



UNIVERSITE SIDI MOHAMED BENI
ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
FES



Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme
Licence sciences et techniques

BIOTECHNOLOGIE ET VALORSATION DES PHYTO-
RESSOURCES

Contribution à la caractérisation de l'état
hydrominérale de génotype de caroubier

Réalisé par :

AMINA EL-JAMIY

Encadré par :

- Pr : SAAD RACHIQ (FST FES)
- Dr: RAZOUK RACHID (INRA MEKNES)

Soutenu le : 07/07/2021

Devant le jury composé de :

- Pr : MALIKA MIKOU (FST FES)
- Pr : SAAD RACHIQ (FST FES)
- Dr: RAZOUK RACHID (INRA MEKNES)

Remerciement

En préambule à ce mémoire nous remercions Dieu qui nous a aidé et nous a donné la patience et le courage durant ces longues années d'études.

Après j'aimerais tout d'abord adresser mes plus sincères remerciements accompagnés de mon profond respect à mon encadrant Dr : Rachid RAZOUK, chercheur et coordinateur de l'unité de recherche d'agronomie et physiologie végétale au Centre Régional de la Recherche Agronomique de Meknès pour tout le temps qu'il m'a consacré, pour m'avoir dirigé et encouragé tout au long de ce travail, je le remercie pour sa disponibilité, son aide précieuse, ses conseils ses remarques, ses qualités humains et pour la confiance qu'il m'a accordée.

J'adresse mes vifs remerciements au Pr : SAAD RACHIQ: Professeur à la Faculté des Sciences et techniques pour avoir dirigée ce travail, pour ses remarques pertinentes, ses orientations et sa patience qu'il a manifestée à mon égard durant ce travail, ainsi que ses suggestions à améliorer la qualité de ce mémoire, je lui en suis très reconnaissant.

C'est aussi un honneur pour moi d'exprimer mes vifs remerciements à tous les membres de jury Pr :MALIKA MIKOU pour l'intérêt qu'il a portée à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Dédicaces

Je dédie ce présent travail :

À mes chers parents

Ma mère **AZIZA** et Mon père **ABDELILAH**

Qui tiennent une place immense dans mon cœur.

Aucune dédicace ne serait exprimée la reconnaissance, le respect et l'estime.

Que dieu vous donne bonne santé et longue vie.

À mes chers frères et sœurs

Pour leur véritable et sincère amour.

Je leur souhaite une vie pleine de succès et de bonheur.

À mes formateurs

Qui m'ont dirigé vers le chemin de succès par leur compréhension et leurs conseils.

À tous mes amis et collègues

Et particulièrement les plus intimes, en témoignage des moments inoubliables, des sentiments purs, et des liens solides qui nous unissent.

À toutes les personnes

Qui me reconnaissent et qui m'ont aidée et contribué à la réalisation de ce travail.

Résumé

Le secteur d'arboriculture fruitière est un des plus gros consommateurs d'eau. Il est évident qu'il soit vulnérable à la pénurie d'eau en raison du décalage du cycle de l'arbre fruitier par rapport aux précipitations irrégulières. Cette vulnérabilité, accentuée par les changements climatiques, incite donc à des réflexions sur l'adoption de stratégies durables d'adaptation. Ainsi, un programme de recherches scientifiques a été initié par l'INRA de Meknès pour contribuer aux efforts de la rationalisation de l'utilisation de l'eau en agriculture. Notre travail s'inscrit dans ce programme où nous avons évalué la tolérance des géotypes (cultivars) de caroubier (*Ceratonia Siliqua L*) au stress hydrique.

Nous avons tout d'abord évalué l'effet du stress hydrique sur certains paramètres, physiologiques, biochimiques, chez 43 géotypes (cultivars) de caroubier.

Les paramètres utilisés pour cette évaluation sont, la transpiration, les cires cuticulaires, les pigments chlorophylliens, la teneur en sucres solubles, la teneur en proline, la densité stomatique.

L'analyse des données par l'application d'une ANOVA à un seul critère de classification et du Test SNK, nous a permis de relever des effets marqués par des réductions ou des augmentations significatives à non significatives chez certains géotypes (cultivars) mais pas chez d'autres, selon le paramètre.

Par ailleurs, l'utilisation du test SNK de la séparation des moyennes nous a permis, et pour chacun des paramètres observés, de distinguer des groupes de cultivars en fonction de leur comportement vis-à-vis au stress hydrique.

Mots clés : *Ceratonia siliqua L*, stress hydrique, cultivars

Sommaire

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction

PARTIE 1 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	3
I - Culture du caroubier	3
1-Taxonomie.....	3
2-Description botanique du caroubier	3
3-Caractères de végétation et de fructification du caroubier.....	4
4-Propagation du caroubier	5
5-ORIGINE ET REPARTITION GEOGRAPHIQUE DU CAROUBIER.....	7
6-IMPORTANCE ET UTILISATION DU CAROUBIER AU MAROC	8
II-Le stress hydrique	9
1-- Définition et généralités sur le stress hydrique	9
2-Effet du stress hydrique sur le caroubier	10
4-Réponse de la plante à la sécheresse.....	12
PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES	14
I-Site de l'étude	15
II-Matériel biologique végétale	15
III-l'étude de stress hydrique chez le caroubier	15
1- la tolérance de C .Siliqua au différent niveau de stress hydrique.....	15
PARTIE 3 : Résultats et discussion	19
1- Variation de la ranspiration.....	19
2- la teneur en cire et les pigments chlorophylliens	21
3-Densité stomatique.....	23
4. La teneur n sucres solubles	25
5- La Teneur en proline.....	24

Liste des figures

N°	Titre	Page
1	Les feuilles de caroubier pris au sein de laboratoire de l'INRA	4
2	Cycle de production d'un plant greffé de caroubier	7
3	Distribution des aires de cultures du caroubier dans le bassin méditerranéen (Albanell., 1990)	8
4	Les lignes de caroubier à Ain Taoujdate	15
5	Observation microscopique des stomates	17
6	Variation de la transpiration en fonction des différents cultivars	20
7	Variation des cires en fonction des différents cultivars	22
8	Variation des pigments chlorophylliens en fonction des différents cultivars	23
9	Variation des sucres solubles en fonction des différents cultivars	25
10	Variation de proline en fonction des différents cultivars	27
11	Variation de densité stomatique en fonction des cultivars étudiés	28

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
1	Classification botanique de caroubier	3
2	Valeurs moyennes de la teneur en minéraux de la poudre de caroube (mg/kg) (M. Kamal E. Youssef et al. 2013)	9
3	Résultats d'analyse de sol	15
4	Valeurs de la transpiration chez les différents cultivars.	19
5	Valeurs des cires et Des pigments chez les différents cultivars.	21
6	Valeurs des sucres solubles chez les différents cultivars.	24
7	Valeurs de densité stomatique chez les différents cultivars.	26

Liste des abréviations

AG3: Acide gibbérelline

ANOVA: Analysis of variance

CRRAM : centre régional de la recherche agronomique de Meknès.

H₂SO₄: Acide sulfurique

MF: Matière frais

MS: Matière seche

PIB: Produit Intérieur Brut

SNK: Student-Newman-Keuls

.

Présentation du centre régionale de la recherche agronomique



المعهد الوطني للبحث الزراعي

⊙⊕⊗⊘⊙ ⊙⊕⊗⊘⊙ | ⊙⊕⊗⊘⊙ | ⊕⊙⊕⊗⊘⊙⊕

Institut National de la Recherche Agronomique

MISSIONS ET ZONES D'ACTION DU CENTRE REGIONALE DE RECHERCHE AGRONOMIQUE DE MEKNES

Le centre régional de la recherche agronomique de Meknès (**CRRA de Meknès**) est l'un des dix centres de l'institut national de la recherche agronomique créé en 1989. Chargé d'entreprendre les recherches, les études et les actions de transfert de technologie répondant aux besoins de l'agriculture dans les régions de boulomane, El Hajeb , Fès , Khenifra , Taza et Séfrou .

