100	8 050	80,5
Boumerdes	32	1 080	40,0
Bouira	22	144	6,9
Mila	10	80	8,0
Tlemcen	5	100	20,0
B.B. Arreridj	4	20	5,0
Aïn.Defla	2	300	150
Mascara	1	30	30,0
Tizi.Ouzou	1	20	20,0
Total	927	33 841	36,5

7-Importance économique et écologique du caroubier

7.1. Importance économique

La superficie mondiale totale des caroubiers est d'environ 200 000 ha. L'Espagne arrive en tête avec 41 %, suivie de l'Italie. Le Maroc se classe au troisième rang avec 12 % de superficie de caroubiers (**Zografakis et Dasenakis, 2002 ; Sbay et Abrouch, 2005 ; Ait Chitt et al., 2007**) (**Figure N° 11**) .

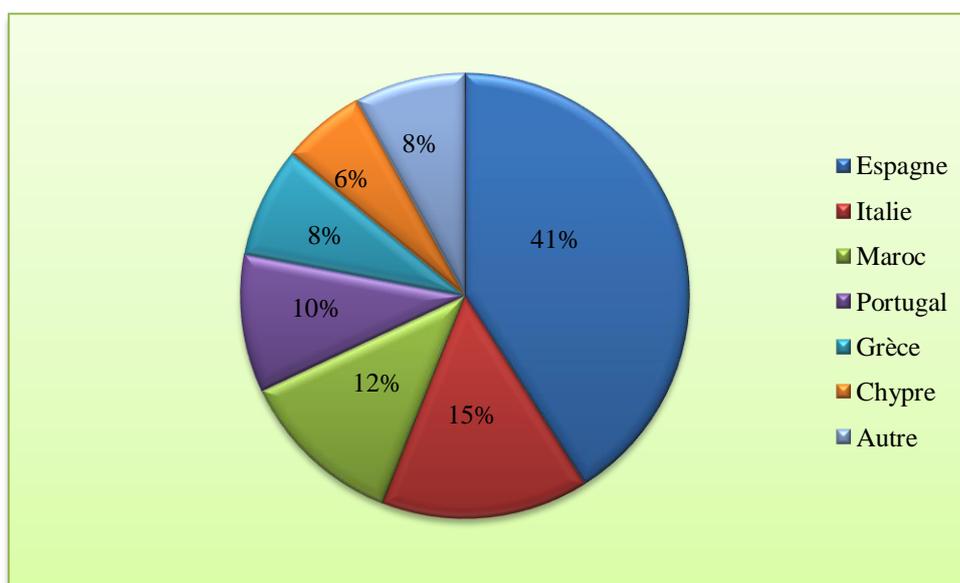


Figure N° 11 : répartition de la surface mondiale dédiée au caroubier (**Battle,1997**).

7.2.Importance écologique

La caroube est une espèce plus tolérante à la sécheresse et est souvent utilisée pour lutter contre l'érosion des sols, comme brise-vent et comme arbre ornemental en raison de sa canopée sphérique et de son feuillage persistant dense et brillant. Son bois est très apprécié en menuiserie et utilisé pour fabriquer du charbon de bois. L'écorce et les racines sont utilisées pour le tannage (**Battle et Tous, 1997**). De plus, cette plante ligneuse joue également un rôle vital dans la protection de l'environnement, en ombrageant les autres plantes. Les rideaux de caroube peuvent faire d'excellents pare-feux ; il suffirait d'arroser derrière avec des canadais pour empêcher les étincelles du vent d'allumer le feu au-delà du pare-feu feuillu, qui est généralement arrêté (**Mares, 1971**) (**Figure N° 12**).



Figure N° 12: arbre du caroubier utilisé dans l'ornementation et l'ombrage.

8-Domains d'utilisation du caroubier

8.1.Dans l'industrie alimentaire

Deux produits différents du caroubier sont utilisés dans l'industrie alimentaire : la farine et le chewing-gum. La farine de caroube est obtenue par séchage, torréfaction et broyage de gousses sans pépins (Yousif et Alghzawi, 2000). Il est utilisé dans l'industrie agro-alimentaire comme additif dans les glaces, les pâtisseries, les aliments diététiques notamment comme substitut du cacao (Bengoechea et al., 2008). Contrairement à son homologue au cacao, la caroube ne contient ni théobromine ni caféine, deux alcaloïdes aux effets excitants sur l'organisme. Il est naturellement sucré (Bengoechea et al. 2008). La gomme de caroube provient de fines enveloppes brunes, Couvrir les graines. Il contient un endosperme blanc translucide qui agit comme un épaississant pour le E411 (Dakia et al., 2007).

8.2.Dans la santé

Certains effets biologiques de la caroube ont été décrits :

✓ **Anticancéreux** : dont la lutéoline, la quercétine, l'apigénine et la taxifoline peuvent prévenir l'apparition de certains cancers (Decloitre, 1993 ; Hertog, 1996).

✓ **Antioxydants** : Limite l'oxydation des radicaux libres en formant des flavonols (Pietta 2002, Frei et Oszmianski et al., 2000).

✓ **Anti.inflammatoire** : En inhibant les enzymes qui provoquent l'inflammation (Gallego et al., 2007 ; Kim et al., 2004).

✓ **Antibactérien** : leur toxicité vis.à.vis des micro.organismes et des enzymes hydrolytiques est reconnue (Cowen, 1999).

✓ **Médicaments antiviraux** : La quercétine, l'apigénine, la catéchine et l'hespéridine ont montré une bonne activité virale (Tapas et al., 2008).

✓ **Anti.allergique** : par inhibition d'enzymes (AMP cyclique phosphodiester, ATPase Ca²⁺.dépendante) (Marfek, 2003).

✓ La consommation de fibres de caroube réduit les niveaux de cholestérol HDL (lipoprotéines de haute densité) et LDL (Lowdensitylipoprotein), et les triglycérides dans le sang, ils aident donc à prévenir et à traiter l'hyperlipidémie (Ruiz.Roso., 2010).

✓ L'utilisation endodontique est recommandée pour lutter contre la tuberculose et les maladies des branches (Rejeb, 1995).

9-Variétés

Les variétés du Caroubier ne sont pas étudiées et classées. Jusqu'à présent l'ancien ouvrage sur le Caroubier de Risso, paru dès 1826 présente une valeur d'actualité (Risso, 1826). Les variétés connues dans la culture et surtout dans le commerce ne sont pas nombreuses. Nous mentionnons, d'après la remarquable Monographie de Moniowski (1934) les suivantes.

Dans le commerce on distingue les variétés selon leurs pays et lieux de culture, nous avons les citons :

Tableau N°04 : Différentes variétés du caroubier (Evreinoff ,1947)

	Variétés	Caractéristiques de l'arbre	Caractéristiques de fruits	Maturité
Variétés de chypre	<i>Loumbarda verdala ou latissima</i>	Arbre moyennement vigoureux, Fertilité moyenne	Fruit très large, charnu, court, mais volumineux. Pulpe charnue, très sucrée, exquise.	Précoce
	<i>Apostoliké</i>	Arbre vigoureux très fertile, au tronc lisse.	Fruit allongé, très arqué, gros, sucré.	Tardive
	<i>Kountoura</i>	Arbre très vigoureux, fertile, au tronc lisse.	Fruit très allongé, arqué, charnu, sucré. se conservent deux ans.	Tardive
	<i>Vaklitké</i>	Arbre vigoureux, fertile.	Fruit allongé, plus ou moins arqué, gros.	Précoce
	<i>Kamboté</i>	Arbre vigoureux et fertile.	Fruit gros, allongé, avec nodosité, sucré	Précoce

	<i>Cypriana</i>	Arbre vigoureux, très fertile et rustique.	Fruit moyen, mince, long, aplati, très sucré.	Précoce
Variétés de la Côte d'Azur et de la Ligurie	<i>Caroubier nostrat ou Caroubier commun</i>	Arbre assez vigoureux, fertile, rustique, bois fragile, craint les vents.	Fruit sucré, allongé, plus ou moins arqué, gros.	Précoce
	<i>Caroubier franc</i>	Arbre de vigueur moyenne, rustique, assez fertile.	Fruit très arqué, aplati pointu aux deux extrémités, assez charnu.	Précoce
	<i>Siccata</i>	Arbre très vigoureux, très fertile, rustique.	Fruit long, très mince, sec et peu charnu, onde sur son parcours, peu sucré.	Précoce
Variétés de Sicile	<i>Saccherata ou Zuccherino</i>	Arbre de vigueur moyenne, très fertile	Fruit gros, aplati mais court, très large, peu arqué, très sucré	Précoce
	<i>Feminella</i>	Arbre peu vigoureux, fertile,	Fruit gros, peu allongé, large, sucré	Précoce
	<i>Gimbiliana</i>	Arbre de vigueur moyenne, fertile.	Fruit allongé, large, charnu, sucré	Précoce
	<i>Cipriana</i>	Arbre vigoureux, rustique, très fertile	Fruit moyen, long, aplati, mince, sucré.	Précoce
	<i>Latina</i>	fertile.	Fruit gros, assez court, arqué, large, sucré.	Précoce
	<i>Sanaglina (Hochet)</i>	Arbre assez vigoureux, fertile	Fruit assez gros, large, peu charnu,	Précoce
	<i>Fanciara ou Lampedouza</i>	Arbre rustique, vigoureux, fertile	Fruit moyen, aplati, assez arqué, sucré.	Précoce
	<i>Cavrubo di Spagna</i>	Arbre moyen, fertile.	Fruit gros, court, charnu, sucré.	Précoce
	<i>Geterocarpa</i>	en général, variété très estimée en Sicile. Arbre de moyenne vigueur, très fertile.	Fruit de différents volumes et formes sur le même arbre, tantôt allongé, mince et très arqué, tantôt court, large, gros et charnu. Très sucré	Précoce
Variétés d'Espagne	<i>Matalafan ou Matalafera</i>	Arbre de vigueur moyenne, fertile.	Fruit long, plus ou moins arqué, gros, noirâtre, sucré. Conserve deux ans.	Tardive
	<i>Rocha ou Roya</i>	Arbre de faible vigueur, pas très fertile.	Fruit très gros, court, très large, charnu, très sucré.	Tardive
	<i>Casuda</i>	Arbre vigoureux, extrêmement fertile, pour cette cause très recherché en culture.	Fruit assez gros, allongé, arqué, sucré.	Tardive

	<i>Li dars castelates</i>	Arbre très vigoureux, fertile.	Fruit très gros, très long (30 cm.), mais peu charnu, sucré	Précoce
	<i>Melar</i>	Arbre vigoureux, très fertile,	Fruit très gros, long, charnu, très sucré	Précoce
	<i>Blanca</i>	Arbre rustique et vigoureux.	Fruit assez gros, allongé, peu arqué, sucré, à pulpe blanchâtre.	Précoce
	<i>Negreta</i>	Arbre rustique, vigoureux et fertile.	Fruit gros, allongé, noir, sucré, à pulpe très foncée	Précoce
	<i>Flor y Garoffa</i>	Arbre vigoureux et fertile.	Fruit moyen, lisse, assez charnu, sucré.	Précoce
	<i>Vera</i>	Arbre assez vigoureux, très fertile.	Fruit assez gros, aplati, charnu, sucré.	Précoce
	<i>Niel</i>	Arbre vigoureux et fertile.	Fruit gros, large, sucré	Tardive
	<i>Acandalada</i>	Arbre assez vigoureux, fertile.	Fruit moyen, mince, allongé, sucré.	Précoce
Variétés de Grèce et de l'île de Crète	<i>Tiliria</i>	Arbre vigoureux et très fertile.	Fruit très gros, très large, très charnu, très mince, à pulpe blanchâtre, très compacte. La meilleure pour la consommation à l'état frais.	Précoce
	<i>Karpos</i>	Arbre vigoureux et très fertile.	Fruit gros, charnu, sucré, à pulpe noirâtre, se conserve mal,	Précoce
	<i>Kandia</i>	Arbre vigoureux et fertile.	Fruit gros, allongé, très charnu, très sucré, à pulpe blanchâtre, très savoureuse.	Précoce
Variétés du Portugal	<i>Alfarroba de Burro</i>	Arbre de vigueur moyenne, très fertile.	Fruit gros, long, aplati	Précoce
	<i>Alfarroba galhosa</i>	Arbre vigoureux et fertile.	fruit long, mince, très arqué, très sucré	Précoce
	<i>Mulata</i>	Arbre vigoureux, assez fertile.	fruit gros, large, aplati, sucré à pulpe très foncée	Précoce
	<i>Canella</i>	Arbre vigoureux et fertile.	fruit assez gros, court, charnu, très sucré.	Précoce
Variétés de la Cyrénaïque et du Tripoli	<i>Templiotive</i>	Arbre vigoureux, fertile.	fruit assez gros, allongé, arqué, à pulpe sucrée.	Précoce
	<i>Kyruiotike</i>	Arbre de vigueur moyenne, fertile.	fruit allongé, large, charnu	Précoce
	<i>Sarakine</i>	Arbre de faible vigueur, très fertile.	fruit moyen, aplati, arqué	Précoce

CHAPITRE II

Généralités sur la germination

1.La germination**1.1.Définition**

La germination est définie par l'émergence et le développement de l'embryon de semences d'organes de base, qui pour plusieurs espèces sont considérées comme la preuve de la capacité des semences à produire des plantes naturelles (**CHAUX et FOURY, 1994**). Elle désigne l'ensemble des phénomènes par lesquels les plantules, en vie ralentie dans la graine mure, commence une vie active et se développe grâce à l'énergie contenue dans les réserves de la graine (**MACIEJEWSKI, 1991**).

Elle des graines est un phénomène naturel qui intervient lorsque des semences sont imbibées d'eau dans des conditions favorables de température, d'oxygénation et d'obscurité (**BAUMGARTNER et EMONET, 2007**).

Le signe visible d'accomplissement de la germination est la sortie de la radicule hors des téguments de la graine (**HOPKINS, 2003**).

Selon **LABBE (2004)**, la germination se traduit par une activation des activités enzymatiques dans toutes les parties de la graine (embryon et tissus de réserve), conduisant à la croissance de l'embryon et à la constitution d'un germe.

La germination des graines est un processus de développement complexe en plusieurs étapes qui est régulé par des facteurs externes. Les facteurs internes comprennent les protéines, les hormones végétales (équilibre gibbérelline/ABA, éthylène et auxine), les facteurs liés à la chromatine tels que la méthylation, l'acétylation, l'ubiquitination des histones, les gènes apparentés (gènes et hormones matures, et épigénétique) gènes régulateurs), les processus non enzymatiques, l'âge des graines, la taille des graines et les composants structurels, y compris (endosperme et tégument).

La germination des graines commence par l'absorption d'eau par la graine sèche mature et se termine par la saillie visible de la radicule à travers le tégument. (**Cüneyt Uçarlı, 2020**)

1.2.Conditions de germination**1.2.1.Conditions internes**

Ces conditions concerne la graine elle même, qu'elle soit être vivant ou mure, a une capacité pour germer, saine (**Jean & al ., 1998**) .

1.2.2. Conditions externes

- **Eau** : il est nécessaire pour la germination, il peut utiliser par l'embryon pour avoir un gonflement des cellules suite par la sortie de radicule (**Doménique., 2007**).
- **Température** : elle joue un rôle sur l'augmentation de la vitesse des réactions chimiques pour stimuler la germination (**Domonique., 2007**) et elle favorise la solubilité d'oxygène dans l'embryon (**Chaussant., 1975**).
- **L'oxygène** : il est très important pour la germination (**Domonique., 2007**).
- **La lumière** : elle est considérée comme une condition importante, mais il y a des cultures qui n'exigent pas ce facteur (**Cherfaoui., 1987**).

1.3. Les phases de germination

La germination commence par une forte absorption d'eau, dont la majeure partie pénètre dans l'embryon, et, en même temps, la restauration de l'activité métabolique, c'est-à-dire la respiration. Il y a trois stades de germination peuvent être distingués :

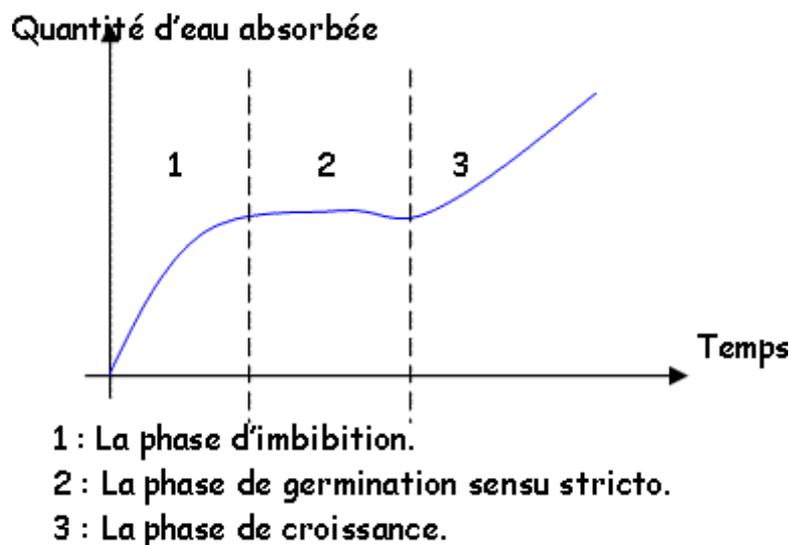


Figure N°13: Les différentes phases de la germination.

➤ Phase I ou Phase d'imbibition

Correspondant à une forte hydratation des tissus, accompagnée d'une élévation de l'intensité respiratoire (**HELLER et al, 2000**). Elle implique un mouvement d'eau dans le sens de potentiel hydrique décroissant (**HOPKINS, 2003**). Cette entrée d'eau est accompagnée d'une augmentation de la consommation d'oxygène attribuée à l'activation des enzymes mitochondriales (**ANZALA, 2006**).

➤ Phase II

Appelé aussi Phase de germination stricto sensu, il se caractérise par une hydratation et une activité respiratoire élevées et stables. L'absorption d'eau est suivie d'une activation générale du métabolisme des graines (**Hopkins, 2003**). A ce stade, les graines peuvent être réversiblement déshydratées et réhydratées sans altérer sensiblement leur viabilité (**HELLER et al., 2000**).

L'hydratation des tissus et des enzymes est complète. L'eau fait circuler et s'activer les hormones végétales solubles dans l'eau stockées dans les graines. C'est le cas des gibbérellines, qui sont transportées jusqu'à la couche d'aleurone où elles vont activer la synthèse d'hydrolases telles que les alpha.amylases, les nucléases et les protéases, qui sont responsables de la dégradation des réserves, de la division et de l'allongement cellulaire requis (**ANZALA, 2006**).

➤ Phase III

Caractérisé par une reprise de l'absorption d'eau et une élévation de la consommation d'oxygène qui serait due aux enzymes néo synthétisées (**ANZALA, 2006**), puis très rapidement, on assiste à une reprise des divisions et grandissement cellulaires (**HOPKINS, 2003**). A ce stade, la déshydratation des tissus cause la mort des semences. La germination est terminée lorsque la radicule émerge les téguments de la graine.

CHAPITRE III

Le stress hydrique

1. Le stress hydrique

1.1. Définition

Le stress hydrique peut se définir comme le rapport entre la quantité d'eau nécessaire à la croissance de la plante et la quantité d'eau disponible dans son environnement, sachant que la réserve d'eau utile pour la plante est la quantité d'eau du sol accessible par son système racinaire (**Laberche, 2004**).

Le stress hydrique est l'un des stress environnementaux les plus importants, affectant la productivité agricole autour du monde (**Boyer, 1982**). Elle occupe et continuera d'occuper une place très importante dans les annales de l'économie agricole. C'est un problème sérieux dans beaucoup d'environnements arides et semi-arides, où les précipitations varient d'une année à l'autre et où les plantes risquent de manquer d'eau à long terme ou moins (**Boyer, 1982**). En effet, on assiste à un stress hydrique lorsque la demande en eau dépasse la quantité disponible pendant une certaine période ou lorsque sa mauvaise qualité en limite l'usage (**Madhava Rao et al., 2006**).

1.2. Effet du stress hydrique sur le développement des plantes

L'eau dans la plante

La richesse en eau des plantes est variable selon les espèces, les organes et les milieux de vie. En effet, une salade peut contenir 90 à 93% d'eau, une feuille est composée souvent de 80 à 90% d'eau et le bois fraîchement coupé peut renfermer 30 à 50 % d'eau (**Leclerc, 1999**).

Les rôles multiples assurés par l'eau au sein des plantes en font le premier facteur limitant leur fonctionnement. Parmi ces rôles, nous pouvons citer (**Laberche, 2004**) :

Elle aide à maintenir la structure cellulaire, en particulier la structure colloïdale du cytoplasme, elle est le siège de réactions métaboliques, elle interfère avec les réactions métaboliques comme l'hydrolyse ou la photosynthèse, donc en ce sens c'est une plante alimentaire. Elle gonfle les cellules, qui à leur tour gonflent les tissus et les organes. Il fournit des nutriments minéraux et des produits du métabolisme. En le rejetant dans l'atmosphère sous forme de vapeur, il emprunte sa chaleur latente de vaporisation aux végétaux. L'eau permet de résister au rayonnement solaire et aux divers réchauffements climatiques.

1.3. Effet du stress hydrique sur la germination

En absence d'humidité suffisante, la graine même si elle est correctement placée dans le sol, elle n'évolue pas, retardant ainsi, la levée de la culture, et en cas de persistance de sécheresse, la situation peut se traduire par une absence de levée (**FELIACHI et al., 2001**).

La sécheresse est l'un des principaux facteurs environnementaux qui affecte grandement la germination des espèces cultivées et réduit leur survie dans les premiers stades de développement. Durant cette phase, le métabolisme des glucides est fortement affecté (INGRAM *et al.*, 1996) en perturbant les fonctions enzymatiques impliquées dans le processus. Il a été démontré que la glycéraldéhyde.3.déshydrogénase cytoplasmique est fortement induite par la privation d'eau, qui est à l'origine de modifications de l'acuité glycolytique (VELASCO *et al.*, 1994).

De nombreux gènes contrôlant le métabolisme des monosaccharides sont régulés par des modifications de l'hydratation cellulaire en amont. Bien que l'hydrolyse de l'amidon et la libération de sucres réducteurs d'énergie soient des étapes essentielles du processus de germination, la disponibilité des glucides à ce stade assure indirectement une protection contre le manque d'humidité. Ils constituent les principaux agents osmotiques impliqués dans l'osmo régulation, assurant les principales macromolécules membranaires protectrices (BRAY *et al.*, 1989).

1.4.Effet du stress hydrique sur les traits morphologiques

L'insuffisance hydrique, continu ou temporaire, limite la croissance et la répartition de la végétation naturelle ainsi que le rendement des plantes cultivées, plus que tout autre facteur environnemental (Shao *et al.*, 2008). En effet, la croissance est l'un des processus physiologiques le plus sensible à la sécheresse. De nombreuses adaptations sont conditionnées directement (vitesse de croissance) ou indirectement (réduction du nombre d'organes portant des feuilles) par le déficit hydrique. Sur le plan quantitatif et qualitatif, la croissance des plantes dépend de la division et la différenciation cellulaire, et tous ces événements peuvent être due aux stress hydrique (Correia *et al.*, 2001 ; Cabuslay *et al.*, 2002) dépend de la division et la différenciation cellulaire, et tous ces événements peuvent être due aux stress hydrique (Correia *et al.*, 2001 ; Cabuslay *et al.*, 2002).

Le stress hydrique réduit considérablement l'expansion des cellules et la croissance cellulaire en raison de la réduction de la pression de turgescence. Il réduit significativement la croissance des racines en longueur ainsi que leur biomasse (Nativ *et al.*, 1999 ; Marron *et al.*, 2002, Kusaka *et al.*, 2005).

La longueur des tiges est également limitée sous déficit hydrique (Pita *et Pardes*, 2001 ; Marron *et al.*, 2002). De plus, Le nombre de ramifications et le nombre d'organes primaires de la tige est considérablement réduit (Lecoeur *et al.*, 1995 ;Bélaygue *et al.*, 1996).

Le déficit hydrique peut réduire le nombre des feuilles par plante, la taille des feuilles ainsi que leur longévité par la baisse du potentiel hydrique du sol, ce qui influence négativement la surface foliaire assimilatrice.

2. Mécanisme d'adaptation des plantes au stress hydrique

D'un point de vue physiologique, la résistance d'une plante au stress hydrique peut être définie par sa capacité à survivre et à se développer, et d'un point de vue agronomique, par l'obtention de rendements plus élevés que les plantes sensibles (**Madhava Rao et al., 2006**).

La résistance globale des plantes au stress hydrique se manifeste par de nombreuses modifications phénologiques, anatomiques, morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui interagissent pour maintenir la croissance, le développement et la production (**Hsissou, 1994**). Pour lutter contre la pénurie d'eau, les plantes développent plusieurs stratégies d'adaptation qui varient selon les espèces et les conditions environnementales (fuite, évitement et tolérance) (**Turner, 1986**).

2.1. Adaptation phénologique

Pour éviter les périodes difficiles de croissance et de développement, certaines variétés achèvent leur cycle de développement avant les pénuries d'eau. La précocité est donc un mécanisme important pour éviter le stress hydrique en fin de cycle (**Ben Naceur et al., 1999**).

Dans ces conditions, les paramètres phénologiques ou précoces d'adaptation définissent le cadre de la période par rapport aux contraintes environnementales (**Ben Naceur et al., 1999**).

Assurer une meilleure efficacité de l'eau dès le début. En effet, en produisant la biomasse la plus élevée, les génotypes à croissance rapide et précoce utilisent mieux l'eau disponible et sont moins exposés aux stress environnementaux que les génotypes tardifs (**Bajji, 1999**). En fait, les variétés à taux de croissance élevé ont la capacité de mieux utiliser les ressources nutritives à la fin du cycle de développement, lorsque ces ressources deviennent limitées (**Poorter, 1989**). C'est l'une des caractéristiques les plus importantes des plantes pour l'adaptation au stress hydrique (**Ben Salem et al., 1997**).

2.2. Adaptation morphologique

Selon la stratégie d'adaptation de chaque espèce ou génotype, les effets du stress hydrique conduisent à des changements morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et réduire la transpiration et la compétition pour les assimilats entre les organes. Ces modifications affectent les sections aériennes ou souterraines (**Bajji, 1999**).

3. Tolérance au stress hydrique

La tolérance est une stratégie qui permet aux plantes de maintenir leurs fonctions physiologiques, malgré la détérioration de leur état hydrique. Le maintien du gonflement en l'absence d'eau ralentit la fermeture des stomates pour maintenir le volume des chloroplastes et réduire la brûlure des feuilles (**Passioura, 2006**).

La tolérance à la sécheresse est la capacité d'une plante à pousser et à fournir des rendements satisfaisants dans des zones affectées par des pénuries d'eau occasionnelles (**Chaves et al., 2002, Tardieu et al., 2006**).

La tolérance à la sécheresse est le résultat de mécanismes physiologiques, biochimiques et moléculaires complexes. L'expression de différents gènes et l'accumulation de divers osmolytes (proline, sucres solubles, etc.) ainsi qu'un système antioxydant efficace sont souvent les principaux mécanismes de tolérance à la carence en eau (**Tardieu, 2006**). Les différents mécanismes qui maintiennent la tolérance à la sécheresse à fort potentiel hydrique sont principalement :

- ✓ Le taux d'absorption d'eau augmente,
- ✓ Réduction de la perte d'eau par transpiration grâce à des caractéristiques morphologiques adaptatives

La tolérance à la sécheresse est un mécanisme par lequel les plantes maintiennent un métabolisme stable en présence d'un potentiel hydrique foliaire réduit. Le maintien du gonflement cellulaire dû à une diminution du potentiel hydrique associée à une diminution du potentiel osmotique assure le maintien de nombreuses fonctions importantes de la plante.

4. Réponse des plantes au déficit hydrique

Lorsque la réserve d'eau disponible est atteinte, la plante détecte un manque d'eau et la plante doit puiser dans sa réserve. Pour faire face à cette limitation, les plantes disposent de plusieurs stratégies pour faire face aux variations de la disponibilité en eau. Ces différentes stratégies varient selon les espèces végétales, l'intensité et la durée des changements de régime hydrique, et reposent sur la capacité des plantes à modifier leurs mécanismes d'acquisition de l'eau et à maintenir leurs fonctions physiologiques (**Morgan, 1984**). Ces stratégies de réponse vont de la résistance (esquive, évitement et tolérance) jusqu'au recouvrement post.stress .

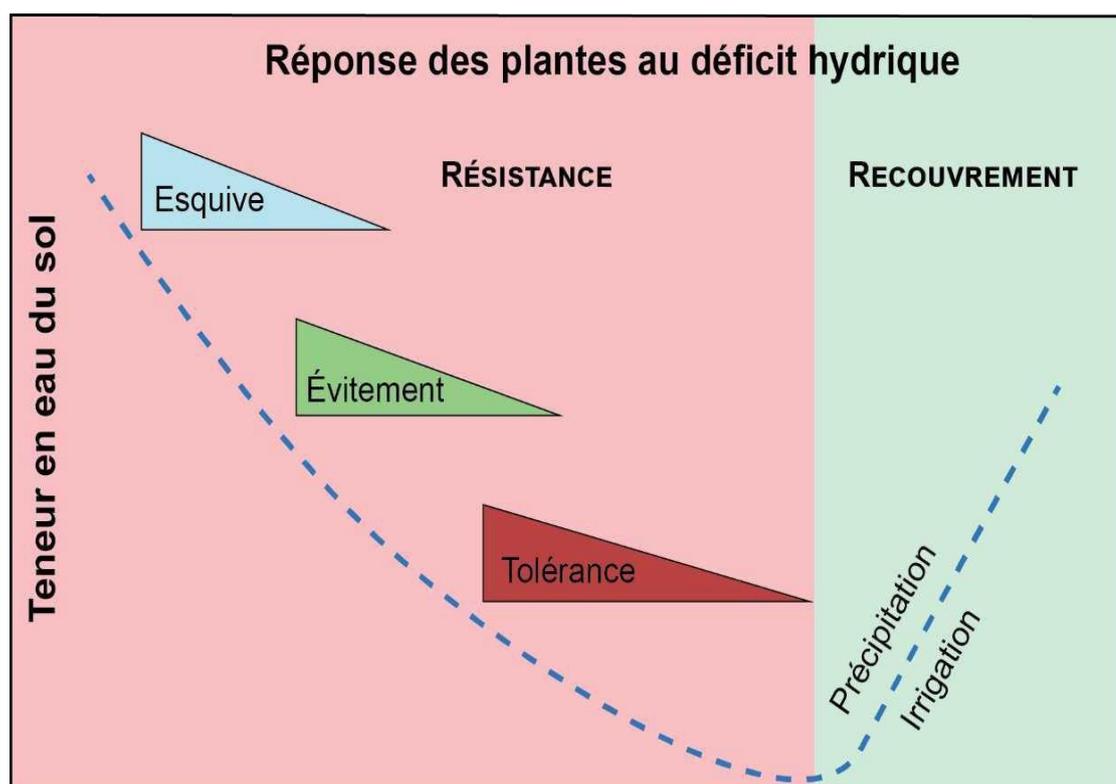


Figure N°14 : Les stratégies de réponse des plantes au déficit hydrique. Figure modifiée à partir de (Chen *et al.*, 2016).

➤ L'esquive ou l'échappement correspond à la capacité d'une plante à boucler son cycle de croissance pendant les périodes favorables (ex: plantes d'éphémères dans les zones désertiques). Les stades de développement les plus sensibles (germination, floraison, fructification, etc.) surviennent pendant les périodes de moindre risque de stress, Ce qui permet aux plantes de ne pas être directement exposées au stress hydrique (Yıldırım et Kaya, 2017).

➤ L'évitement correspond à la capacité des plantes à vivre des périodes de stress en favorisant la limitation des pertes en eau et en évitant la déshydratation des tissus. La perte d'eau peut être atténuée par plusieurs mécanismes, d'abord par la régulation des stomates pour contrôler la transpiration,

➤ La tolérance a la sécheresse est l'aptitude de la plante à surmonter une dégradation de son état hydrique et supporter des niveaux de déficit hydrique élevés, en diminuant le potentiel hydrique, en maintenant la turgescence par l'ajustement du potentiel osmotique et la réduction de la taille des cellules. Elle comprend également la capacité d'élimination des substances nocives par l'accumulation des solutés compatibles tels que la proline (Luo, 2010).

➤ La récupération post.stress fait référence à la capacité des plantes à récupérer après une période de sécheresse sévère en réparant les tissus endommagés et en réajustant le métabolisme (Schneider et al., 2019). Ce processus peut prendre des jours, voire des semaines (Brodrribb et al., 2010), voire des mois, voire des années (Zeppel et al., 2008).