L'étendue géographique de la zone d'action du CRRA de Meknès couvre une superficie totale d'environ 7.3 millions d'hectares soit 10 du territoire national (INRA 2009) les agro systèmes dominants dans la région sont le système montagneux, le semi-aride et le subhumide.

Les conditions climatiques et édaphiques particulières dans chaque système ont pour résultante des cultures différentes selon les stations .Sa production agricole est dominée par la céréaliculture (53.1), l'arboriculture (16.6) et les légumineuses alimentaires (9.2) par rapport à la production mondiale .ces cultures représentent à l'échelle régionale respectivement 29 et 18 et 41 en plus d'autres les oléagineuses (tournesol principalement) , les cultures fourragères , les plantes médicinales et aromatiques , les cultures maraichères de saison le tabacetc. Les activités CRRAM concernent les différents environnements semi-aride, subhumide et de montagne et visent :

- ✓ La connaissance du milieu (naturel et socio- économique) et le développement des technologies performantes pour répondre aux besoins de l'agriculture de la zone d'action
- ✓ La valorisation des acquis de la recherche et l'implication de ses partenaires dans la recherche.

Les projets de recherche conduits au niveau du centre à moyen terme s'articulent autour des orientations suivantes :

- ✓ Gestion intégrée de l'arboriculture
- ✓ Intensification durable des grandes cultures
- ✓ Amélioration et diversification des systèmes de production en zones de montagne du moyen atlas.

Organisation

Au niveau du centre , il existe deux services (service recherche –développement et service

administratif) et quatre unités de recherches (tableau1), équipées par des installations à ambiance contrôlée (chambre froides, chambres de culture , serres) station météorologique , laboratoires et des terrains agricoles d'environ 600 hectares pour la conduite des essais et la conservation des collections vivantes réparties sur trois domaines expérimentaux situés à Annonceur , Douyet et ain Taoujdate.

Les unités de recherche et leurs objectifs dans CRRA Meknès

Agronomie et physiologie végétale (URAPV)	*Palier l'effet négatif des facteurs limitant – eau et minéraux –notamment par le choix du matériel végétal et/ou par l'amélioration de la culture : *Améliorer la productivité agricole.
Protection des plantes	*Améliorer l'état phytosanitaire de certains cultures de la zone du CRRA ; *Améliorer la compétitivité et la qualité des productions
Amélioration des plantes et conservation des ressources phylogénétiques(URAPCRP)	*sélectionner le matériel végétal pour améliorer les rendements et les tolérances aux stress biotiques et abiotiques
Gestion durable des ressources naturelles (URGDRN)	*Adapter les différents techniques et environnementaux en mettant en œuvre des outils d'analyses et de modélisation , pour mesurer et surveiller la qualité des sols , les systèmes culturaux et les risques potentiels dans les régions du sais et du Moyen atlas

Introduction

Dans L'écosystème méditerranéen, les plantes sont souvent soumises à un stress hydrique sévère et permanent (**Nogués et Baker ; 2000**). Le déficit hydrique est le facteur de stress limitant le plus la croissance des plantes, le développement des communautés végétales naturelles, la production agricole et la qualité de la production (**Yoon et al, 2014**).

Les écosystèmes méditerranéens sont caractérisés par des précipitations rares ou irrégulières et par de longues périodes estivales sèches. Ces contraintes climatiques combinées à une pression anthropique, conduisent généralement à une dégradation du couvert végétal et à une érosion rapide des sols. Certaines espèces endémiques comme le caroubier (*C. siliqua*) sont bien adaptées à ces conditions.

Le caroubier (*C. siliqua*) appartient à la famille des Fabaceae de l'ordre des rosales. C'est une espèce sclérophylle, xérophile, thermophile, héliophile et calcicole, originaire des zones arides et semi arides du méditerranéen aride où la pluviosité se répartit inégalement sur l'année.

C'est un arbre qui sur le plan socio-économique et écologique peut jouer des rôles intéressants particulièrement dans les contrées sèches et dans les zones où les processus de désertification prennent des ampleurs de plus en plus alarmantes, notamment dans le bassin méditerranéen.

La tolérance au stress hydrique entraîne des changements subtils dans les processus morphologiques, physiologiques, biochimiques, et moléculaires des plantes (**Rodziejcz et al, 2014**). Les principaux mécanismes de tolérance au déficit en eau sont : le maintien du potentiel hydrique foliaire (Teneur relative en eau , conductance stomatique), la biosynthèse et l'accumulation de divers Osmolyte (proline, sucres solubles) et l'activation de différentes gènes de résistance (**Chaves et al , ; et al 2003, Reddy et al 2004 , Tardieu , 2005**). Les types de réponses vis-à-vis de cette contrainte varient généralement avec la sévérité et la durée du stress, le génotype et le stade de développement de la plante et les facteurs environnementaux (**Chaves et al ; 2003 ; Uzilday et al, 2012**)

L'adaptation à la sécheresse est maintenant un grand challenge pour les plantes. En effet, la sécheresse est un complexe de processus physico-chimiques, dans lesquels de nombreuses macromolécules biologiques et de petites molécules sont impliquées, tels que les acides nucléiques (ADN, ARN, le micro-ARN), les protéines, les glucides, les lipides, les phytohormones, Les ions, les radicaux libres, les éléments minéraux..... (**Shao et al,2002**)

Vu sa capacité à développer des stratégies d'adaptation morphologiques ; physiologiques et biochimiques vis-à-vis de différents degrés de contraintes hydriques, le caroubier s'installe favorablement dans les zones côtières, semi arides et arides, d'où l'importance de son utilisation dans les programmes de reforestation et de reboisement (**Rejeb, 1995 ; Batlle et tous 1997**).

L'objectif global de cette étude est de déterminer le comportement des génotypes (cultivars) de caroubier en zone aride sous les conditions pluviales de sécheresse.

Le présent travail constitue une contribution à cette caractérisation globale de la collection, dont l'objectif est la caractérisation de la variabilité génotypique de la tolérance au stress hydrique au sein de la collection INRA de caroubier , composée de 43 génotypes (cultivars) installés au domaine expérimental d'Ain Taoujdate, à travers la détermination des paramètres physiologiques et biochimiques fiables liés à la croissance végétative, variation de la transpiration et au statut hydrique des arbres, susceptibles d'être les plus influents dans la tolérance à ce stress abiotique.

PARTIE 1 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I - Culture du caroubier

1-Taxonomie

Tableau 1 : classification botanique de caroubier

Famille	Fabaceae
Sous classe	Rosidae
Ordre	Fabales
Section	<i>Ceratonia siliqua L</i>

Ceratonia siliqua L est la nomenclature binomiale de l'arbre du caroubier, elle signifie gousse en corne, dérivé de *keras* en grec et *siliqua* en latin, certains auteurs désignent *ceratonia* comme étant des genres les plus archaïques des légumineuses (**turker ,1992**)

2-Description botanique du caroubier

Le caroubier est un arbre à croissance lente, pouvant atteindre une quinzaine de mètres de haut (**quezel et santa, 1962/63**) et une circonférence à la base du tronc de 2 à 3m ; doté d'une écorce lisse et grise lorsque la plante est jeune et brune, rugueuse à l'âge de maturité et un bois très dur de couleur rougeâtre, son âge est de 200 ans (**Rejeb et al ; 1991 ; Ait chit et al , 2007**) . Caractérisé par des feuilles, de 10 à 20 cm, persistantes .Ces derniers sont composées de 4 à 10 folioles, de couleur vert luisant caractérise la face dorsale (**Rejeb et al, 1991, Battlla et al....1997, Ait chitt et al 2007**).Elles tombent tous les deux ans ; le caroubier dispose des racines pivotant (**Aafi ; 1996 ; Ghanrit ; 2003**).Les fleurs sont verdâtres, de longueur petite de 6 à 16 mm, spiralée et réunie en un grand nombre formant des grappes droites et axillaires, elles sont plus courtes que les feuilles à l'aisselle desquelles elles se sont développées (**Battlla et al 1997**).Les fleurs mâles ; femelles et hermaphrodites poussent sur des pieds différentes, donc des pieds mâles sont improductifs et stériles (**Rejeb, 1995**).