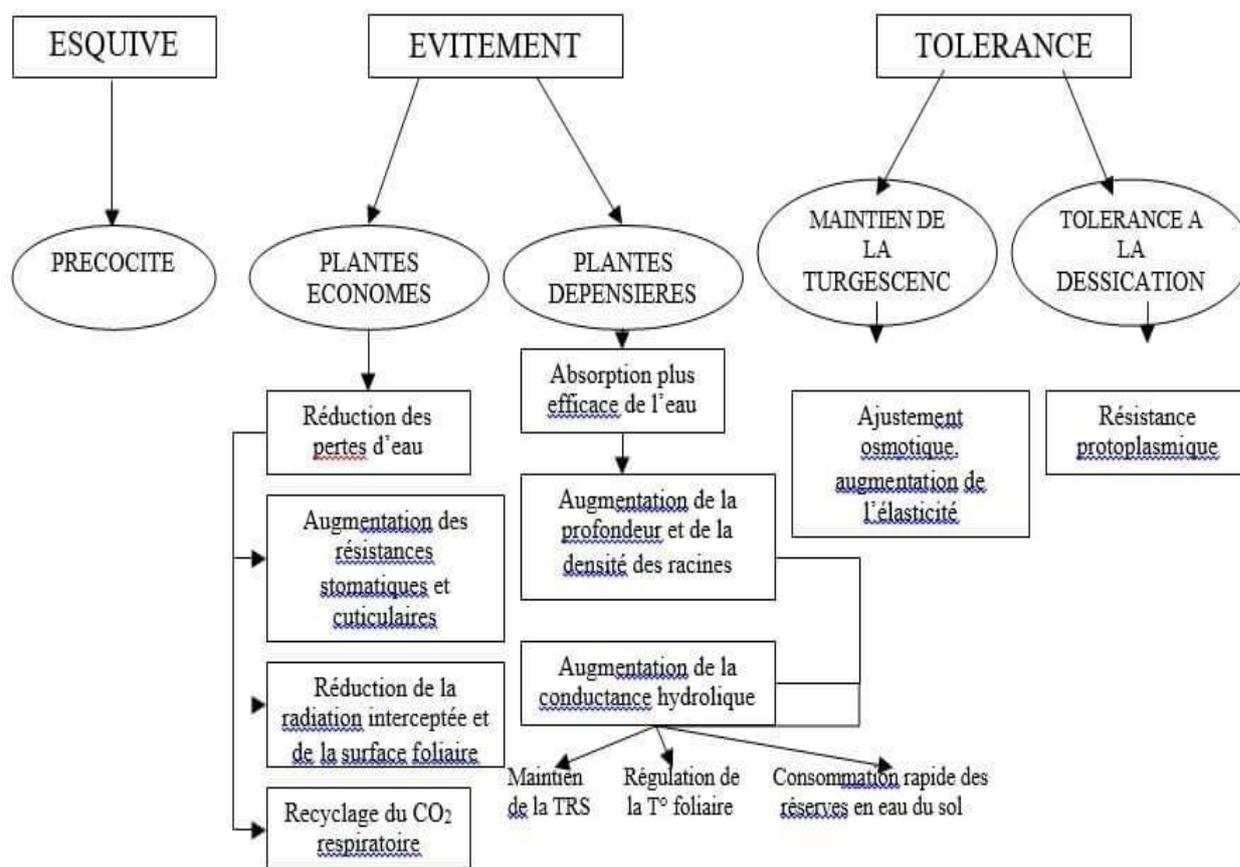


Figure N°15: Mécanismes de résistance des plantes à la sécheresse (NOURI, 2002).

5.Effet du stress osmotique sur la germination

5.1.Définition de PEG 6000

Les molécules de polyéthylène glycol avec MP ≥ 6000 (PEG 6000) sont des chaînes inertes, non ioniques et peu perméables qui sont souvent utilisées pour induire un stress hydrique et maintenir un potentiel hydrique uniforme tout au long de l'expérience (Hohl et al. Peter, 1991, Lu et Neumann, 1998).

5.2.Effet de la PEG 6000

Le PEG est principalement utilisé pour identifier des informations concernant le stress hydrique chez les plantes (**Turkan et al., 2005, Landjeva et al., 2008**). Le PEG n'est pas connu pour pénétrer l'espace de la paroi cellulaire (**Rubinstein, 1982**), et les molécules de PEG avec un poids moléculaire supérieur à 6000 sont peu susceptibles d'être absorbées (**Tarkow et al., 1996**).

Le polyéthylène glycol (PEG.6000) génère un stress osmotique qui réduit le taux de photosynthèse, ce qui affecte plus tard la teneur en chlorophylle.a et en chlorophylle.b, tout stress sur le mécanisme d'effets de la plante de la photosynthèse au niveau cellulaire qui comprend les pigments, les photosystèmes, le système de transport d'électrons et voies de réduction du CO₂ et réduire la photosynthèse (**Meher et al.,2018**)

PARTIE
EXPÉRIMENTALE

Chapitre IV
Matériel et méthode

Objectif d'étude

L'objectif de ce travail étaient de réaliser une étude de suivi de la germination et la croissance de la graine de caroubier (*Cératonia silique L*), sous l'influence de stress osmotique à l'aide de PEG 6000 avec des différentes doses, ainsi que d'évaluer la diversité du caroubier par différentes caractéristiques biométriques des graines et des gousses et connaître les mécanismes de tolérance au cette contrainte.

1- Préparation des échantillons

Nous avons collecté quatre échantillons de gousses de caroube (production de l'année dernière) à différents endroits de Wilayat, Tissemsilt (Bani Amar, Lazharia, Larbaa et Khemisti) (Figure N°16).



Figure N° 16 : les quatre échantillons de caroube (Azilil et Morsli, 2022).

2- Paramètres biométriques

2.1. Les mesures biométriques des gousses

Nous avons choisis 25 gousses de chaque station en fonction des critères suivants : gousses saines, pleinement matures et de même taille et couleur.



Figure N°17 : Exemple sur le choix des 25 gousses (Azilil et Morsli, 2022).

Nous avons pris plusieurs paramètres biométriques essentielles comme suit :

La longueur, la largeur et l'épaisseur et le poids de 25 gousses pour toutes les échantillons par l'utilisation d'un pied à coulisse, mètre ruban et une balance de précision. (Figure N° 18)



Figure N° 18: Les outils utilisés dans les mesures biométriques des gousses (Azelil et Morsli, 2022).

2.2. Les mesures biométriques des graines

Après l'extraction des graines de 25 gousses de chaque échantillon nous avons calculé :

- Le nombre des graines par gousse ;
- Le nombre des graines avortées par gousse ;
- Le poids des graines de chaque gousse à l'aide d'une balance de précision.



Figure N° 19 : L'extraction des graines de caroube et leurs pesées (Azelil et Morsli, 2022).

3- Test de germination

3.1. Préparation des graines pour les tests de germination

Au niveau du laboratoire de la faculté des Sciences et Technologies (Ahmed ben Yahia Al. Wanchariss , Université de Tissemsilt), le test de germination des graines de caroube sous stress osmotique PEG6000 a été réalisé.

Nous avons prélevé 15 graines matures saines de chaque échantillon et effectué des expériences de germination de dix jours à différentes doses de pression osmotique PEG 6000.

Les graines sont stérilisées avec de l'eau de Javel diluée 10x , trempées pendant une minute, puis rincées plusieurs fois à l'eau distillée pour éliminer toute trace de chlore, puis en les séchant par le papier absorbant (**Figure N°20**) .



Figure N°20: désinfection des graines de caroube par l'eau de javel diluée (**Azelil et Morsli, 2022**).

Nous utilisons un coupe.ongles pour la scarification mécanique afin de faciliter la pénétration de l'eau dans les graines.

Les graines pour les expériences de germination ont été divisées en 15 lots de graines disposés dans 48 boîtes de Pétri de 10 cm de diamètre tapissées de deux couches de papier absorbant, et chaque échantillon a été étiqueté (**figure N°21**).

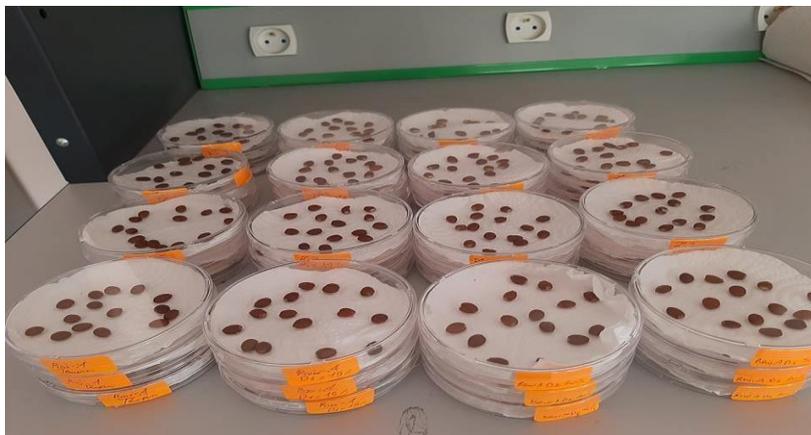


Figure N°21: disposition des graines dans la boîte de pétri (**Azelil et Morsli, 2022**).

3.2. Préparation des doses de PEG 6000

3.2.1. Matériels utilisés

Pour la préparation des solutions de différentes doses de PEG6000, on utilise :

- ❖ Produit de PEG 6000 ;
- ❖ Balance de précision ;
- ❖ 03 erlenmeyer jugées ;
- ❖ Spatule ;
- ❖ Bécher de 100 ml ;
- ❖ Eau distillé.

Trois concentrations différentes de PEG 6000 ont été préparées (15% . 20% . 30%), ce qui signifie que 100ml d'eau distillée contient (15mg – 20mg – 30mg) de PEG6000.



Figure N° 22: Préparation des Doses de PEG6000 (Azilil et Morsli,2022).

Pour le test de germination, nous avons utilisé le protocole suivant (Tableau N°05)

Tableau N°05 : Le protocole de préparation des graines du caroubier pour le test de germination.

Sites	Témoin scarifié	Dose 01 (15%)	Dose 02 (20%)	Dose 03 (30%)
Lazharia	15 graines × 3 boîte pétri			
Larbaa	15 graines × 3 boîte pétri			
Beni Amar	15 graines × 3 boîte pétri			
Khemisti	15 graines × 3 boîte pétri			

Dans chaque boîte de pétri on met 10 ml d'eau de robinet pour les graines témoins et le même volume des différentes doses de PEG6000 pour les graines à un stress hydrique. Les boîtes de pétri sont placées dans une étuve a température de 28°C.



Figure N°23: Répartition des boîtes de pétri dans l'étuve (Azilil et Morsli, 2022)

3.2.2. Effet du stress osmotique sur la germination

Les graines de *C. siliqua* L. prétraitées par grattage manuel ont été trempées dans des solutions de PEG6000 à 15 %, 20 % et 30 %, correspondant à des potentiels osmotiques de .2,78, .4,65 et .9,80 bar, respectivement, à un taux de chaque concentration 15 des graines. Après 2 h d'absorption, les graines de chaque concentration ont été mises à germer dans des boîtes de pétri (8,5 cm de diamètre) tapissées de deux couches de papier filtre saturées de la solution d'absorption. Placer la boîte de Pétri dans un four à 28 ° C à l'abri de la lumière. Les graines germées ont été comptées quotidiennement pendant 10 jours.

Le nombre de graines germées a été enregistré et exprimé en pourcentage. Calculer la précocité de germination, la vitesse de germination et le taux de germination

Le potentiel osmotique de la solution de PEG6000 a été calculé selon l'équation empirique, développé par Michel et Kaufmann (1973) :

$$Y_s = (1,18 \times 10^{-2}) C - (1,18 \times 10^4) C^2 + (2,67 \times 10^{-4}) CT + (8,39 \times 10^{-7}) C^2 \times T$$

Tableau N°06 : les doses de PEG utilisées dans le test de germination et sons pression osmotiques.

Les doses de PEG 6000 (%)	Pressions Osmotique (bars)
15%	2,78
20%	4,65
30%	9,80

4- Paramètres de germination

Pour comprendre l'effet de l'utilisation du PEG6000 sur le stress hydrique, il est nécessaire d'étudier les paramètres suivant :

4.1. Précocité de germination

En général, chaque espèce dispose d'une précocité de germination spécifique à sa nature, car même placée dans les mêmes conditions expérimentales, le début d'apparition de la radicule à travers la membrane n'aura pas lieu en même temps chez toutes les graines (**RENARD, 1975**).

Ce paramètre est déterminé lorsque nous observons les premières graines germées.

Dans ce cas, la précocité de la germination est exprimée par le taux des premières graines germées correspondant à l'intervalle de temps entre le semis des graines et les premières graines germées (**BELKHODJA, 1996**).

4.2. Vitesse de germination ou coefficient de Kotowski

Il caractérise l'évolution du taux de germination dans le temps depuis l'émergence de la première extrémité de la radicule d'une graine jusqu'à ce que la germination soit stable.

Il peut être exprimé comme suit :

- Le taux de germination obtenu à un moment donné.
- Le temps nécessaire à l'obtention de 50% de germination.
- Le coefficient de **KOTOWSKI (1926)** donne un aperçu sur la vitesse de germination des graines. Il a été déterminé par la méthode suivante :

$$\text{Coefficient de Kotowski} = C_v = 100 \times [(N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n) / (N_1 T_1 + N_2 T_2 + N_3 T_3 + \dots + N_n T_n)].$$

Où N est le nombre de graines germées chaque jour (le 1^{er}, le 2nd jusqu'au n jour) ;

T durée en jours correspondant à N .

$$T_m = (N_1T_1 + N_2T_2 + N_3T_3 + \dots + N_nT_n) / (N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n)$$

N_1 : Nombre de graines germées temps T_1

N_2 : Nombre de graines germées au temps T_2

N_3 : Nombre de graines germées au temps T_3

N_n : Nombre de graines germées au temps T_n .

4.3. Durée de germination

Lorsque les graines placées dans des conditions optimales ne germent pas immédiatement après le semis, on dit qu'elles représentent une germination retardée (**COME, 1970**). Selon **AISSA (1981)**, l'état de dormance des graines semble dépendre de l'arbre à graines. Toujours selon les mêmes auteurs, la durée de germination varie selon la biologie de la graine, la technique utilisée et les conditions de germination.

Le temps de germination est le temps (en jours) entre la germination de la première graine et la fin de la germination.

4.4. Taux final de germination

A partir du nombre total de graines utilisées (N_t), on calcule le pourcentage de graines germées (N_i) selon la relation suivante :

$$T_g = N_i \times 100 / N_t \quad (T_g : \text{taux de germination}).$$

5- Paramètre biométrique de radicule

Pour connaître le comportement des graines dans un milieu stressé il est nécessaire de mesurer la longueur des radicules.

Nous choisissons de chaque boîte de pétri 3 graines où leurs radicules sont bien développés pour les quatre stations et on les mesure à l'aide d'une règle.



Figure N° 24 : développement des radicules dans des prétraitements différents (Azilil et Morsli, 2022) .

6- Test de croissance des plantules de caroubier

6.1. Repiquage des graines germées

Le repiquage des graines germées de caroube a été réalisé par un tirage au sort en trois répétitions ; où chaque répétition est représentée par une graine germée. Les graines ont été repiquées dans 144 pots ; où chaque pot a une dimension de 8 cm de profondeur et 6.5 cm de diamètre, contenant un mélange de sable et de tourbe.

L'irrigation a été effectuée quotidiennement avec des quantités égales d'eau. La température de laboratoire n'était pas contrôlée, elle variait en fonction des conditions climatiques, le suivi de croissance a été effectué à partir du 13 mars 2022.



Figure N° 25 : Transplantation des graines germées dans les pots (Azilil et Morsli, 2022)



Figure N° 26 : suivi de la croissance des jeunes plantules (Azilil et Morsli, 2022).

6.2. Paramètres de suivi de la croissance des plantules

Pour déterminer à quelle vitesse ont commencé la croissance, nous avons suivi la date d'apparition de la première feuille et de la deuxième feuille des quatre provenances étudiées.

La croissance des graines de *Cératonia siliqua L* a été suivie pendant neuf semaines. quatre paramètres ont été mesurés hebdomadairement (Mehari et al., 2005) : longueur de la tige (STL) en cm, mesurée à l'aide d'une règle, diamètre du collet (DC) en mm : à l'aide d'un pied à coulisse numérique (Figure N°27), nombre des feuilles (NbLv), nombre de nœuds (NbNd).



Figure N° 27 : Mesure du diamètre au collet à l'aide d'un pied à coulisse numérique (Azilil et Morsli, 2022).

7- Traitement statistique

Toutes les données ont été soumises à une ANOVA en utilisant deux critères de classification :

- Source de traitement au PEG6000 et test de germination,
- Provenance de la biométrie du pod. Des comparaisons multiples post hoc de moyennes ont également été réalisées à un seuil de 5% selon le test de Duncan pour définir des groupes homogènes. Cette dernière a été réalisée à l'aide du programme GLM (Generalized Linear Models) du logiciel SAS version 9.0.

Chapitre V

Résultats

1. Les paramètres biométriques

1.1. Les mesures biométriques des gosses

1.1.1. Longueur de la gousse (Cm)

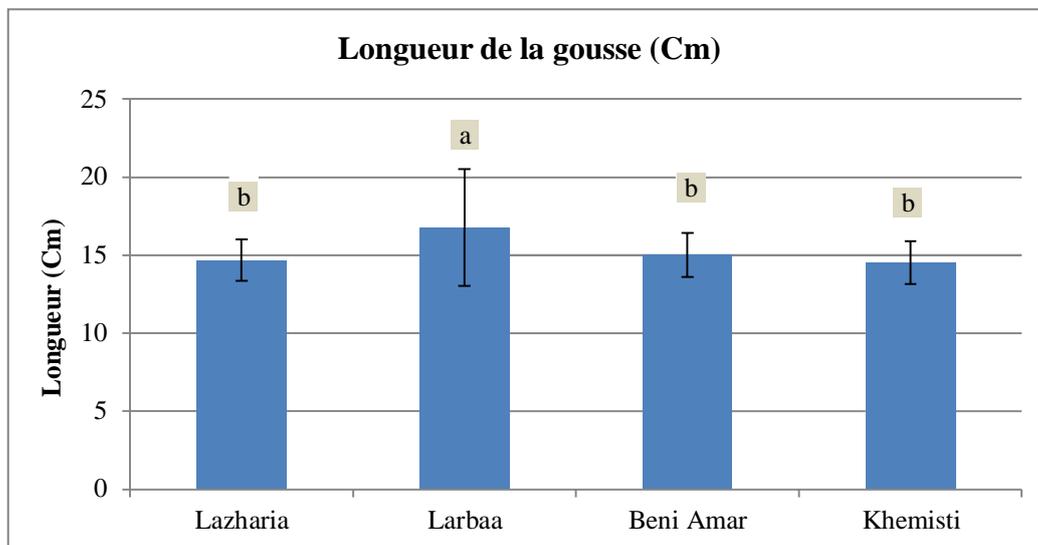


Figure N°28 : Longueur moyenne des gosses.

La Figure N°28 représente la variation de la longueur des quatre échantillons ; nous avons remarqué une différence significative entre les écotypes étudiés, avec un (DDL=3 ; valeur $F=5.28$, $Pr>F=0.0021$), que varie entre (16.76 et 14.52) cm, avec une valeur maximal de 21.1 cm pour le site de Larbaa.

1.1.2. Largeur de la gousse (Cm)

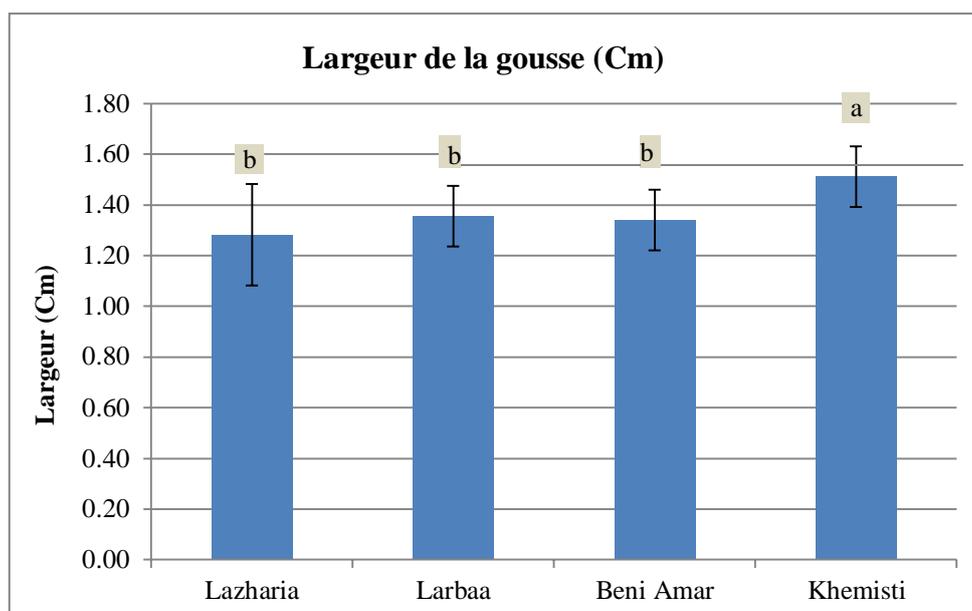


Figure N° 29 : Largeur moyenne des gosses.

On a remarqué une différence significative entre la largeur pour toutes les stations, nous avons enregistré (DDL=3, valeur $F=10.89$, $Pr>F = .0001$), la gousse la plus réduite est enregistré chez la station de Lazharia avec une valeur minimal de 0.4 cm.

1.1.3. Epaisseur de la gousse (Cm)

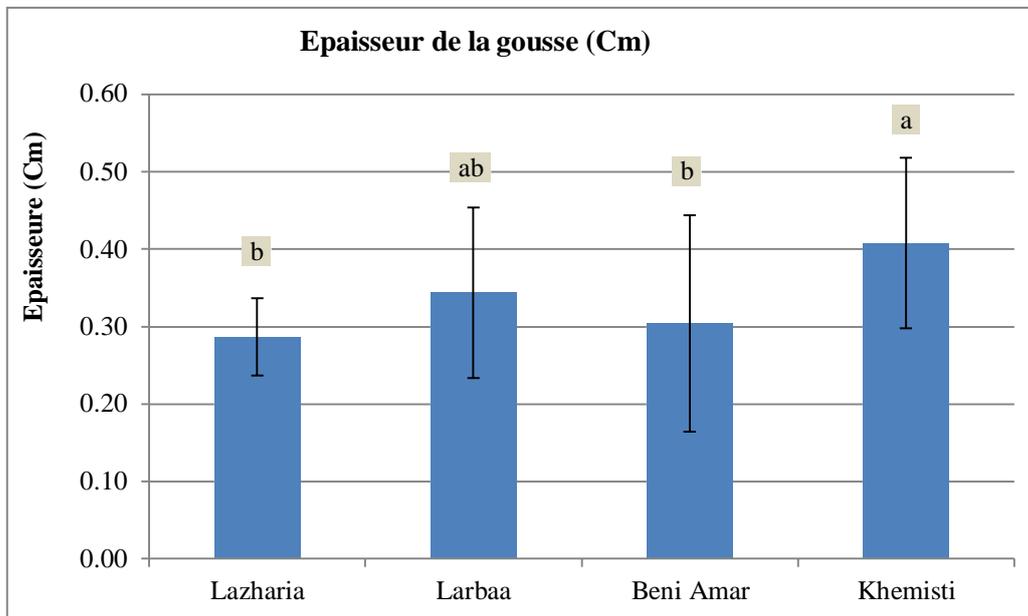


Figure N°30 : Epaisseur moyenne des gousses.

La figure ci-dessus montre la variation de l'épaisseur de la gousse entre les quatre provenances, (DDL=3, valeur $F=3$, $Pr>F = 0.0344$, Où il variait entre 0.29 et 0.41 cm, et donc nous avons remarqué que Khemisti contient la plus grande épaisseur de la gousse.

1.1.4. Poids de la gousse (g)

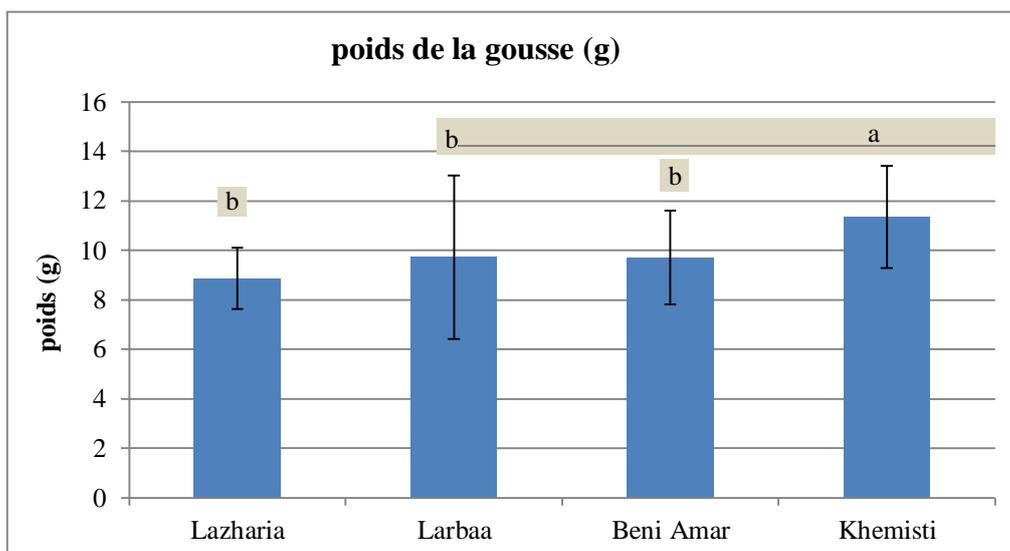


Figure N°31 : Poids moyenne des gousses.

Nous avons constaté que le poids des gousses est varié entre 8,86 g à 11,35 g pour les quatre stations, (DDL=3, valeur $F=5.15$, $Pr>F=0.0024$), nous avons enregistré une valeur maximal dans Khemisti avec 15.38 g, donc il n y a une différence significative.

1.1.5. Nombre de graine par gousse

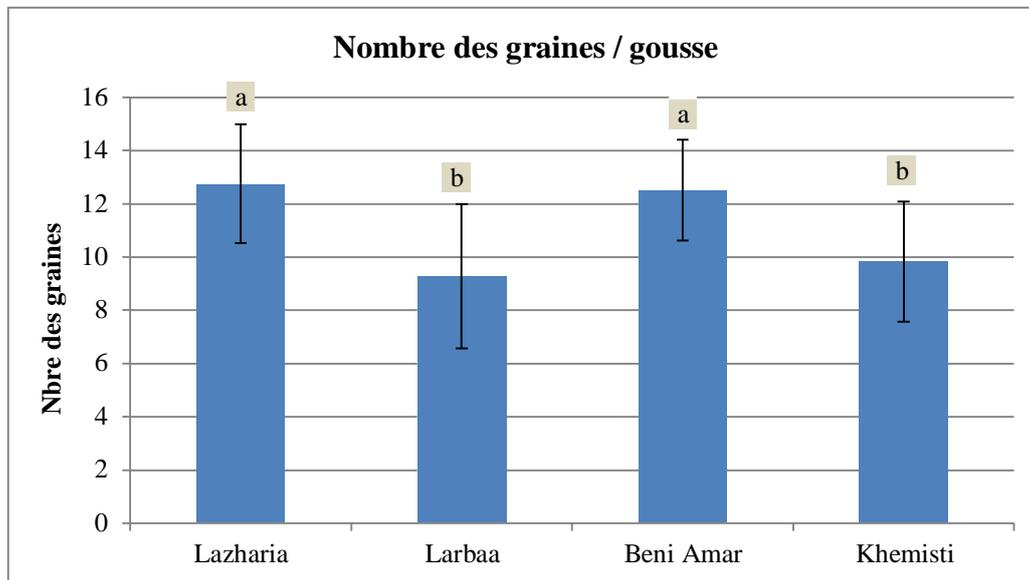


Figure N° 32: Nombre des graines par gousse.

La **figure N°32** montre que le nombre de graine par gousse, On à remarqué (DDL=3, valeur $F=15.26$, $Pr>F= 0.001$) le plus élevé est observé pour la station de Lazharia avec 12,76 graines. Par contre le nombre des graines le plus faible est marqué pour la station de Larbaa, donc il y a une déférence significative.

1-1-6- Nombre des graines avortées par gousse

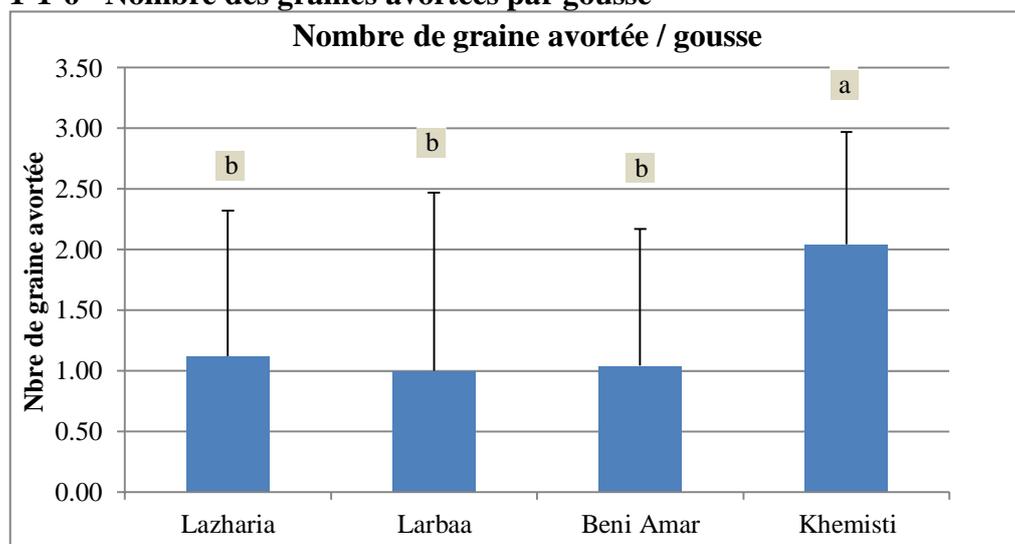


Figure N°33: Nombre des graines avortées par gousse.

On a observé le nombre des graines avortées par gousses est varié entre 1 à 2.04 graines, nous avons enregistré (DDL=3, valeur F=4.26, Pr>F=0.0072), dont la station de Khemisti a été enregistrée une moyenne maximal de 2.04 graines avortées par gousses il y a une déférence significative.

1.1.7. La forme des gousses

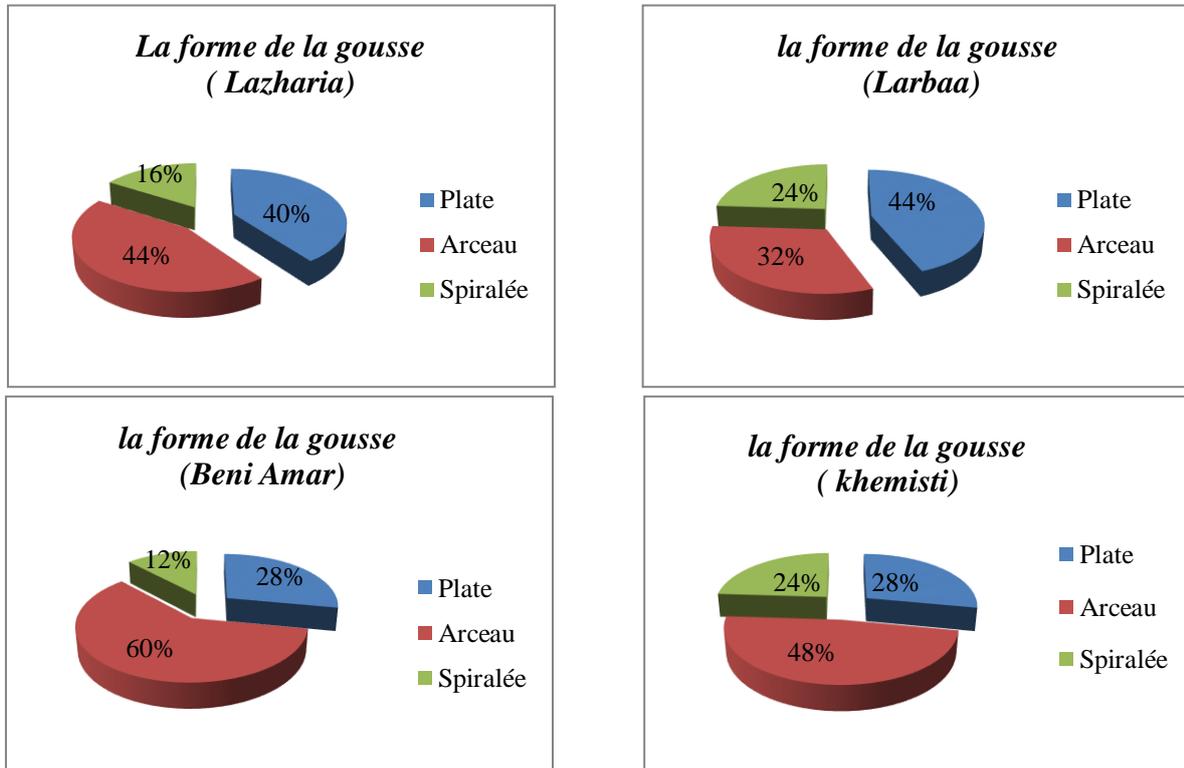


Figure N°34: Les formes des gousses de quatre stations.

Nous avons remarqué que la forme de la gousse n'a pas semblable pour toutes les stations. Elle varie d'une forme arceau, spiralée et plate avec des proportions différentes. la forme la plus dominante est l'arceau pour Lazharia, Beni Amar et Khemisti sauf la station de Larbaa où on a observé que la forme plate qui domine.

1.1.8. La couleur de la gousse/graine

Tableau N°07 : La couleur et la forme des gousses des provenances étudiées.

Station	Lazharia	Larbaa	Beni Amar	Khemisti
Couleur de la gousse	Marron foncé	Sombre	Marron Clair	Marron Chocolat
couleur de la graine	Marron foncé	Sombre	Marron Clair	Marron Chocolat

Le tableau ci-dessus montre que la couleur de la graine liée directement à la couleur de la gousse. Elle diffère d'une station à l'autre.