D'après **Tucker (1992)** les fleurs sont bi-sexes et au cours de leur développement, l'une des fonctions sexuelles mâle ou femelle est supprimée. Les fleurs sont constituées d'un pistil court et regroupé avec un petit ovaire (5 à 7mm), on parle des fleurs femelles. A la base, le disque nectarifère est entouré de 5 à 6 Sépales rudimentaires, mais la corolle est absente et les fleurs mâles portent 5 étamines (**Aafi, 1996**).Les stigmates sont bilobés et couvertes par des papilles (**Aafi, 1996**).

Caroube ou carouge est le nom du fruit qui se développe très lentement nécessitant une période de 9 à 10 mois pour atteindre la maturité , il est indéhiscent après maturité , de grande taille , 10 à 30 cm de longueur et de 2 à 3 ,5 de largeur et de 1 à 2 ,5 cm d'épaisseur ; il est vert puis brun et au moment de la maturité , brun foncé à noir , il présente un tissu pulpeux sucré comme il est sinueux sur les bords , aplati , droit ou cirque .La gousse comporte trois parties :l'épicarpe ; le mésocarpe et les graines , des cloisons pulpeuses transversales qui la sépare à l'intérieur renferment de 4 à16 graines dont sa longueur et sa largeur sont respectivement de 8à 10 mm et de 7à 8 mm(**Battle et tous1997**).



Figure 1 : les feuilles de caroubier pris au sein de laboratoire de l'INRA

3- Caractères de végétation et de fructification du caroubier

Pour arriver à maturité, la caroube nécessite généralement entre 9 et 10 mois. Les inflorescences productives (femelles et hermaphrodites) portent plusieurs fleurs, mais seul un faible pourcentage porte plus de deux fruits. Ainsi, pour les deux cultivars espagnols "**Negra**" et "**Rojal**", 12 à 32% des fleurs peuvent donner des fruits. Généralement, chez les cultivars italiens, portugais et espagnols, le pourcentage de fleurs qui donnent des fruits est de 3 à 5 %. La chute des fleurs et des jeunes fruits a lieu en octobre, elle diminue en janvier et février, et devient presque nulle entre juin et août. Ainsi, 60 à 90 % des gousses tombent durant le premier stade de croissance au printemps. La croissance de la caroube n'est pas rapide, elle passe par trois stades de développement suivant une courbe de croissance, comme la plupart des espèces fruitières.

Ainsi ces stades sont bien distingués:

-Le premier stade correspond à une croissance lente en automne et en hiver durant lequel la

gousse montre une légère augmentation du poids.

-Le deuxième stade correspond à une croissance rapide entre avril et août caractérisé par une période d'activité de la gousse en début printemps.

-Au troisième stade la gousse s'accroît lentement, mûrit et se durcit en juin, change de la couleur verte en brun. Ainsi, la gousse devient mûre après dix mois.

Le caroubier est un arbre alternant. Cette alternance est contrôlée génétiquement, mais elle peut être accentuée par des facteurs climatiques et de stress ou des pratiques culturales inadéquates (**Dr. M. AIT CHITT, Mr H. BELMIR, 2007**).

4-Propagation du caroubier

Le semis et le semis –greffages sont les méthodes de multiplication les plus utilisées pour le caroubier, les voies végétatives restent moins efficaces.

Germination des graines

Les graines sont dotées d'une enveloppe épaisse et dure, ce qui nécessite une scarification préalable pour faciliter la germination. Un prétraitement avec l'eau bouillante, l'acide sulfurique (H₂SO₄) ou l'acide gibbérelline (AG3) peut améliorer considérablement le taux de germination (**Battle et tous 1997**). Avec l'acide sulfurique, le résultat de la germination est spectaculaire (**Frutos, 1988**) mais la durée de scarification est variable en fonction des cultivars et de l'origine des graines.

Multiplication par greffage, une technique efficace et maîtrisée

La technique mise au point au Domaine El Bassatine (c'est un domaine qui est intéressé par la production standard de plants de caroubier greffé) est maintenant utilisée comme routine pour la propagation du caroubier. Cette approche permet:

- La préservation de la conformité du plant produit par rapport au plant mère sélectionné pour ses caractéristiques de production et de qualité.
- La conservation des avantages offerts par le plant issus de semis (racines profondes, rusticités, résistances aux maladies) en l'utilisant comme porte greffe (**Dr. M. AIT CHITT, Mr H. BELMIR, 2007**).

Le choix de la greffe en fente apicale par rapport à l'écusson a été guidé par les avantages suivants:

- Il permet de greffer sur des francs très jeunes (9- 10 mois) par rapport au greffage en écusson qui demande un diamètre de porte greffe plus grand (donc une durée d'élevage plus longue).
- Il permet d'avoir une bonne soudure greffon - porte greffe.

Propagation végétative par bouturage

Le caroubier a été décrit par **Lee et al (1977)** et **Hartmann et Kester (1983)**, comme une espèce capricieuse, très difficile à enraciner et à bouturer. Ses potentiels d'enracinements adventifs sont jugés très faibles.

La culture in vitro

C'est une technique prometteuse. La multiplication de cette espèce n'est pas encore bien maîtrisée surtout au stade enracinement. Cette approche ne sera valable économiquement que lorsque le matériel végétal ne permet pas de procéder au greffage (**Dr. M. AIT CHITT, Mr H. BELMIR, 2007**).



Figure 2 : Cycle de production d'un plant greffé de caroubier

Transplantation

Ceratonia siliqua L. reprend très bien après les transplantations menées au printemps et en été. Il n'est pas nécessaire de recourir au carnage ou à d'autres techniques lors de la transplantation de cet arbre pendant ses saisons (**Koudan et al, 2012**)

5-ORIGINE ET REPARTITION GEOGRAPHIQUE DU CAROUBIER

Selon (**Hallicoat et al ,1980**) le caroubier est étendu ; à l'état sauvage , en Turquie ,chypre, Syrie , Liban, Palestine ;Sud de Jordanie ,Egypte, Arabie ,Tunisie et Libye avant d'atteindre l'ouest méditerranéen Il a été disséminé par les arabes le long de la côté nord d'Afrique , au sud et à l'Est de l'Espagne et par les grecs en Grèce et en Italie .Dès lors ;il a été diffusé au sud du Portugal et au sud –Est de la France .Ensuite il a été introduit avec succès dans des pays ayant un climat méditerranéen comme 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 (**Berrougi,2007**).

L'origine du caroubier demeure incertaine .Toutefois (**Candolle, 1983 et Vavilov, 1951**) ont

rapporté qu'il serait natif de la région Est Méditerranéenne (Turquie et Syrie) .Pour certains auteurs le caroubier est domestiqué depuis le néolithique 4000ans avant J.C et sa culture extensive date au moins de 200 ans avant J.C (**Battle et al 1997, 2003** et **Berrougui, 2007**).



Figure 3 : Distribution des aires de cultures du caroubier dans le bassin méditerranéen (Albanell., 1990)

6-IMPORTANCE ET UTILISATION DU CAROUBIER AU MAROC

La gousse de caroube, fruit du caroubier, se compose d'une cosse - appelée pulpe de caroube - enveloppant une graine.Ces derniers sont les plus principaux constituants de la gousse du caroubier et représentent 90%et 10% de son poids total .la graine est composé de 30 à 33% d'enveloppe tégumentaire, de 42% à 46 % de l'albumen et de 23 à 25 % d'embryon (**Neukom1988**).La pulpe est utilisé comme sirop en alimentation humaine et entre comme produit énergisant en alimentation animale (**Dr. M. Ait chitt, Mr H. Belmir,**) elle est très riche en protéine (2-6%) et en lipides (0.4-0.6%) dont les acides saturés et insaturés sont en proportions égales (**Leroy, 1929 ; Puban et wieling 1996**).