1.2. Les mesures biométriques de la graine

1.2.1. Poids des graines par gousse (g)

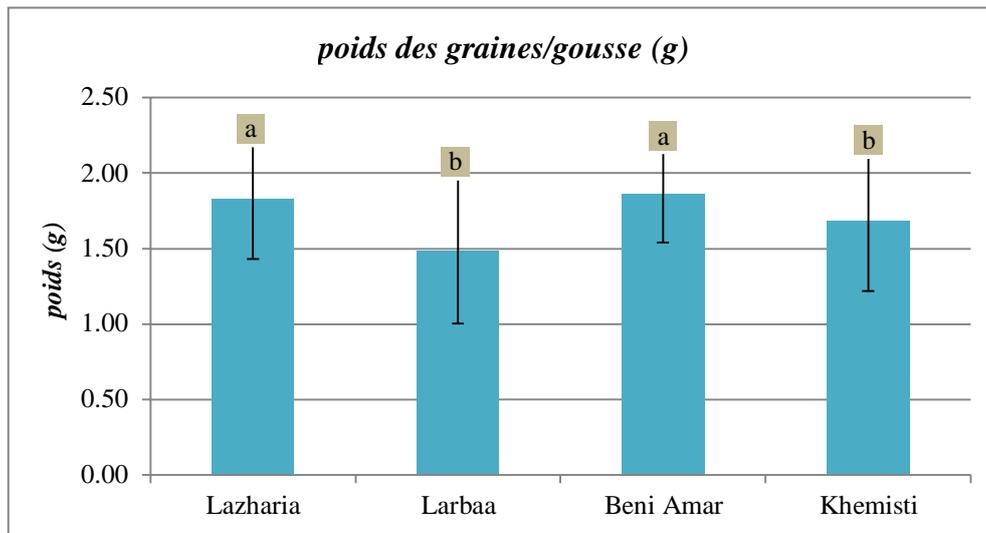


Figure N°35 : poids des graines par gousse.

La figure ci-dessus montre que le poids moyen des graines par gousse On à observé (DDL=3, valeur F=5.23, Pr>F= 0.0022), Où il varie entre 1.48 et 1.86 , le plus lourd est enregistrée pour la station de Beni Amar avec une valeur maximal de 2.51 g. Par contre nous avons remarquée un poids de 0.77 g pour la station de Larbaa, donc il y a une déférence significative.

2. Paramètres de germination

2.1. Précocité de germination

La précocité de germination est le pourcentage des premières graines germées après le semis et dans un moment précis.

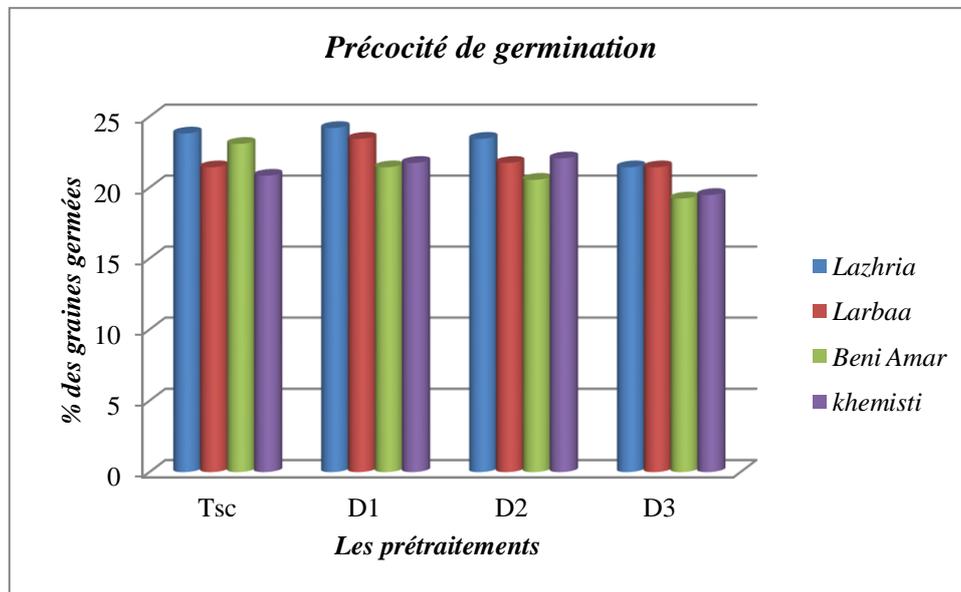


Figure N°36 : Précocité de germination des graines (%) du caroubier.

Selon la **figure N°36**, les graines les plus précoces à germer sont les témoins scarifiées avec un taux varié de 20% à 23,80 % dès le 3^{ème} jours après le semis.

Pour les autres prétraitements, les graines précoces à germer sont celle imbibées dans la solution de PEG6000 à un dose de 15% avec un taux de 21,42 % des graines germées dès le 4^{ème} jours.

2.2. Cinétique de germination

2.2.1. Provenance de Lazharia

La cinétique de germination s'exprime le temps nécessaire pour arriver à un taux de 50 % des graines germée sous pressions osmotiques différents. Nous avons notés que les graines scarifiées ont attient 73.33 % de germination au 4^{ème} jours, suivi par les graines qui sont sous pression de 20% de PEG6000 avec un taux de 66.66 % dans le même jour .

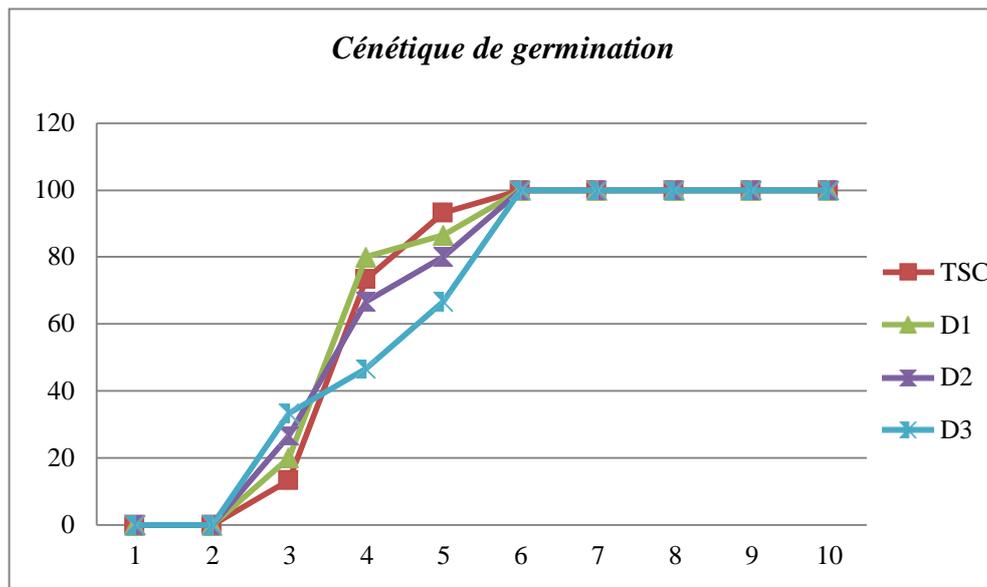


Figure N°37: Cinétique de germination des graines de *Ceratonia siliqua* L(Prov. de Lazzaria).

La progression des taux cumulés des graines pour les témoins scarifiées et stressés évolué durant le 4^{ème} et le 5^{ème} jours presque en parallèle avec un taux de 93.33% pour les témoins scarifiées et de 66% à 80% pour les graines stressées de 15%, 20% et 30% de PEG6000.

Dès le 6^{ème} jour, les courbes de différents pré traitements de la germination se superposent et se stabilise à un taux de 100 % de graines germées.

2.2.2. Provenance de Larbaa

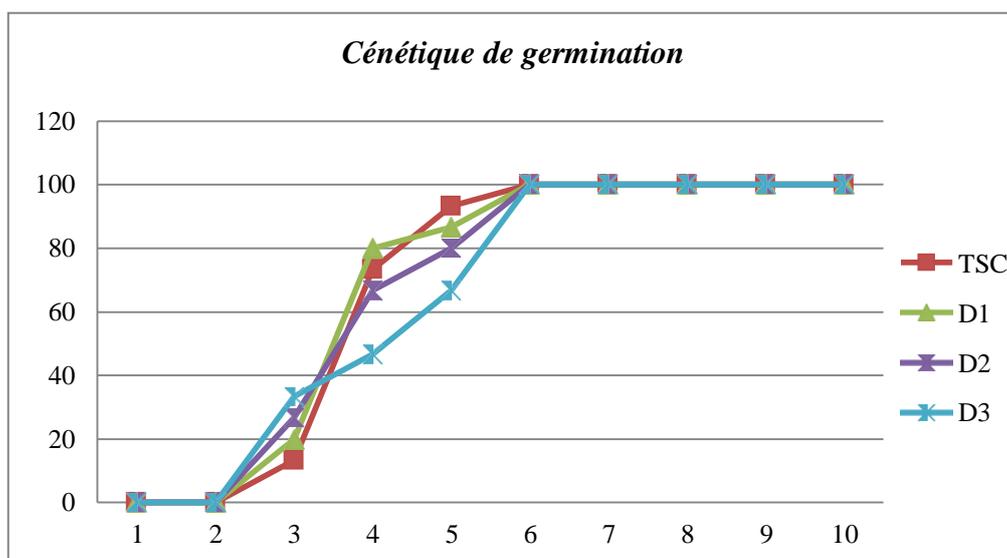


Figure N°38: Cinétique de germination des graines de *Ceratonia siliqua* L(Prov. de Larbaa).

Chez cette provenance, la germination démarre le 3^{ème} jour pour les témoins scarifiées et stressées par PEG6000 avec des taux différents .

L'évolution des taux cumulés des graines germées se superposent en parallèle durant le 4^{ème} et le 5^{ème} jour avec un taux varie de 93.33% pour les témoins scarifiées et de 66.66% à 86.66% pour les autres doses.

Dès le 6^{ème} jour, nous avons remarqués que le taux de germination est arrivé à 100% pour les toutes prétraitements.

2.2.3. Provenance de Beni Amar

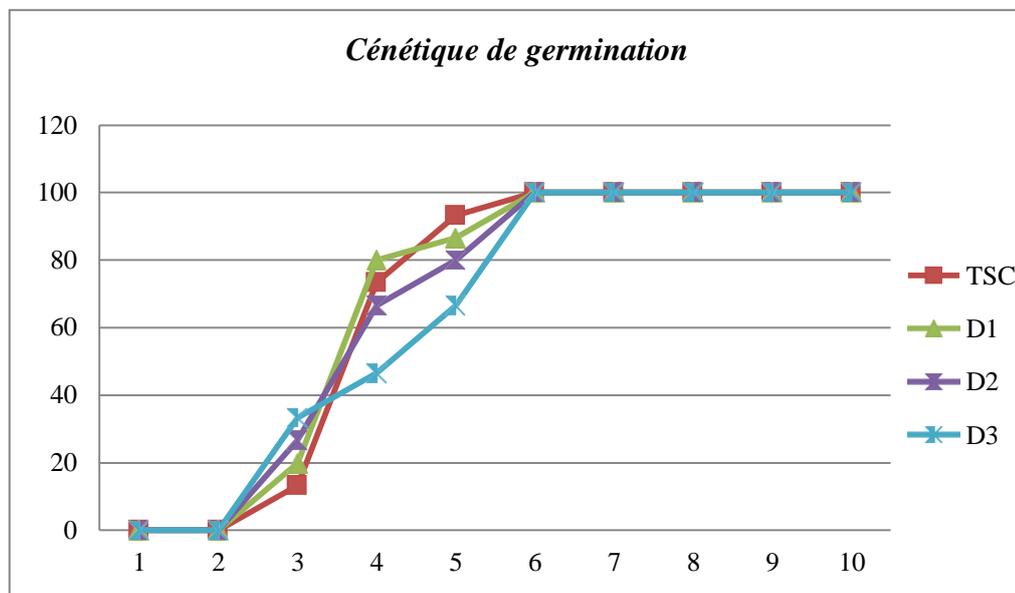


Figure N°39: Cinétique de germination des graines de *Ceratonia siliqua* L.(Prov. de Beni Amar).

Nous avons remarqué que, la germination démarre le 3^{ème} jours après semis pour tout les prétraitements (témoins et stressées).

La progression de la vitesse de germination a été observée dès les 4^{ème} jours, avec des taux de 80% pour les témoins scarifiées et de 66,66% à 86.666% pour les graines trempées dans la solution de PEG 30% et 15% respectivement de PEG 6000.

2.2.4. Provenance de Khemisti

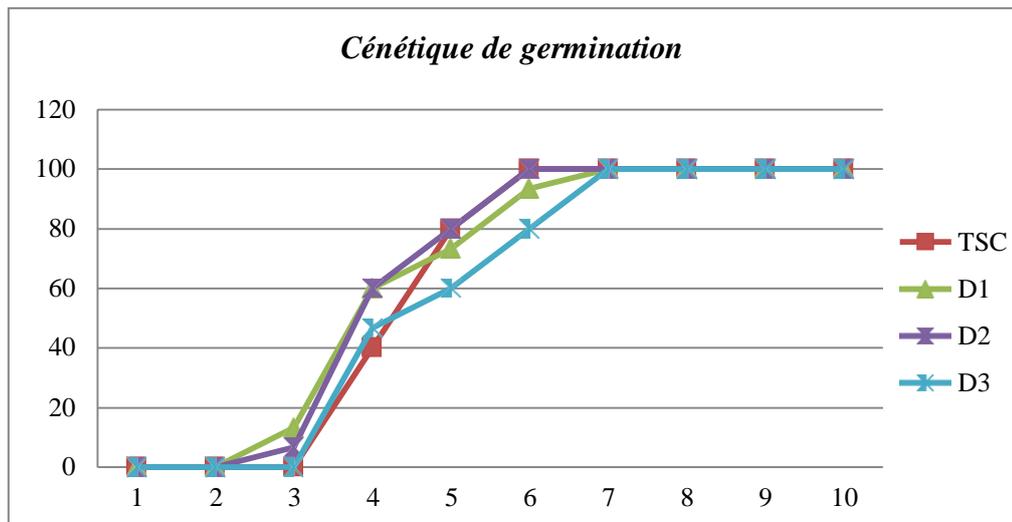


Figure N°40: Cinétique de germination des graines de *Ceratonia siliqua* L(Prov. de Khemisti).

Pour cette provenance, la germination se d’éclanche le 3^{ème} jour pour les graines stressées par 15% et 20% de PEG6000, tandis que elle démarre le 4^{ème} jour pour les témoins scarifiées et les graines imbibées dans la solution de 30% de PEG6000.

2.3. Vitesse de germination

La vitesse de germination est le temps nécessaire de la graine à germer (LANG, 1965), elle s’exprime le temps entre le semis et la fin des germinations.

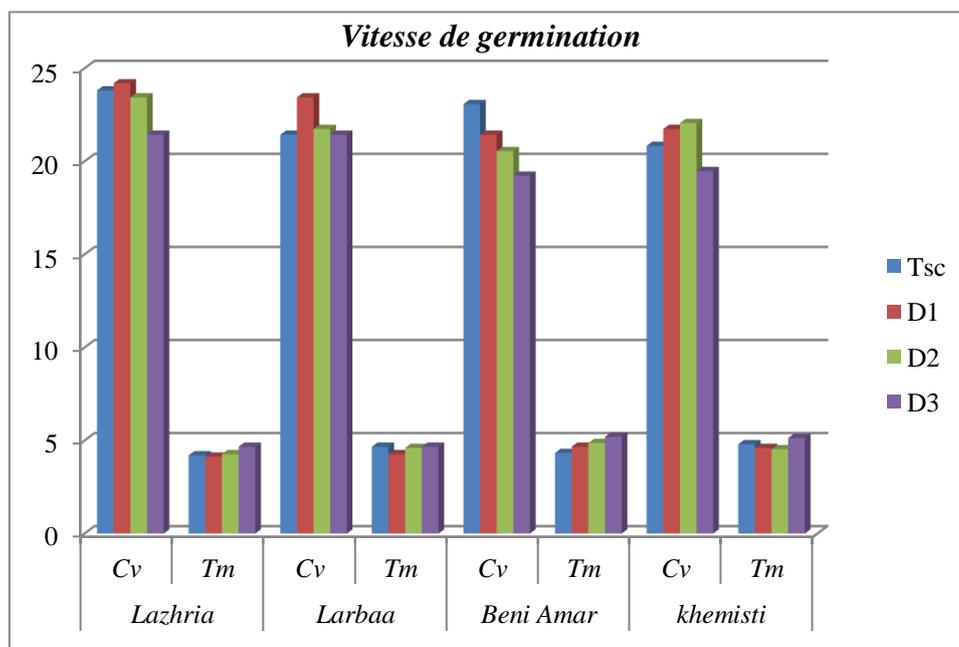


Figure N°41 : Coefficient de vélocité (Cv) et temps moyen de germination (Tm) des graines du caroubier stressé au PEG 6000.

La **figure N°41** montre que le coefficient de vélocité (Cv) le plus élevé est enregistré chez les graines stressées de 20%, 15% de PEG6000 avec des valeurs respectivement 23,43% et 24,19%.

Concernant le temps moyen de germination (Tm), le temps le plus court est enregistré pour les graines sous pression de 15% (4,13 jours) , par contre on a un temps maximal de 5,13 jours pour les graines reçoivent une dose de 30% de PEG6000.

2.4. Durée de germination

La durée de germination est l'intervalle du temps entre le début et la fin de germination.

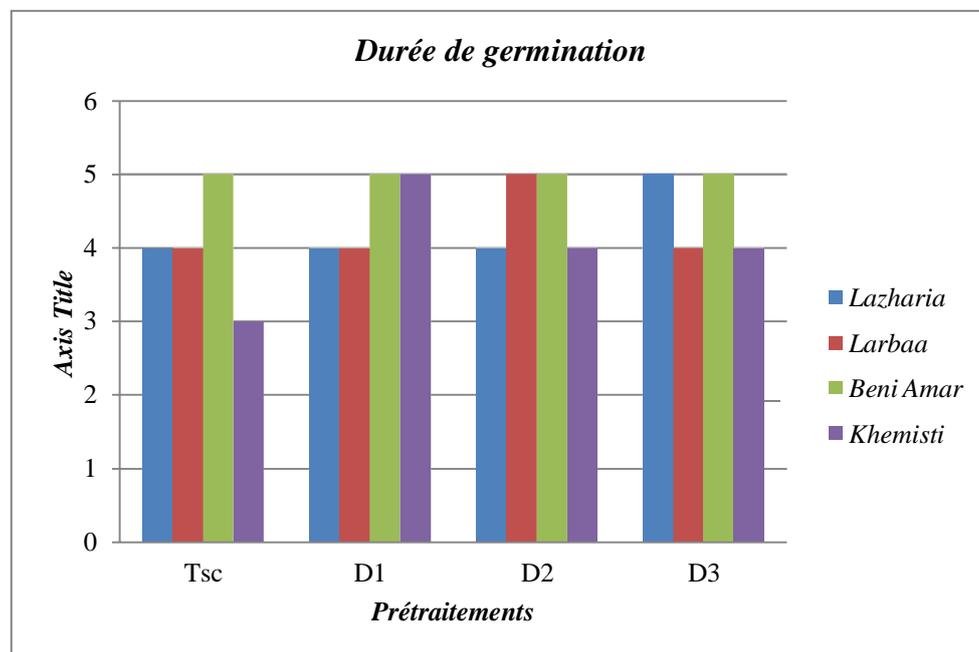


Figure N°42 :La durée de germination .

Nous avons remarqué une durée de germination de 4 jours pour les témoins scarifiées enregistrées pour les trois provenances (Laharia, Larbaa et Beni Amar) sauf khemisti qui nécessite 5 jours pour terminer leur germination , tandis que les autres stressées nécessitent 3 à 5 jours pour terminer leur germination.

2.5. Taux final de germination

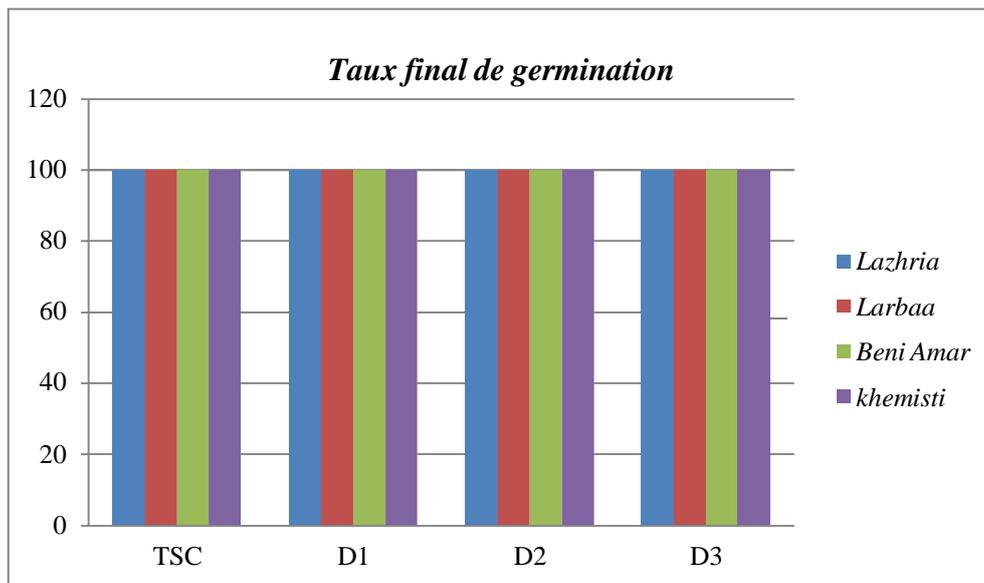


Figure N°43: Taux final de germination.

A la fin de test de germination, nous avons marqués que le taux final de germination des graines de quatre provenances étudiées (Lazharia, Larbaa, Beni Amar et Khemisti) pour les différents prétraitements atteint à 100% sans l'enregistrement des échecs

3. Paramètre biométrique de radicule

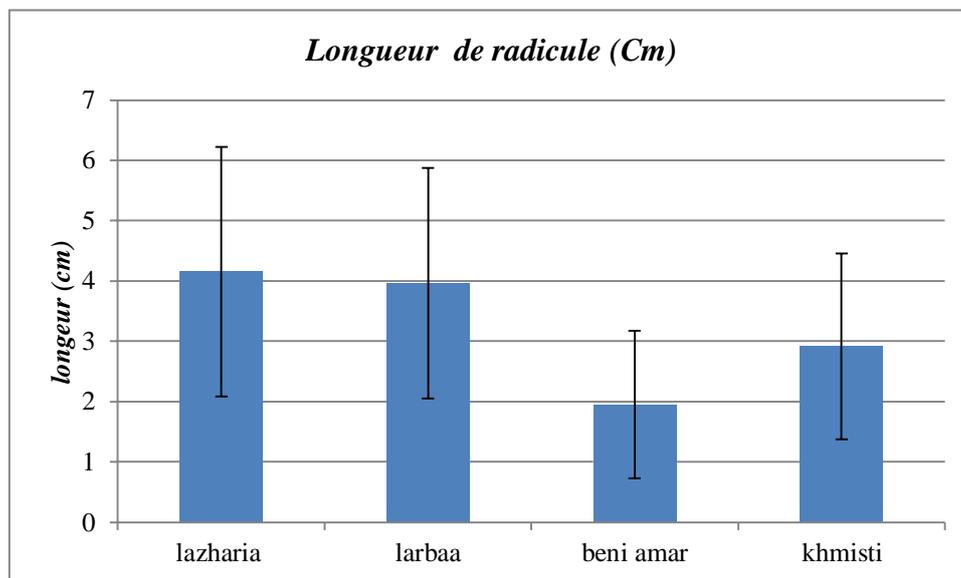


Figure N°44: longueur de radicule de graines germées.

La **Figure N°44** représente la variation de la longueur de radicule des quatre échantillons ; nous avons remarqué une différence significative entre les écotypes étudiés,

avec un (DDL=3 ; valeur F = 21.73, Pr>F= .0001), que varie entre (4.15 et 1.95) cm, avec une valeur maximal de 8.5 cm pour le site de Lazharia.

4. Teste de croissance

4.1. Diamètre du collet (cm)

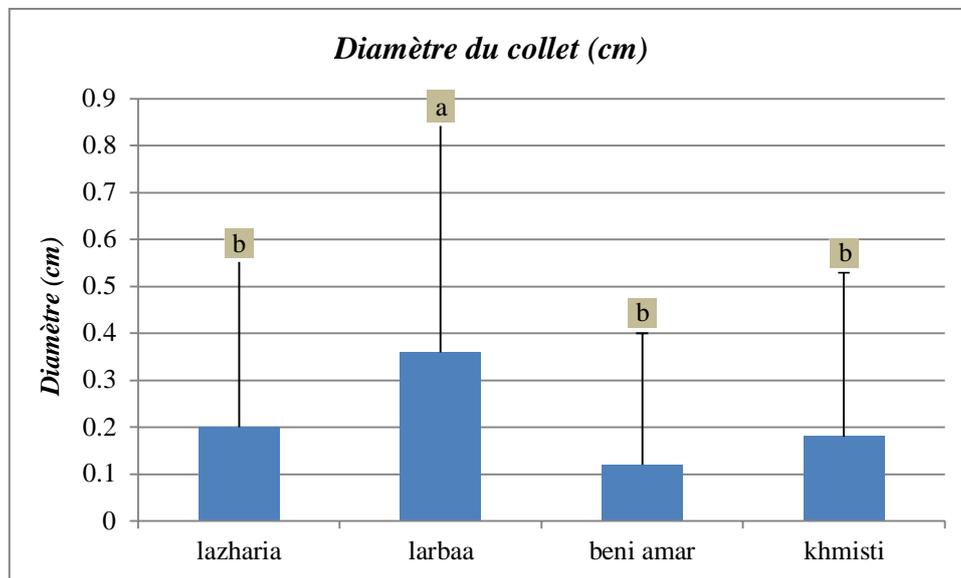


Figure N°45 : Diamètres du collet des plantules du *Ceratonia siliqua* L.

La figure ci-dessus montre la variation de diamètre du collet (cm) entre les quatre provenances, (DDL=3, valeur F=8.51, Pr>F = 0.0003, Où il variait entre 0.12 et 0.36 cm, et donc nous avons remarqué que larbaa contient la plus grande diamètre du collet.

4.2. Longueur de la tige (cm)

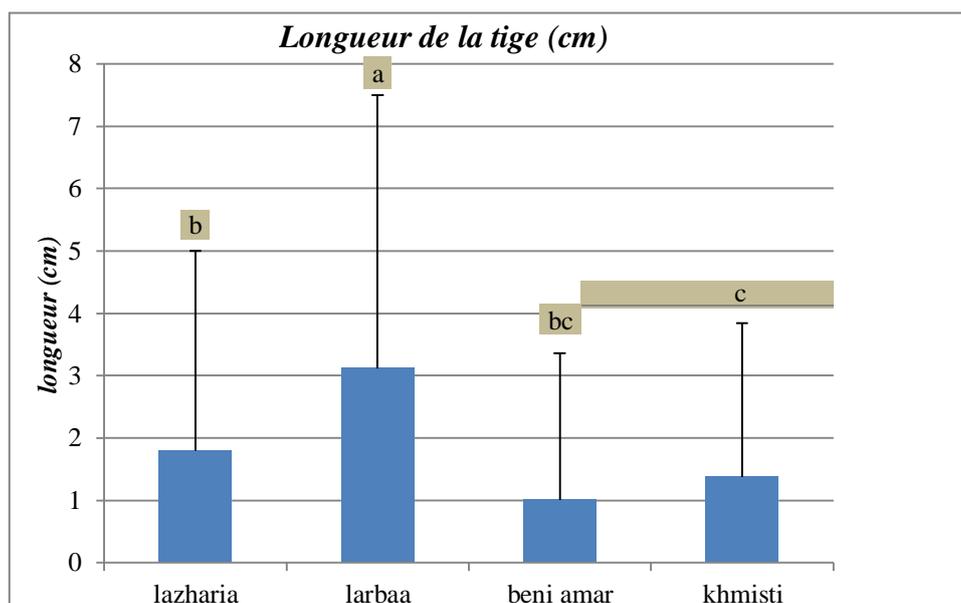


Figure N°46: Longueur de la tige des provenances étudiées.

La **Figure N°46** représente la variation de la longueur de la tige des quatre échantillons ; nous avons remarqué une différence significative entre les écotypes étudiés, avec un (DDL=3 ; valeur F =8.11, Pr>F= 0.0003), que varie entre (3.12 et 1.01) cm, avec une valeur maximal de 12 cm pour le site de Larbaa.

4.3. Nombre des feuilles par plant

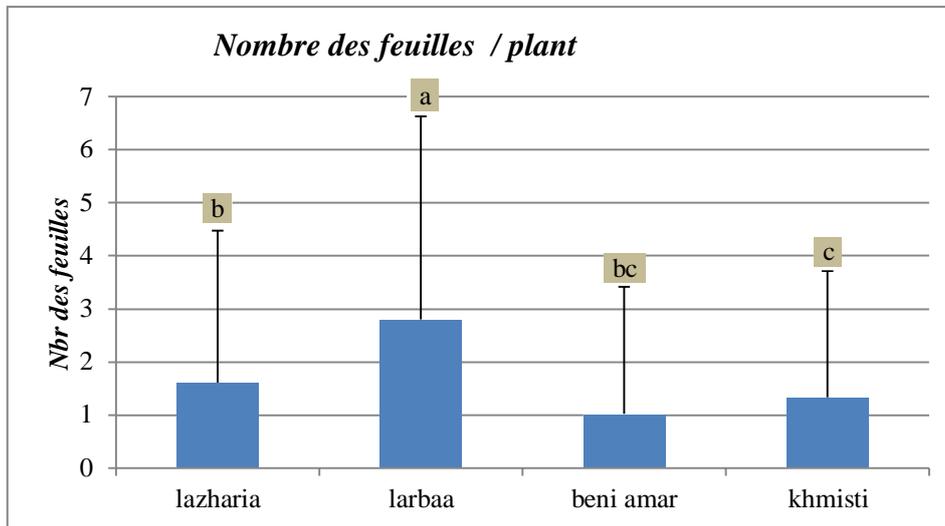


Figure N°47 : Nombre des Feuilles /plant.

On a observé le nombre des feuilles par plant est varié entre 1.02 à 2.8 feuilles , nous avons enregistré (DDL=3, valeur F=9.38, Pr>F=0.0001), dont la station de larbaa a été enregistrée une moyenne maximal de 2.8 feuilles par plant il y a une différence significative.

4.4. Nombre des entre nœud

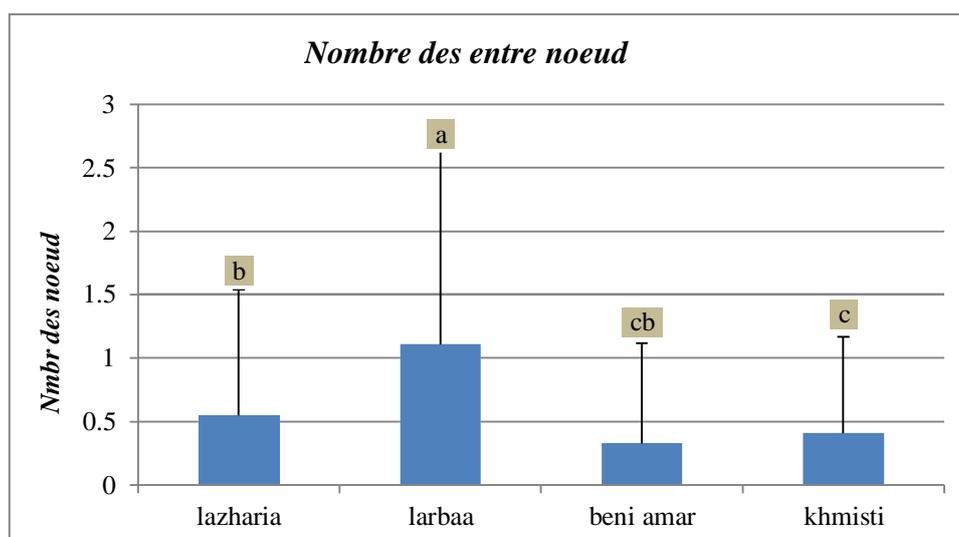


Figure N°48: Nombre des entre nœuds des plantules de *Ceratonia siliqua* L.

On a remarqué le nombre des entre nœud est varié entre 0.33 à 1.11 nœud , nous avons (DDL=3, valeur F=12.55, Pr>F=.0001), dont la station de Larbaa a été enregistrée une moyenne maximal de 4 entre nœud il y a une déférence significative.

Discussion

Discussion

D'après **Amigues et al. (2006)**, les conséquences d'une sécheresse dépendent de sa période de démarrage par rapport au stade cultural (e.g. stage de germination) et de sa durée d'action.

Des essais de germination ont été effectués à différents niveaux de simulation dans l'eau avec une solution de polyéthylène glycol (PEG 6000). Le PEG est un agent relativement stable, inerte, non ionique et soluble dans l'eau. Il n'est pas toxique même à des concentrations élevées, à l'obscurité et à une température de germination optimale (25 ° C). Le PEG maintient un potentiel hydrique stable et uniforme durant toute la période expérimentale.

En effet, les molécules de PEG 6000 constituent, un moyen plus efficace pour simuler une contrainte hydrique. Le choix de cet agent osmotique se justifie par ses avantages, soit un produit inerte, neutre, n'affectant pas le pH et ayant un poids moléculaire élevé. Il ne pénètre pas dans les graines et ne semble pas avoir des interférences, ni des effets secondaires (**Berkat&Briske 1982**).

Le stress hydrique a souvent un impact important sur le potentiel germinatif des groupes du caroubier, avec des pressions osmotique très élevées. Donc on enregistre une corrélation négative entre le stress hydrique et le potentiel de germination.