La valeur nutritionnelle de la gousse du caroubier est considérée similaire à celle de la plupart de céréales (**Coit 1962 ; NAS 1979**). Selon **Noblet et al (1989)**, la valeur d'énergie métabolique (EM) de la farine de caroube estimée à 13.1MJ EM/KG de produits frais.

L'arbre du caroubier est considérer comme l'un des arbres fruitiers et forestiers les plus

performants puisque toutes ses parties (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorces et racines) sont utiles et ont des valeurs dans plusieurs domaines (Aafi, 1996). Grace à son système traçant, le caroubier est utilisé pour le reboisement et la reforestation des zones affectées par l'érosion et la désertification (Boudy, 1950 ;Rejeb et al ;1991), il est également utilisé comme plante ornementale(Battle et al ;1997), la caroube est employée depuis longtemps comme nourriture de bétail à côté d'autres aliments comme la farine d'orge (Ait chitt et al ;2007).

De nombreuses études cliniques ont souligné l'efficacité de la poudre de caroube dans le traitement des diarrhées aiguës infantiles (Serairi et al ;2000) , ce qui a été confirmé par l'étude clinique menée par (Loeb et al 1989) chez des enfants âgés de 3 à 21 mois que le transit intestinal , la température et le poids de l'enfant s'amélioreraient plus vite après administration de la poudre par voie orale selon(Rejeb , 1995) la pulpe est recommandé contre la tuberculose pulmonaire et les infections des bronches .cette plante est connue en thérapeutique pour son effet hypocholestérolémiant ,antiprolifératif , anti diarrhéique et troubles digestifs (Berrougui). La poudre de caroube est considérée comme une source riche en Fe, Ca, Na, K, P et S. Les oligo-éléments Cu, Zn et s'agissent en tant que cofacteurs d'enzymes antioxydants pour protéger le corps contre les radicaux libres de l'oxygène produit lors du stress oxydatif.

Tableau 2 : Valeurs moyennes de la teneur en minéraux de la poudre de caroube (mg/kg) (M. Kamal E. Youssef et al. 2013)

Minéral	mg/kg	Minéral	mg/kg
Mn	10,24	K	8637,64
Zn	24,71	P	2255,21
Fe	381,80	S	17 577,80
Cu	4,84		
Se	9,79		
Ca	2123		
Na	505,97		

II-Le stress hydrique

1-- Définition et généralités sur le stress hydrique

Le stress hydrique est défini par l'écart qui existe entre la disponibilité d'eau, le niveau des ressources en eau renouvelables (eaux de pluie, de surface et souterraines) disponibles dans une certaine zone et une demande d'eau donnée, y compris pour la satisfaction des besoins

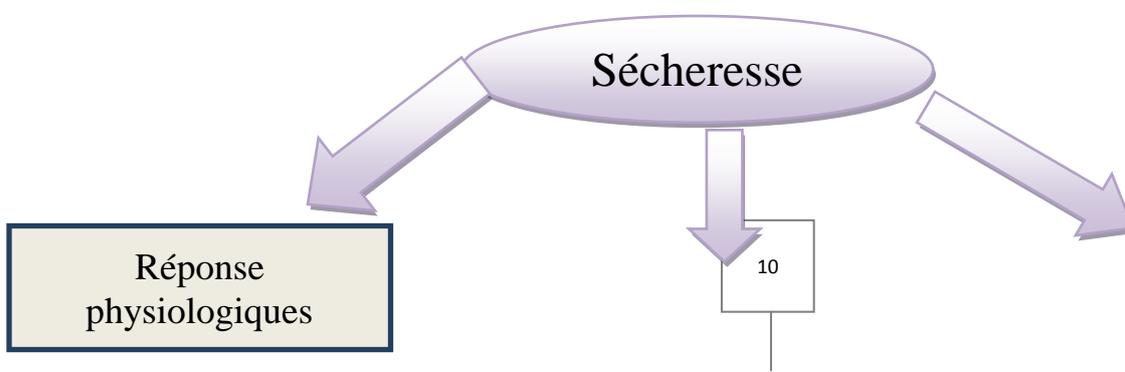
fondamentaux.

Le stress hydrique peut également se déclarer dans des régions où l'eau est abondante mais où la demande est excessive, à quoi s'ajoute une concurrence croissante et mal gérée entre les secteurs (agriculture, énergie, industrie, tourisme et ménage) pour l'utilisation de l'eau (HLPE, 2015). Le secteur agricole demeure le secteur le plus consommateur en eau et le plus touché par les changements climatiques, avec un taux d'utilisation de 69% de l'eau. Pour la méditerranée, 62% des contraintes climatiques, notamment la rareté des ressources hydriques ont toujours été des caractéristiques structurelles. Les projections sur le stress hydrique des pays riverains sont défavorables, avec des estimations qui prédisent une contraction du PIB de 6% à l'horizon 2050 uniquement en raison de la rareté de l'eau. L'insécurité hydrique, seuil qui concerne les pays dont la disponibilité en eau par an et par habitant est inférieure à 1700 m³, frappe déjà 10 Etats méditerranéens (Libye, Israël, Egypte, Jordanie, Maroc, Algérie, Tunisie, Malte, Palestine, Syrie). Près de 180 millions d'habitants seraient ainsi, pauvres en eau, dans la région. La sécurité alimentaire passera de plus en plus par une gestion efficace des ressources hydriques et par l'optimisation des systèmes d'irrigation. En dépit des progrès effectués dans le dessalement de l'eau de mer et la réutilisation des eaux usées, des transitions doivent donc se préparer, appelant notamment, en matière hydrique, au passage d'une gestion de l'offre à une gestion de la demande (Sadiki, 2017).

2-Effet du stress hydrique sur le caroubier

2.1-Impact de la sécheresse sur la plante

La sécheresse est un processus physico-chimique complexe, dans lequel de nombreuses macromolécules biologiques telles que les acides nucléiques (ADN, ARN, le micro ARN), les protéines, les glucides et de petites molécules (lipides, phytohormones, ions, radicaux libres, éléments minéraux) sont impliqués (Shao et al 2008, Ahmed et al 2014). La sécheresse se manifeste par un stress osmotique engendrant des dommages dans les cellules végétales qui résultent de la dessiccation du protoplasme. La sortie de l'eau de la cellule provoque une augmentation de la concentration des solutés, entraînant des conséquences sérieuses tant sur le plan structural que sur le métabolique.



Réponse biochimiques

Réponse biochimiques

- ✓ Reconnaissance de signaux radicaux racinaire.
 - ✓ Diminution de la conductance stomatique. Pour CO₂
 - ✓ Réduction de la concentration interne de CO₂.
 - ✓ Déclin de la photosynthèse nette.
 - ✓ Perte de la turgescence et de l'ajustement osmotique.
 - ✓ Réduction de potentiel hydrique foliaire.
 - ✓ Réduction de taux de croissance.
- ✓ Diminution de l'efficacité de la Rubisco.
 - ✓ Diminution transitoire de l'efficacité photochimique.
 - ✓ L'accumulation des métabolites de stress comme: proline, polyamines...etc .
 - ✓ Augmentation de l'activité des enzymes antioxydants.
- ✓ Expression des gènes sensibles aux stress.
 - ✓ Synthèse des protéines spécifiques.