La réduction du potentiel de germination pourrait être due à l'altération des enzymes et des hormones qui se trouvent dans la graine (**Botia et al. 1998**).

Il pourrait s'agir également d'un déficit d'hydratation des graines suite à un potentiel osmotique élevé entraînant une inhibition des mécanismes aboutissant à la sortie de la radicule hors des téguments et par conséquent un retard de germination des graines (**Gill et al. 2001, 2003**).

L'étude de l'influence des contraintes hydriques montrent que les quatre populations germent à des potentiels hydriques très bas. Néanmoins, une variabilité de comportement au stress hydrique a été observée entre les quatre populations du caroubier.

La résistance au stress hydrique pendant la période de germination est une caractéristique de l'adaptation des semences, en particulier la première phase du cycle végétatif de l'espèce (**Grouzis 1987**). Par ailleurs, la germination des graines constitue un des multiples critères de sélection des populations pour la tolérance au stress hydrique.

Elle ne représente nécessairement pas de corrélation avec les autres stades de croissance (**Sy et al. 2001 ,Hamrouni et al. 2012**), mais elle reste toujours un stade à considérer pour évaluer la tolérance au stress hydrique des populations.

Le temps qu'il faut aux graines pour enregistrer la première germination est significativement différent ($P < 0,001$).

Discussion

Les résultats de ces travaux montrent une plus grande capacité de germination sous les conditions contrôlées que les plantes soumises à des contraintes avec un potentiel de germination très faible.

En tenant compte des résultats des tests préliminaires de la qualité des semences utilisées, principalement la viabilité des embryons, ceci peut être expliqué soit par la dormance embryonnaire ou bien par le choix des conditions de température et de la durée de l'action de la lumière de la germination non optimales pour cette population (**Bell & Bellairs 1992**).

L'observation à l'œil nu des gousses des différentes provenances a permis de détecter un niveau très élevé du polymorphisme morphologique. En fait, nos échantillons illustrent parfaitement l'existence de différentes couleurs et formes de gousses.

Traditionnellement, la production et la qualité des fruits, y compris leur forme, ont été largement utilisées comme critères de base pour la sélection du caroubier.

Ces caractéristiques végétales sont utilisées par les experts pour distinguer entre le type de caroubier sauvage et le type cultivar (**Gharnit et al., 2001**).

Dès le départ, nous notons que chaque gousse standard analysée peut être considérée comme un moyen distinctif. Ainsi, chacun de ces caractères, morphologiquement, peut distinguer entre les ruines que nous avons.

Ainsi, les gousses du caroubier ont fait l'objet d'un grand nombre d'études agro-morphologiques et économiques (**Batlle et Tous, 1997; Gharnit et al., 2001**)

La taille des gousses, définie par la valeur moyenne de sa longueur a fait l'objet d'un grand nombre d'études (**Tutin et al., 1993**), **Batlle et Tous 1997**) qui ont rapporté que la taille moyenne des gousses peut aller de 10 à 30 cm.

La largeur des gousses du caroubier a un indicateur agricole important. Il est indépendant de la taille de la gousse et peut fournir des informations non seulement sur son état comprimé ou gonflé, mais aussi sur la taille des graines et de la pulpe. Elle varie de 1,5 à 2,5 cm selon **Tutin et al., (1993)**, et de 1,5 à 3,5cm selon **Batlle et Tous (1997)**.

L'épaisseur des gousses est également très variable d'une accession à l'autre et constitue un critère de distinction entre les gousses comprimées ou volumineuses. Elle peut atteindre 1cm notamment chez les gousses charnues (**Batlle et Tous 1997**)

Discussion

Les variables précédemment mesurées, la longueur, la largeur et l'épaisseur, affectent considérablement le poids global de la gousse. En effet, nous avons généralement remarqué que les accessions de poids élevé sont ceux avec des gousses longues, larges et assez épaisses

Comme la plupart des caractères, le nombre moyen de graines par gousse est très variable. Selon nos échantillons.

De plus, certains auteurs ont signalé que les gousses du caroubier peuvent contenir entre 12 et 16 graines (Tutin *et al.*, 1993; Gharnit, 1997). L'abondance des graines dans les gousses d'une production de caroubier, serait un caractère distinctif entre les types sauvages et cultivars. En effet, les types sauvages sont connus pour leur grande production de graines qui sont généralement petites et non charnues (Di Lorenzo, 1991).

Le nombre de graines avortées par gousse est très variable pour nos accessions. Ce paramètre nous renseigne surtout sur la garniture des gousses en graines, plus il est faible, plus les gousses ne renferment que des graines viables et la production est meilleure.

D'après plusieurs auteurs, le rendement des gousses en graines est sensiblement variable, notamment dans les pays méditerranéens où il est de l'ordre de 5 à 27% (Caja *et al.*, 1988).

L'existence d'une différence très hautement significative de la vitesse de germination des graines entre les provenances durant les premiers jours, nous a mené à suivre la cinétique de croissance des plantules durant le premier mois après repiquage des graines germées. Les variables étudiées sont l'apparition de la deuxième feuille, le diamètre du collet et le nombre des entre nœuds. L'analyse de la variance montre que le facteur provenance est très hautement significatif pour les caractères étudiés.

Les génotypes originaires provenant de la progéniture de Lazharia et de Larbaa peuvent être considérés comme forts et peuvent être utilisés comme modèle pour la sélection des individus élites après un suivi strict après transplantation.

De nos jours, il est encore trop tôt pour considérer ces caractères (longueur des jambes, diamètre au niveau du collet, nombre de entre nœuds) non discriminatoires, puisque 8 semaines ne suffisent toujours pas à faire des différences significatives, les associations juvéniles adultes nécessitent une période d'étude plus longue.

Discussion

Le sol sec permettra aux racines de pousser plus profondément, atteignant les horizons les plus humides (**Grouzis and Le Floch, 2003**). En outre, cela peut être dû à l'impact de l'environnement sur la sélection des génotypes les plus robustes, résistants et appropriés dans le climat local stressant et sur l'expression du génotype, entraînant des changements dans la distribution des hormones de croissance dans la plante (Segura et al., 2004). En effet, la présence d'un nombre de feuilles plus élevé permettrait aux plants de synthétiser plus de matière organique ce qui faciliterait ainsi leur croissance (**Sanon, 2009**).

CONCLUSION

Conclusion

La présente étude est une contribution à l'évaluation du potentiel germinatif ainsi que de la tolérance au stress hydrique au stade germinatif de quatre populations du caroubier provenant du nord.ouest de l'Algérie.

Nos travaux ont également montré que le comportement germinatif de ces populations, étudiées dans des conditions de stress hydrique, varie selon la population et la concentration de PEG 6000 appliquée au stade de germination.

Selon les résultats obtenus, l'inhibition de la germination est d'origine tégumentaire, de sorte que sa levée par un traitement physique ou chimique ne peut être qu'utile pour augmenter la vitesse de germination dans les pépinières

D'une part, la maîtrise de la germination et la croissance des plantes sont nécessaires pour une meilleure gestion de la sélection des espèces élites candidates, compte tenu de leur potentiel de succès (tolérance à la sécheresse) pour améliorer les systèmes agro forestiers, et d'autre part pour augmenter les chances de réussite, et minimiser le coût des travaux de reboisement.

Nous avons également conclu que les populations ayant des taux de germination similaires peuvent varier dans leur croissance.

D'un autre point de vue, les provenances qui donnent des taux de germination importants ne sont pas nécessairement associées à leur croissance rapide après la transplantation.

Toutefois, il demeure nécessaire de poursuivre les études sur le caroubier à tous les stades de développement avant de se prononcer sur sa tolérance vis.à.vis du stress hydrique et de choisir la population la meilleure à exploiter pour valoriser les régions arides et semi. arides.

**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

Références bibliographiques

- **Aafi A., 1996.** Note technique sur le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*). Centre National de la Recherche Forestière, Rabat.
- **AISSA D., 1981.** Etude expérimentale de la germination du Chêne vert (*Quercus ilex L.*). Thèse de doctorat de 3ème cycle. Université d'Aix-Marseille III. P 1.61.
- **Ait Chitt M., Belmir M. et Lazrak A., 2007,** Production des plantes sélectionnées et greffées du caroubier. Transfert de technologie en Agriculture, N°153, IAV Rabat, pp.1.4.
- **Albanell E., 1990.** Caracterización morfológica, composición química y valor nutritivo de distintas variedades de garrofa (*Ceratonia siliqua L.*) cultivadas en España. Tesis doctoral.Barcelona. España, pp. 209.
- **Alorda M., Estades J., Galmes J. & Medrano H., 1987.** Promotion of rooting in carob cuttings. Gartenbauwissenschaft. 52 (1):31.34.
- **Amigues J. P., Debaeke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., Tardieu F. & Thomas A. 2006.** Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, Rapport, INRA (Fr).

- **Anzala F.J.,2006:**controle de la vitesse de germination chez le maïs (*zea mays*): etude de voie de biosynthèse des acides aminés issus de l'aspartate et recherche de QTLs. Thèse de doctorat. Université d'Angers. 148p.
- **APG III .2009.**, ou classification phylogénétique, est la troisième version de classification botanique des angiospermes établie par l'Angiosperms Phylogeny Group. C'est la classification botanique la plus importante aujourd'hui. Elle est une modification de la classification APG II (2003)
- **Bajji M. 1999.** Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés *In vitro*. Thèse de doctorat. Univ . Louvain.
- **Battle I. & Tous J., 1997.** Carob tree. *Ceratonia siliqua L.* Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17. Institute of Plant Genetic and Crops Plant Research. Gatersleben/International Plant Resources Institute. Rome. Italy.
- **Battle I. 1997.** Current situation and possibilities of development of the carob tree (*Ceratonia siliqua L.*) in the Mediterranean region. Unpublished FAO Report. Rome. Italy.
- **Battle, I. and J. Tous. 1988.** Lineas de investigacion sobre el algarrobo(*Ceratonia siliqua L.*) en el IRTA, Cataluna (España). Pp. 92.104 in I Encontro Linhas de Investigacao de Alfarroba (J.H. Brito de Carvalho, ed.). AIDA, Oeiras, Portugal.
- **BAUMGARTNER M. et EMONET E., 2007.** Les graines germées. Haute école de santé Genève. Filière Diététique.
- **Bélaygue, C., Weery, J., Cowan, A., and Tardieu, F. 1996.** Contribution of leaf expansion, rate of leaf appearance, and stolen branching to growth of plant leaf area under water deficit in white clover. *Crop science*, 37(5), 1241.1247.
- **BELKHODJA M., 1996 –** Action de la salinité sur le comportement physiologique,
- **Bell D.T. & Bellairs S.M. 1992.** Effect of temperature on the germination of selected Australian native species used in the rehabilitation of bauxite mining disturbance in Western Australia. *Seed Science and Technology*, 20, 47.55.

- **Ben Naceur M., Gharbi M.S. & Paul R. 1999.** L'amélioration variétale et les autres actions contribuant à la sécurité alimentaire en Tunisie en matière de céréales. *Sécheresse*.10:27. 33 p.
- **Ben Salem M., Boussen H. & Slama A. 1997.** Évaluation de la résistance à la contrainte hydrique et calorique d'une collection de blé dur : recherche de paramètres précoces de sélection. Sixièmes Journées scientifiques du réseau Biotech..Génie Génétique

Références bibliographiques

des plantes, Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche (AUPELF / U R E F). Orsay. *Sécheresse*. 2 : 75. 83 p.

• **Bengoechea C., Romero A., Villanueva A., Moreno G., Alaiz M., Milla'n F., Guerrero A. et Puppo M.C. 2008.** Composition and structure of carob (*Ceratonia siliqua* L.) germproteins. *Food Chemistry*. 107 : 675–683.

• **Berkat O. & Briske D. D. 1982.** Water potentiel evolution of three germination substratesutilizingPolyethylene glycol. *Agronomy journal*, 74, 518.521

• **Berrougui H., 2007.** Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), une richesse nationale aux vertus médicinales. *Maghreb Canada Express* 5, 20.

• **Biner B., Gubbuk H., Karhan M., Aksu M. et Pekmezci M. 2007.** Sugar profiles of the pods ofcultivated and wild types of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.) in Turkey, *Food Chemistry*. 100:1453.1455.

• **Botia P., Carvajal M., Cerda A. & Martinez V. 1998.** “Response of eightCucumismelo cultivars to salinityduring germination and earlyvegetativegrowth”. *Agronomie*, 18, 503.513.

• **Boyer J.S. 1982.** Plant productivity and environment. *Sci*, New series. 218: 443 . 448 p.

• **BRAY E. et ZIEGLER P., 1989.** Biosynthesis and degradation of starch in higher plants. *Annual Review of Plant Physiol. And plant mol. Bio.*, 40: 95.117.

• **Brodribb, T.J., Bowman, D.J.M.S., Nichols, S., Delzon, S., Burlett, R., 2010.** Xylem function and growth rate interact to determine recovery rates after exposure to extreme water deficit. *New Phytol*. 188, 533–542.

• **Cabuslay, G. S., Ito, O., & Alejar, A. A. 2002.** Physiological evaluation of responses of rice (*Oryza sativa* L.) to water deficit. *Plant Science*, 163(4), 815.827.

• **Caja G., Albanell E. and Casanova R. 1988.** Caracteriaz ciónmorfológica de fructose de algarrobo cultivados en España. Pp. 119.229 in *Proceedings of the II International Carob Symposium* (P. Fito and A.Mulet, eds.). Valencia, Spain.

• *Ceratonia siliqua* L. originaire de la province de chefchaou en (Nord.ouest du Maroc). Thèse

• **Chaussat R., Ledeuiff Y., 1975.** la germination des semences. Ed Bordas, paris, 232 p21.

• **CHAUX C. et FOURY C., 1994.** Maitrise des facteurs de production, qualité et traitement des semences, mise en culture par semis en place in *Production légumière*. Tome 1. Généralité. Tec et Doc. Lavoisier. pp 277.431.445.

• **Chaves M.M., Pereira J.S., Maroco J., Rodrigues M.L., Ricardo c.P.P., Osorio M.L., Carvalho 1., Faria T. & Pinheiro C ., 2002.** How plants cope with water stress in thefield. Photosynthesis and growth. *Annals ofBotany* 89: 907.916.

• **Chen, D., Wang, S., Cao, B., Cao, D., Leng, G., Li, H., Yin, L., Shan, L., Deng, X., 2016.** Genotypic Variation in Growth and Physiological Response to Drought Stress and Re. Watering Reveals the Critical Role of Recovery in Drought Adaptation in Maize Seedlings. *Front. Plant Sci*. 6, 1241.

• **Cherfaoui A K., 1987** .Contribution à l'étude comparative de la germination des graines de quelques Atriplex de provenance Djelfa, thèse de diplôme de magister en sciences agronomique. Ed institut national agronomique EL Harrach.Alger, 68 p.

• **CÔME D., 1970** – Les obstacles de la germination. Ed. Masson ; 162p.

Références bibliographiques

- **Cowan M. M. 1999.** Plant products as antimicrobial agents. *Clinical microbiology reviews.*, Vol. 12 (4): 564-570.
- **Cronquist, A. 1981.** An Integrated System of Classification of Flowering Plants. Columbia University Press, New York, 248.250.
- **Cüneyt Uçarlı 2020,** Effects of Salinity on Seed Germination and Early Seedling Stage Submitted: June 2nd 2020 Reviewed: August 19th 2020 Published: October 7th 2020.
- **Dakia P.A . Wathelet B. et Paquot M. 2008.** Isolation and chemical evaluation of carob (*Ceratonia siliqua* L.) seed germ. *Food Chemistry.* 102 :1368–1374.
- **Dakia P.A, Blecker C., Robert C., Wathelet B. et Paquot M. 2008 .** Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid or water dehulling pre-treatment. *Food Hydrocolloids* Vol. 22, N°5, pp: 807.818.
- de Doctorat en science. Université Abdelmalek Essaadi. Tanger.
- **Decloitre F. 1993.** Impact des facteurs alimentaires sur les mécanismes de la cancérogénèse: bases d'une prévention des cancers par l'alimentation. *Cahiers de Nutrition et de diététique.* Vol. 28 (2): 85.95.
- **Di Lorenzo R. 1991.** *Carrub of rutticoltura speciale.* Ed. REDA, Rome.
- **Dominique S. 2007.** Les bases de la production végétale tome III, la plante. Ed collection sciences et techniques agricole Pais, 304 p
- **Evreinoff .V. A. 1947.** Le Caroubier ou *Ceratonia siliqua* L. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée* 299-300 pp. 389-401
- **FAOSTAT 2011,** www.fao.org.com.
- **FELIACHI K., AMROUNE R. et KHALDOUNE, 2001.** Impact de la sécheresse sur la production des cereals cultivées dans le nord de l'Algérie: *céréaliculture N° 35.* ED. ITGC. Algérie.
- **Gadoum et al. 2021.** *Genet. Biodiv. J, Special issue (Characterization and valorisation of Plants),* 103-115.
- **Gallego J., Sánchez.Campos S. et Tuñón M. J. 2007.** Anti-inflammatory properties of dietary flavonoids. *Nutricionhospitalaria.* Vol. 22 (3): 287.293.
- **Gharnit N. 1997.** Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), Essais de propagation in vitro et intérêt socio économique au cercle de MOKRISSET (NW. Maroc). Dans le mémoire du D.E.S.A., n° 576.5 GHA. Univ. Abdel Malek E. Fac. Sci. Tétouan.
- **Gharnit N., 2003 :** Caractérisations et essai de régénération in vivo du caroubier
- **Gharnit N., El Mtili N., Ennabili A. and Sayah F. 2004.** Floral characterization of carob tree (*Ceratonia siliqua* L) from the province of Chefchaouen (NW of Morocco). *Moroccan J. Biol.* 1:41.51
- **Gill P. K., Sharma A. D., Singh P. & Bhullar S. S. 2001.** Effect of various abiotic stresses on the growth, soluble sugars and water relations of sorghum seedlings grown in light and darkness. *Bulg. Journal of Plant Physiology,* 27, 72–84.
- **Grouzis M. 1987.** Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'oursi, Burkina Faso). Thèse d'Etat, Université Paris Sud, Centre d'Orsay (France). Collection Etudes et Thèses, Edit. ORSTOM, Paris, France.
- **Hamrouni L., Souayah N., khouja M. L & Rejeb M. N. 2012.** Effect of osmotic stress on *Myrtus communis* germination. *Biologia,* 67, 1, 132.136
- **Hartmann H.T. & Kester D. E., 1983.** Plant propagation. Principles and Practices. 4th edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J.
- **HELLER R., ESNAULT R. et LANCE C., 2000.** *Physiologie végétale II. Développement.* Ed Dunod. Paris. pp 64.260.
- **Hertog M.G. 1996 :** fruit and vegetable consumption and cancer mortality in the Caerphilly study. *Journal Of Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 5:673.677.