2.2-Effet du stress hydrique sur les traits morphologique

Le déficit hydrique permanent ou temporaire, limite la croissance 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 hydriques. Sur le plan quantitatif et qualitatif, la croissance des plantes dépend de la division et la différenciation cellulaire, et tous ces événement peuvent être affectées par les 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. Marron et al ; 2002, Kusala 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 élémentaires de la tige sont drastiquement réduits (**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, de la surface négativement la surface foliaire assimilatrice. En effet, la réduction de la surface foliaire peut provenir

d'une diminution de l'expansion foliaire et /ou d'une sénescence accélérée de la feuille . Des différences interspécifiques importantes entre deux espèces de populus (Peuplier) ont été enregistrées dans le nombre total de feuilles, la surface foliaire totale et la biomasse foliaire total sous stress hydrique (**Wullschleger et al ; 2005**) .La réduction de la croissance des feuilles sous déficit hydrique se traduit par plusieurs mécanismes à l'échelle cellulaire : décroissance de la vitesse de division cellulaire (**Granier et al ; 2000**) ; rigidité des parois cellulaires empêchant la déformation des parois et donc limitant la croissance cellulaire (**Cosgrove, 2005**) et diminution de la turgescence (**Bou Chabke et al , 2006**).L'extensibilité de la parois ne dépend pas uniquement dans les processus de relaxation, des signalisation hormonale et de l'expression de gènes induits par le stress.

La régulation des gènes affectant la croissance est nettement différentes chez les racines et les parties aérienne (**Wu et Cosgrove, 2000**) .La croissance des racines est moins affectée par rapport aux parties aérienne, végétatives et reproductives (**Saab et al ; 1990**).

4-Réponse de la plante à la sécheresse

Les plantes possèdent divers mécanismes de tolérance à la sécheresse .Lors d'un déficit en eau , les stomates se ferment , la biosynthèse d'osmolyses particuliers augmente , le système de défense antioxydant s'active , la composition des membranes se modifie et une cascade de signalisation s'initie .La multitude de réponse vis-à-vis de cette contrainte varient généralement avec la sévérité et la durée de la contrainte , le génotype de la plante , le stade de développement et les facteurs environnementaux (**Chaves et al , 2003**) .Selon **Zhu (2002)**, trois aspects de la réponse des plantes soumises à des déficits hydriques successifs se distinguent dans le cadre de l'ajustement de la plante à son environnement ;

- ✓ Le maintien de l'alimentation en eau et du volume cellulaire lorsque l'environnement devient sec soit par le maintien des entrées d'eau , soit par la restriction des sorties d'eau ; ce maintien est assuré physiologiquement par des ralentissements de la dynamique cellulaire (division, allongement , translocation) , des altérations de la mécanique génétique (baisse de photosynthèse) , la diminution de la conductance stomatique par un déséquilibre hormonal (**Karas et al 1997 ;Martinez et al ;, 1987 et 2005**).
- ✓ La mise en place de processus de réparation vise à rétablir les dommages engendrés. Ils servent à rétablir la régulation de la perméabilité membranaire par l'ajustement osmotique et un risque minimal du métabolisme (synthèse protéique) jusqu'à la

renovation complète de l'ensemble du système métabolique.

- ✓ Une reprise modérée de la croissance après une période d'inhibition .La limitation de la croissance foliaire est un mécanisme adaptatif qui permet de réduire la transpiration .La réduction de croissance est l'une des premières manifestations du déficit hydrique **(Kramer et Boyer, 1995 ; Saab et Sharp, 2004)**.

Dans les zones arides et semi arides sujettes à des déficits hydriques épisodiques, les plantes ont développé des mécanismes de régulation assurant leur survie .**Jones (1992)** a défini et établi une classification des stratégies d'adaptation des plantes à la sécheresse : la première consiste à éviter tout stress hydrique et la deuxième consiste en la capacité à le tolérer.

Les stratégies de la tolérance sont associées immédiatement avec des réponses physiologiques et biochimiques, alors que les stratégies d'évitement impliquent à long terme le développement et les traits morphologiques **(McCue et Hanson, 1990)**.

4.1 .Tolérance au stress hydrique

Il s'agit d'une stratégie permettant à la plante d'assurer ses fonctions physiologiques malgré le déficit hydrique .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 couplés à un système antioxydant efficace sont souvent les principaux mécanismes de tolérance au stress hydrique **(Tardieu, 2005)**. A l'échelle cellulaire, l'ajustement osmotique joue un rôle déterminant dans le maintien de la turgescence aux faibles potentiels hydriques foliaires .En effet cette aptitude qui confère à la plante une meilleure tolérance permet un fonctionnement prolongé de la photosynthèse.

Les différents mécanismes intervenant dans la tolérance à la sécheresse avec maintien du potentiel hydrique élevé sont principalement :

- ✓ L'augmentation de la vitesse d'absorption de l'eau,
- ✓ La réduction des pertes en eau par transpiration grâce à des traits adaptatifs morphologiques.

Afin de préserver l'intégrité structurale et fonctionnelle de leurs tissus, les plantes vont tenter de maintenir la turgescence cellulaire par l'ajustement osmotique qui consiste le processus

majeur permettant à la cellule de tolérer à la sécheresse (**Turner ,1986 ;Lew,2004**) grâce à l'accumulation des solutés : sucres, acides aminés et organique.

PARTIE EXPERIMENTALE

PARTIE 2 : MATERIEL ET METHODES

I-Site de l'étude

Les individus prospectés sont localisés dans une zone caractérisée par un climat de type semi-aride, du sous étage méditerranéen, subissant les influences continentales pendant les saisons d'été et d'hiver. Dans cette zone, les températures du mois le plus froid est de 9 °C, et celle du mois le plus chaud est de 38°C. La région présente aussi des risques de gels estimés à 20 jours par an. La pluviométrie moyenne annuelle est entre 450 mm et 500 mm (**Anonyme 1,2000**), Une bonne préparation du sol est un facteur essentiel de la réussite de la plantation.

II-Matériel biologique végétale

Le matériel végétal évalué est constitué de 43 génotypes (cultivars) du caroubier, installés au domaine expérimental de l'INRA à Ain Taoujdate, situés au niveau de 5 lignes



Figure 4 : les lignes de caroubier à Ain Taoujdate

III-Méthodes d'analyses utilisées

1- L'étude de stress hydrique chez le caroubier

L'effet du stress hydrique sur les traits physiologiques et morphologiques, biochimiques des plantes de *C. siliqua L* a été étudié à sous conditions contrôlées e dans une serre conditionnée. Ces mesures ont été réalisées systématiquement pendant une période de 2 mois.

1.1-Paramètres physiologique

A- la transpiration foliaire

La cinétique de la transpiration foliaire est déterminée en choisissant 3 feuilles bien

développées à partir des pousses de l'année de chaque variété de caroubier, les poids des feuilles sont mesurés à l'aide d'une balance numérique, après chaque 30 min de séchage à 40°C.

Expression des résultats

La transpiration est donnée par la formule suivante :

$$T=MF-MS$$

Dont

MF : Matière fraîche , MS : Matière sèche

B- La teneur en cire

La teneur foliaire en cires a été déterminée suivant la méthode décrite par **Marcelle et Beattie (2002)**. En effet les cires ont été extraites sur cinq feuilles ensoleillées de chaque arbre et préalablement lavées en les remuant pendant 30 secondes dans 20 ml de chloroforme concentré. La quantité de cires obtenue a été ensuite isolée par séchage de la solution d'extraction sur plaque chauffante pesée et rapportée au poids total des cinq feuilles. La quantité de teneur en cire est ainsi exprimée en mg/g de matière fraîche.