Références bibliographiques

- **Hohl .M et Pierre S. Peter, 1991** . Relations hydriques des coléoptiles de maïs en croissance. Comparaison entre le mannitol et le polyéthylène glycol 6000 comme osmotique externe pour ajuster la pression de turgescence *Plant Physiology*, 95 (1991), pp. 716 – 722.
- **HOPKINS W.G., 2003**. Physiologie végétale. Traduction de la 2^{ème} édition américaine par SERGE R. Ed de Boeck. pp 309.362.
- **Hsissou D. 1994**. Sélection *In vitro* et caractérisation de mutants de blé dur tolérants à la sécheresse. Thèse de doctorat. Univ. Catholique de Louvain.
- **INGRAM J. et BARTLZQ D., 1996**. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annuaire Review of Plant Physiolo. And plant mol. Biolo.*, 47 :377.403.
- **Jean P., Catmrine T., Giues L., 1998**. biologie des plantes cultivées. Ed l'Arpers, paris, 150 p
- **KICHER. H ; LADJOUZI. A, 2016** : Valorisation des sous-produits de la caroube *Ceratonia siliqua*. (Mémoire de fin d'études) ; Université A. MIRA – Bejaia.
- **Kim, S. ; Dale, B. E., 2004**. Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass and Bioenergy*, 26 (4): 361.375

- **Konate I., 2007**. Diversité Phénotypique et Moléculaire du Caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) et des Bactéries Endophytes qui lui sont Associées. PhD thèse. Univ. Mohammed v. Agdal. 196 p.
- **KOTOWSKI F., 1926** – Temperature Relations to Germination of Vegetable Seeds,” *American Society of Horticulture Science Proceedings*, 23, 176–184.
- **Kusaka, M., Lalusin, A. G., & Fujimura, T. 2005**. The maintenances of growths and tirgor in pearls millets (*Pennisetum glaucums* [L.] Leake) cultivar with different roots structures and osmo.régulation under droughts stress. *Plant Science*, 168(1), 1.14.
- **LABBE M., 2004**. Ces étonnantes graines germées. Auvers sur oise : Labbé. Revues succinctes de livres et d'essais (critiques).
- **Laberche J.C . 2004**. La nutrition de la plante In *Biologie Végétale. Dunod*. 2^e (éd). Paris: 154 .163 p.
- **Landjeva S., Neumann K., Lohwasser U., Borner M. 2008**. Molecular mapping of genomic regions associated with wheat seedling growth under osmotic stress *Biol. Plan.*, 52 (2008), pp. 259.266.
- **Lavalée P., 1962**. Le caroubier, son utilisation dans l'alimentation du bétail en Algérie et en Tunisie ». Alger, 47p.
- **Leclerc J.C. 1999**. Ecophysiologie végétale. Publication de l'université de Saint Etienne. Paris: 283 p.
- **Lecoeur, J., Wery, J., Turc, O., & Tardieu, F. 1995**. Expansion of pea leaves subjected to shorts waters deficits: cells numbers and cells sizes are sensitive to stress at différent periods of leaf développement. *Journal of Experimental Botany*, 46(9), 1093.1101.
- **Lee C. L., Paul J. L. & Hackett W. P., 1977**. Promoting of rooting in stem cutting of structure plant by pre.treatment with acid or base. *Hort Science*. 12 (1): 41.42.
- **Linskens H. & Scholten W., 1980**. The flower of carob. *Potug. Acta. Bilo. (A) XVI* :95.102.
- **Lu Z et Neumann PM. 1998**. Les semis de maïs, d'orge et de riz soumis à un stress hydrique montrent une diversité d'espèces dans les mécanismes d'inhibition de la croissance des feuilles *Journal of Experimental Botany*, 49 (1998), p. 1945 – 1952.
- **Luo, L.J., 2010**. Breeding for water.saving and drought.resistance rice (WDR) in China. *J. Exp. Bot.* 61, 3509–3517. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq185>.

Références bibliographiques

- **MACIEJEWSKI J., 1991.** Semences et plantes ; Agriculture d'aujourd'hui. Tec et Doc.5.
- **Madhava Rao K.V., Raghavendra A.S. & Janardhan Reddy K. 2006 .** Printed in the Netherlands. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. *Springer*: 1.14 p.
- **Madhava Rao K.V., Raghavendra A.S. & Janardhan Reddy K. 2006 .** Printed in the Netherlands. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. *Springer*: 1.14 p.
- **Mares R. 1971.** Le caroubier et la lutte contre l'incendie. *Revue Forestière Française* XXIII 1 : p79.
- **Marfek A. 2003.** Radiolyse gamma des flavonoïdes. Etude de leur réactivité avec les radicaux libres issus des alcools : formation des depsides. Thèse de doctorat de l'université de Limoges.(in press).
- **Marron, N., Delay, D., Petit, J. M., Dreyer, E., Kahlem, G., Delmotte, F. M., & Brignolas, F. 2002.** Physiological traits of two *Populus* × *euramericana* clones, Luisa Avanzo and Dorskamp, during a water stress and re-watering cycle. *Tree Physiology*, 22(12), 849-858.
- **Martins.Louçao M.A. & Rodriguez.Barrueco C., 1981.** Establishment of proliferation callus from roots, cotyledons and hypocotyles of carob (*Ceratonia siliqua* L.) seedlings. *Z. Pflanzenphysiol* 103 : 297-303.
- **Mehari, A. ; Ericsson, T. And Weih, M. 2005.** "Effects Of Nacl On Seedling Growth, Biomass Production And Water Status Of *Acacia Nilotica* And *A. Tortilis*." *Journal Of Arid Environments* 62(2): 343-349.
- **Melgarejo P. & Salazar D.M., 2003.** Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. II. Mundi.Prensa. España, pp. 19-162.
- **Mhirit O. et Et.Tobi M.2002.** Les arbres hors forêt: le cas du Maroc. Archives de documents de la FAO.
- **Moniouszko V. A. 1934 :** le caroubier *ceratonia siliqua* . son importance dans la région de la méditerranée et la possibilité de sa culture en U.R.S.S. , Léninegrad (en russe, avec résumé en français, l'ouvrage le plus complet sur le Caroubier).
- **Morgan, J.M., 1984.** Osmo regulation and Water Stress in Higher Plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 35, 299–319.
- **Nativ, R., Ephrath, J. E., Berliner, P. R., & Saranga, Y. 1999.** Drought resistance and water use efficiency in *Acacia saligna*. *Australians Journal of Botany*, 47(4), 577-586.
- **Nouri L. 2002.** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*) en condition de déficit hydrique. Thèse de Magistère en Biologie végétale Univ Mentouri. Constantine. 77 p.
- **Ortiz P. L. , Arista M. & Talavera S. , 1996.** Produccion de nectar y frecuencia de
- **Passioura J.B. 2006 :** Increasing crop productivity when water is scarce.from breeding to field management *Agric. Water Manag.*
- **Pietta PG.2002.** Flavonoids as antioxydants.*J.Nat.Prod* .Vol. 63(7): 1035-42.
- **Pita, P., & Pardos, J. A. 2001.** Growth, leaf morphology, water use and tissues waters relation of *Eucalyptus globulus* clones in responses to waters deficit. *Tree Physiology*, 21(9), 599-607.polinizadores en *Ceratonia siliqua* L. (*Caesalpinaceae*). *Anales del Jardin Botanico de Madrid*.

Références bibliographiques

- **Poorter H. 1989.** Interspecific variation in relative growth rate: on ecological consequences. In: Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants.
- **Quezel P. et Santa S. 1962/63.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méditerranéennes. Tome 1. Edit CNRS. Paris.
- **Rebour H. 1968,** fruits Méditerranéen, la maison rustique Paris, 330pp.
- **Rejeb M. N. 1995.** Le caroubier en Tunisie : Situations et perspectives d'amélioration. Dans: Quel avenir pour l'amélioration des plantes ? Edit. AUPELF.UREF. John Libbey Eurotext.Paris. Pp : 79.85.
- **Rejeb M. N., Laffray D. and Louguet P. 1991.** Physiologie du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) en Tunisie. Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi. arides, Group d'Etude de l'Arbre, Paris, France. P:417.426.
- **RENARD J. L. and QUILLEC G., 1975** – L'Helminthosporiose du cocotier. Etudes préliminaires. Oléagineux 30(5) : 209.213.
- **Risso A.1826** : Histoire naturelle des principales productions de l'Europe méridionale et particulièrement de celles des environs de Nice. Paris.
- **Rubinstein B., Turner N.C. 1982.** Regulation of H⁺ excretion. Effects of osmotic shock Plant Physiol., 99 (1982), pp. 355.360.
- **Ruiz.Roso B, Quintela JC, de la Fuente E, Haya J, Pérez Olleros L 2010.** Insoluble carobfiber rich in polyphenols lowers total and LDL cholesterol in hypercholesterolemic subjects. Plant Foods Hum Nutr. Mar;65(1):50.6. doi: 10.1007/s11130.009.0153.9.
- **Sbay H. et M. Abourouh, 2006.** Apport des espèces à usages multiples pour le développement durable : cas du pin pignon et du caroubier, Centre de Recherche.
- **Sebastian K.T. & McComb J.A., 1986.** A micropropagation system for carob. Scientia Horticulturae, 28 : 127.131.
- **Sy A., Giraud E, Jourand P., Garcia N., Willems A., de Lajudie P., Prin Y., Neyra M., Gillis M., Boivin.Masson C. & Dreyfus B.2001**
MethylotrophicMethylobacteriumbacterianodulate and fixnitrogen in symbiosiswithlegumes. J. Bacteriol., 183, 214.220.
- **Tapas A. R., Sakarkar D. M. et Kakde R. B.;2008.** Flavonoids as nutraceuticals. Topical journal of pharmaceutical research. Vol. 7 (3): 1089.1099.
- **Tardieu F., Cruiziat P., Durand J.L., Tribou E., Zivy M., 2006.** Perception de la sécheresse par la plante. Conséquences sur la productivité et sur la qualité des produits récoltés, pp 49.67.
- **Tarkow H., Feist W.C., Southerland C.F. 1996.** Interaction of wood and polymeric materials. Penetration versus molecular size Forest Prod. J., 16 (1996), pp. 61.65.
- **Turkan I, Bor M, Ozdemir F et Koca H.2005.** Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought.tolerant *P. acutifolius* Gray and drought.sensitive *P. vulgaris* L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress Plant Sci., 168 (2005), pp. 223.231.
- **Turner NC. 1986.** Adaptation to water deficit: a changing perspective. Aust J Plant Physiol .13: 175. 90 p.
- **Tutin T. G., Burges N. A., Chater A. O., Edmondson, Heywood V. H., Moore D. M., Valetine D. H.,Waters S. M. and Webb D.A. 1990/93.** Flora Europaea. Cambridge UniversityPress. UK.
- **VELASCO R., SALAMINIF., et BARTLETS D., 1994.** Dehydration and ABA increase mRNA levels and enzyme activity of cytosolic GAPDH in the resurrection plant. Plant mol. Biol., 26: 541. 546.

Références bibliographiques

- **Yıldırım, K., Kaya, Z., 2017.** Gene regulation network behind drought escape, avoidance and tolerance strategies in black poplar (*Populus nigra* L.). *Plant Physiol. Biochem.* 115, 183–199.
- **Yousif A.K et Alghzawi H.M. 2000.** Processing and characterization of carob powder. *Food Chemistry* .69 : 283.287.
- **Zeppel, M.J.B., Macinnis.Ng, C.M.O., Yunusa, I.A.M., Whitley, R.J., Eamus, D., 2008.** Longterm trends of stand transpiration in a remnant forest during wet and dry years. *J. Hydrol.* 349, 200–213.
- **Zhao, C. X., Shao, H. B., & Chu, L. Y. 2008.** Aquaporin structure–function relationships: water flow through plant living cells. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 62(2), 163.172.
- **Zitouni A. 2010.** Monographie et perspectives d’avenir du caroubier (*Ceratonia siliqua*) en Algérie. Th.Ing. Agrn, INA, El.Harrach, pp 201.
- **Zografakis N. and D. Dasenakis, 2002**“Biomass in Mediterranean Studies on the Exploitationof Carob for Bioethanol Production,” Commission of the European Communities DirectorateGeneral for Energy and Transport, Region of Crete.Regional Energy Agency.

Références bibliographiques

Résumé

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) de la famille de légumineuse est originaire du pourtour méditerranéen. Il est cultivé pour plusieurs intérêts.

L'objectif de ce travail est de mettre la lumière sur des quatre provenances du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.).

Les paramètres biométriques des gousses de caroube montrent que la provenance de Khemisti possède les meilleures caractéristiques suivi par Beni Amar.

Le test de germination par l'expositions des graines de quatre provenances à des stress osmotiques appliqués par des différentes doses de PEG6000 (15%, 20%, 30%) a donné des taux de germination de 100% mais à des temps varie de 4 à 6 jours.

La scarification mécanique joue un rôle très important pour favoriser la germination des graines, et aussi elle réduite la durée de germination.

La transplantation des graines germées (témoins et stressées) donne des jeunes plants capable à croitre rapidement.

Mots clés : *Ceratonia siliqua*, Provenances, gousses, germination, stress osmotique, PEG6000, scarification mécanique, transplantation.

Abstract

The carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) of the legume family is native to the Mediterranean region. It is cultivated for several interests.

The goal of this work is to shed light on the four provenances of the carob tree (*Ceratonia siliqua* L.).

The biometric parameters of the carob pods show that the provenance of Khemisti has the best characteristics followed by Beni Ama

The germination test by exposing seeds from four sources to osmotic stresses applied by different doses of PEG6000 (15%, 20%, 30%) gave germination rates of 100% but at times varying from 4 at 6 days.

Mechanical scarification plays a very important role in promoting seed germination, and also it reduces the germination time.

Transplanting germinated seeds (control and stressed) gives young plants capable of growing rapidly

Key words: *Ceratonia siliqua*, Provenances, pods, germination, osmotic stress, PEG6000, mechanical scarification, transplanta.

المخلص

شجرة الخروب (*Ceratonia siliqua* L) من عائلة البقوليات موطنها منطقة البحر الأبيض المتوسط يتم

زراعتها لعدة اهتمامات .

الهدف من هذا العمل هو تسليط الضوء على أربع أصول مثبتة لشجرة الخروب (*Ceratonia siliqua* L).

توضح المعلومات البيومترية لقرون الخروب أن أصل خميستي يتمتع بأفضل الخصائص تليها بني عمار.

أعطى اختبار الإنبات عن طريق تعريض البذور أربعة أصول للضغوط التناضحية المطبقة بجرعات مختلفة من

PEG6000 (15%، 20%، 30%) معدلات إنبات 100% ولكن المدة تتراوح من 4 إلى 6 أيام.

يلعب الخدش الميكانيكي دورًا مهمًا جدًا في تعزيز إنبات البذور ، كما أنه يقلل من وقت الإنبات.

إن زرع البذور النابتة (الضابطة والمجهد) يعطي نباتات صغيرة قادرة على النمو بسرعة.

الكلمات المفتاحية : شجرة الخروب (*Ceratonia siliqua* L)، الأصول ، القرون ، الإنبات ، الإجهاد التناضحي ،

PEG6000 ، الخدش الميكانيكي ، الزرع.