C-Pigment chlorophylliens

Après séchage et broyage des échantillons de feuilles, 5 mg du broyat est agitée dans 1 ml d'acétone 80 % dans des tubes eppendorf pendant 1 h 30 min jusqu'à l'extraction de la totalité des pigments. L'extrait obtenu est centrifugé à 1400 tr/min pendant 15 min sous une température de 4°C. La densité optique de la totalité du surnageant obtenue est mesurée à 654 nm et à 663 nm. Les concentrations des pigments chlorophylliens sont données par les formules suivantes (**Singh et Billore, 1975**) :

$$Ch_a = 12,7 (DO_{663}) - 2,69 (DO_{645})$$

$$Ch_b = 22,9 (DO_{645}) - 4,86 (DO_{663})$$

D-Densité stomatique

L'observation de l'épiderme nécessite l'élimination du parenchyme chlorophyllien qui empêche l'observation des cellules épidermiques. Pour cela une bande adhésive incolore (ruban scotch) a été utilisée pour éliminer tout ce qui est à la surface de la feuille (trichome, des poussières ...). Après l'élimination, une couche mince de vernis à ongle de couleur transparente, est étalée sur la face de la feuille nettoyée. Après 5 min la couche de vernis séchée, montrant l'empreinte épidermique de la feuille, est décollée doucement par ruban

scotch incolore et mise sur lame pour observation au microscope .Cette observation a permis de visualiser l’empreinte de stomates et ainsi déterminer leur densité et dimension.

La densité stomatique est le nombre des stomates par unité de surface (mm^2), pour déterminer cette densité stomatique, l’agrandissement (objectifs * 40) du microscope a été utilisé pour chaque feuille un point qui contient le plus grand nombre de stomates est fixé. Ensuite les stomates existants sur la face délimitée sont comptés et le calcul pour un champ d’un millimètre carré de surface a été fait pour chaque ramification. Deux feuilles ont été observées soit 3 mesures par arbre .Les mesures de la longueur et la largeur des stomates ont été faites par le logiciel Delta pix , muni avec la caméra du microscope . En effet, une règle numérique est placée dans le sens de la longueur et de la largeur des stomates permettant donc de donner directement leur valeur. Ainsi, trois stomates, parmi les plus grandes, ont été choisis par feuille.

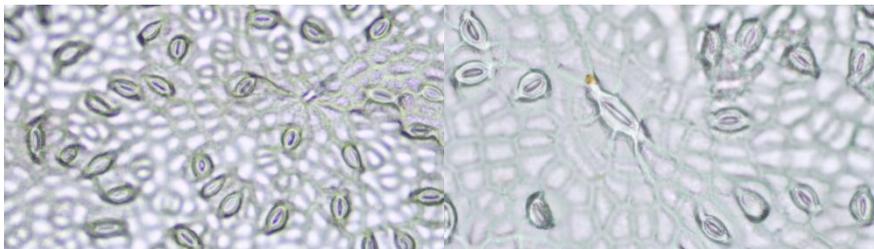


Figure 5: observation microscopique des stomates

1.2 -Paramètres Biochimiques

A-teneur en sucres totaux

Les sucres solubles ont été extraits selon la méthode de **Babu et al. (2002)**.En effet 50 mg de pulpe, prélevés d’une même partie et préalablement lyophilisés, ont été broyés dans un mortier en présence de 1 ml d’éthanol 80%. L’extrait ainsi obtenu est centrifugé pendant 40 mn sous 4°C à 2000 tr/min. Le surnageant de la centrifugation recueilli est ensuite conservé à froid en attente du dosage.

Le dosage des sucres totaux solubles a été réalisé suivant la méthode de **Dubois et al(1956)**.En effet 0.5 ml de phénol (acide phénique) et 1.5 ml de solution d’acide sulfurique ont été ajoutés à 0.5 ml d’extrait .Le mélange est chauffé au bain marie à 100°C pendant 5 mn. Après refroidissement, la densité optique est mesurée à 485 nm contre un blanc d’alcool 80 % a remplacé l’extrait brut .la courbe d’étalonnage au spectrophotomètre a été obtenue moyennant une gamme de concentration d’une solution de glucose (0à1mg/l).les teneurs sont

exprimées en mg/g de matière sèche.

B-Teneur en proline foliaire

Le dosage de la proline a été fait suivant la méthode de **Monneveux et Nemmar (1986)**. En effet, 100 mg du broyat des feuilles lyophilisées sont placés dans un tube à essai. Un volume de 2 ml de méthanol à 40% est ajouté à l'échantillon. Le mélange est ensuite chauffé, pendant 1 h, dans un bain marie à 85°C. Après refroidissement, 1 ml de la solution d'extraction est ajouté à 1 ml d'acide acétique, 25 mg de ninhydrine et 1 ml du mélange eau distillé –acide acétique ortho phosphorique (120,300,80,V/V/V) l'ensemble est porté à ébullition pendant 30 min au bain marie, puis refroidi et additionné de 5 ml de toluène. Après agitation au vortex, une pincée de sodium est ajoutée dans chaque tube avant la mesure de la densité optique à 528 nm. Afin de déterminer la concentration en proline, une courbe d'étalonnage a été établie en utilisant 6 concentrations croissantes de proline pure (0-200-400-600-800-1000 mg/L). Les teneurs sont exprimées en mg/g de matière sèche.

Analyses statistiques

Les résultats obtenus sont traités par le logiciel SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), en utilisant le test SNK (Student-Newman-Keuls), et l'analyse de la variance

(ANOVA). Les différences entre les moyennes sont déterminées pour un niveau de signification de 5%.

PARTIE 3 : Résultats et discussion

1- Variation de la transpiration

La mesure de la transpiration foliaire est un indicateur de tolérance au stress hydrique, du fait qu'il permet de donner une idée sur la tolérance à la sécheresse.

Tableau 4 : Valeurs de la transpiration chez les différents cultivars.

GENOTY PE	Transpira tion	Génotyp e	Transpir ation%	Génotyp e	Transpir ation	Génotyp e	Transpir ation
1-INRA 22	0.0483 abcd	13-INRA S30	0.0312 abc	23-TFB2	0.0401 abcd	33-1461	0.0455 abcd
2-INRA TF1	0.0271 ab	14-INRA TG4	0.0225 ab	24-M2	0.0355 abc	34-JIM11	0.0248 ab
3-INRA TG12	0.0389 abcd	15-INRA L1	0.0462 abcd	25-ARG6	0.0545 abcd	35-H2	0.0797 bcde
4-INRA L2	0.0457 abcd	16-INRA M4	0.0511 abcd	26-TG5	0.0335 abc	36-TGN3	0.1800 f
5-INRA BOUK 3	0.0531 abcd	17-INRA BOUK 5	0.0481 abcd	27-TZ4	0.0615 abcd	37-TG1	0.0602 abcd
6-INRA BOUK 3'	0.0148 a	18-INRA BOUK 2	0.0815 bcde	28-10	0.1168 e	38-TG10	0.0610 abcd
7-INRA SS1	0.0567 abcd	19-TF5	0.0384 abcd	29-1731	0.0949 de	39-SS3	0.0425 abcd
8-INRA TF 3I	0.0409 abcd	20-GT12	0.0359 abc	30-1664	0.0566 abcd	40-FER2	0.0680 abcd
9-INRA M3	0.0283 ab	21-GTN8	0.0230 ab	31-1614	0.0254 ab	41-GTN3	0.0684 abcd
10-INRA TGN2	0.0104 a	22-SS2	0.0253 ab	32-1553	0.0288 ab	42-TGN1	0.878 cde
43-DAT	0.686 abcd						

Les moyennes des groupes sous –ensemble homogènes sont affichées.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique =3.000

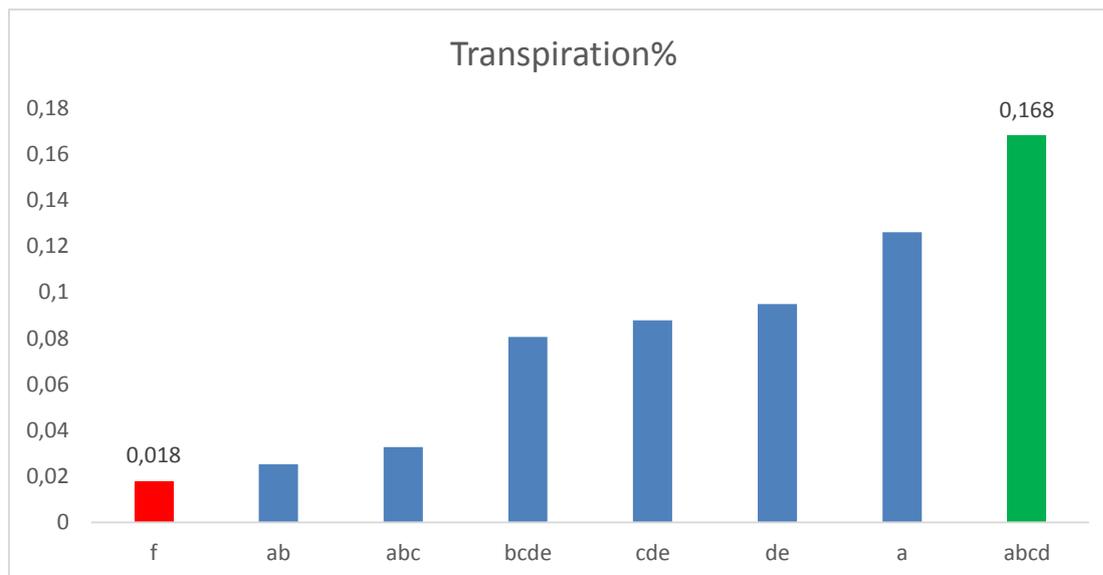


Figure6: variation de la transpiration en fonction des différents cultivars

Au sein de la collection da caroubier étudié, ce paramètre à varie de 0.018% chez la variété TGN3 à 0.186% chez les variétés : INRA 22, INRA TG12, INRA L2, INRA BOUK 3, INRA BOUK 3', INRA SS1, INRA TF3I, INRA L1, INRA M4, INRA BOUK 5, INRA BOUK 2 TF5, TFB2, ARG6, TZ4, 1664, 1461, TG1, TG10, SS3, FER2, GTN3, DAT.

La valeur moyenne sur l'ensemble des variétés est 0.055

Le teste de comparaison des moyennes de Student-Newman et Keuls (SNK) a fait ressortir 9 groupes homogènes de moyenne pour ce paramètre ; d'après le classement obtenu par ce test ; le premier représente par le génotype TGN3, il est caractérisés par une valeur de transpiration très faible c'est-à-dire notre plante transpire très peu et que la cuticule résiste à la perte d'eau. Donc il serait tolérante au stress hydrique, alors que les génotypes INRA 22, INRA TG12, INRA L2, INRA BOUK 3, INRA BOUK 3', INRA SS1, INRA TF3I, INRA L1, INRA M4, INRA BOUK 5, INRA BOUK 2 TF5, TFB2, ARG6, TZ4, 1664, 1461, TG1, TG10, SS3, FER2, GTN3, DAT, possèdent des valeurs élevés pour ce paramètre alors il serait plus sensibles au stress hydrique.

Les stomates et leur fonctionnement jouent un rôle clé dans les échanges gazeux de l'arbre. Lorsque les pertes d'eau dépassent les gains au niveau des feuilles, leur potentiel hydrique diminue, entraînant une baisse de la turgescence des cellules de garde provoquant ainsi la fermeture des stomates. Le changement de turgescence peut être très rapide (inférieur à la minute), ce qui permet aux arbres par l'intermédiaire des feuilles de s'adapter rapidement à des changements climatiques et à des conditions de stress (Hopkins and Evrard, 2003). En

faisant varier la transpiration en réponse à la demande évaporatoire ou au stress hydrique, les stomates influencent directement l'absorption de CO₂ pour la photosynthèse et ainsi la croissance des plantes (Damour et al., 2010).

2- La teneur en cire et les pigments chlorophylliens

Les cires végétales sont produites et localisées à la surface des parties aériennes des plantes, au niveau de leur cuticule.

Cette dernière intervient dans le contrôle de la perte en eau et donc de la concentration et du transport des solutés au sein de la plante. Elle constitue une protection contre les agressions environnementales (sécheresse, température, UV...)

Tableau 5 : Valeurs des cires et Des pigments chez les différents cultivars.

Géotype	Les cires cuticulaires (mg/g)	Les pigments chlorophylliens(A) (mg/g)	B mg/g)	A+B (mg/g)	A/B
1-INRA 22	39.1100 a	1.5333 abc	7.6067 b	9.14	0.20
2-INRA TF1	6.1400 a	1.4500 abc	3.8233 ab	5.2733	0.44
3-INRA TG12	4.1700 a	1.7333 abc	2.6967 ab	4.43	0.64
4-INRA L2	3.2200 a	2.1267 abc	4.0200 ab	6.14	0.52
5-INRA BOUK 3	2.6550 a	2.7067 c	2.8733 ab	5.58	0.94
6-INRABOUK3'	1.2850 a	1.4667 abc	5.0500 ab	6.5167	0.29
7-INRA SS1	2.5800 a	1.5167 abc	3.7100 ab	5.22	0.40
8-INRA TF 3I	3.6500 a	1.0600 abc	3.0500 ab	4.11	0.34
9-INRA M3	103.7050 b	0.6667 a	2.3100 ab	2.97	0.28
10-INRA TGN2	32.5550 a	1.0700 abc	3.6067 ab	4.67	0.29
11-INRA TF 20	3.3100 a	1.1733 abc	1.6700 a	2.84	0.70
12-INRA SS1	29.4600 a	1.0170 abc	2.1300 ab	3.32	0.44
13-INRA S30	20.7700 a	1.1833 abc	4.2800 ab	5.46	0.27
14-INRA TG4	41.2250 a	1.7633 abc	4.9167 ab	6.68	0.35
15-INRA L1	5.3250 a	1.3100 abc	4.3900 ab	5.7	0.29
16-INRA M4	0.7350 a	2.6333 bc	3.6800 ab	6.31	0.71
17-INRA BOUK 5	8.1450 a	1.0500 abc	3.6333 ab	4.68	0.28
18-INRA BOUK 2	13.9400 a	1.7567 abc	3.3867 ab	5.14	0.51
19-TF5	4.5350 a	1.3333 abc	4.4567 ab	5.78	0.29
20-GT12	63.2600 a	0.8100 a	9.4000 c	10.21	0.086
21-GTN8	2.6650 a	1.2950 abc	4.7900 ab	6.08	0.27
22-SS2	54.9000 a	0.9500 ab	4.4533 ab	5.40	0.21
23-TFB2	29.5350 a	1.4133 abc	4.4467 ab	5.59	0.25
24-M2	2.1700 a	0.9033 a	6.9433 ab	7.84	0.13
25-ARG6	15.8400 a	1.4033 abc	4.0900 ab	5.49	0.34
26-TG5	4.3850 a	1.9467 abc	4.2433 ab	6.19	0.45
27-TZ4	3.4150 a	0.6967 a	4.5733 ab	5.27	0.15

28-10	58.2150 a	1.4667 abc	2.9067 ab	4.05	0.50
29-1731	3.3800 a	0.9700 ab	3.1700 ab	4.14	0.30
30-1664	45.9200 a	1.0800 abc	3.3833 ab	4.46	0.31
31-1614	63.8500 a	2.0767 abc	3.8867 ab	5.96	0.53
32-1553	57.9600 a	1.2900 abc	3.3200 ab	4.61	0.38
33-1461	1.7000 a	0.4777 a	4.2777 ab	4.72	0.11
34-JIM11	2.2850 a	0.8300 a	5.2167 ab	6.06	0.15
35-H2	60.1350 a	0.7467 a	3.4833 ab	4.23	0.21
36-TGN3	4.2150 a	0.5500 a	3.3533 ab	3.90	0.16
37-TG1	103.2750 b	0.7917 a	3.9233 ab	4.71	0.20
38-TG10	0.4700 a	0.6067 a	4.3833 ab	4.99	0.13
39-SS3	17.6550 a	0.7233 a	4.2367 ab	4.96	0.17
40-FER2	28.5350 a	1.2867 abc	3.8167 ab	5.10	0.33
41-GTN3	0.4700 a	1.3967 abc	3.2400 ab	4.63	0.43
42-TGN1	35.4900 a	0.5167 a	4.0300 ab	4.54	0.12
43-DAT	70.1450 a	1.3033 abc	3.3300 ab	4.63	0.39

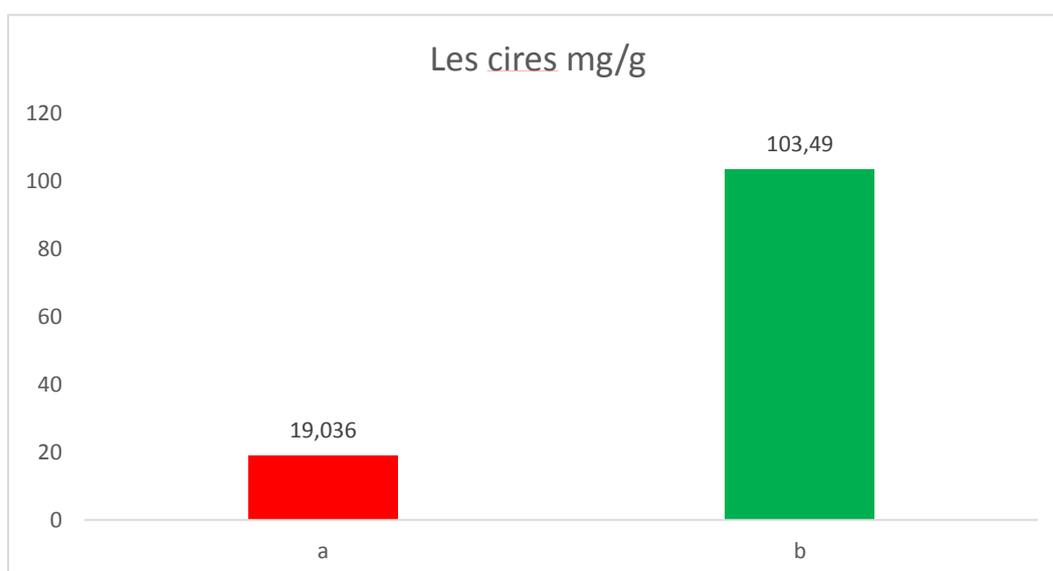


Figure 7: Variation des cires en fonction des différents cultivars

La valeur moyenne sur l'ensemble des variétés est 26.617

La comparaison des cires cuticulaires moyen suivant le test de SNK a révélé l'existence de 2 groupe homogènes pour , la quantité des cires la plus faible a été observé chez les génotypes de classe a (TG10, GTN3.....) d'une valeur de 19.036mg/g , donc il serait sensible au stress hydrique . La valeur la plus grande 103.49mg/g a été observé chez les génotypes de classe b (TG1, INRAM3) donc il serait plus tolérant au stress hydrique.

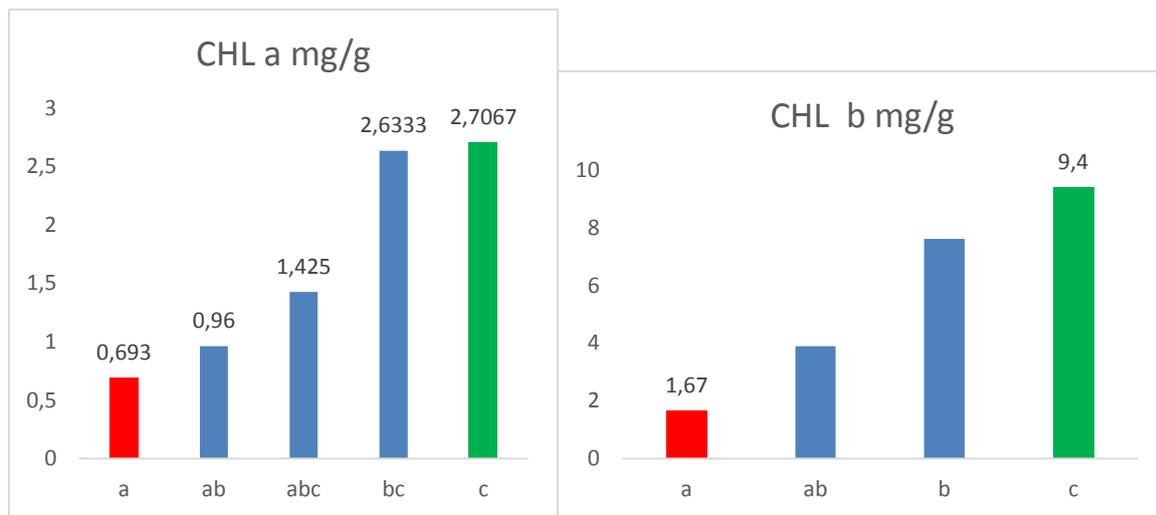


Figure 8 : variation des pigments chlorophylliens en fonction des différents cultivars

La chlorophylle, est le principal pigment contenu dans les plantes. Elle se trouve dans les chloroplastes des cellules végétales. Elle est indispensable pour l'activité photosynthétique de la plante qui consiste à produire de l'énergie chimique (ATP) à partir de l'énergie lumineuse du soleil. En effet la lumière du soleil est captée par la chlorophylle. On distingue plusieurs formes de chlorophylles (a, b, c, d et f) qui n'ont pas la même structure chimique. Les plus courantes sont les chlorophylles A et B que l'on retrouve chez les plantes supérieures et chez les algues.

La comparaison des pigments chlorophylliens moyen suivant le test de SNK a révélé l'existence de 5 groupe homogènes pour ce la ch a, et 4 groupe homogène pour ch b.

La valeur moyenne sur l'ensemble des variétés est :Cha=1.257 Ch b=4.055

Dans cette étude, les pigments chlorophylliens : *pour la chlorophylle a a varié de 0 .693 mg/g chez les génotypes 1461, TGN1, INRA M3.....à 2.7067 mg/g chez le génotype GT12 alors c'est le plus tolérant par rapport au premier.

*pour la chlorophylle b a varié de 1.67mg/g chez le génotype TF20 à 9.4mg/g chez le génotype GT12. ... alors c'est le plus tolérant par rapport au premier.

3-Densité stomatique

Tableau 6: Valeurs de densité stomatique chez les différents cultivars

La densité stomatique est le nombre de stomates par unité de surface, elle varie en fonction des variétés, de l'âge des plantes et des faces des feuilles.

Génotype	Densité stomatique (st/mm ²)	Génotype	Densité stomatique (st/mm ²)	Génotype	Densité stomatique (st/mm ²)
1-INRA 22	305.000 bcdefg	25-ARG6	384.500 g	24-M2	324.833 cdefg
2-INRA TF1	305.000 bcdefg	26-TG5	267.500 abcde	29-1731	283.167 abcdef
3-INRA TG12	305.000 bcdefg	27-TZ4	303.000 bcdefg		
4-INRA L2	362.667 fg	28-10	289.333 bcdef		
5-INRA BOUK 3	267.333 abcde	29-1731	283.167 abcdef		
6-INRABOUK3'	267.333 abcde	30-1664	322.833 cdefg		
7-INRA SS1	307.000 bcdefg	31-1614	321.167 cdefg		
8-INRA TF 3I	307.000 bcdefg	32-1553	257.500 abcde		
9-INRA M3	206.500 a	33-1461	382.667 g		
10-INRA TGN2	313.000 bcdefg	34-JIM11	275.000 abcde		
11-INRA TF 20	253.500 abcd	35-H2	342.833 efg		
12-INRA SS1	287.167 bcdef	36-TGN3	312.833 bcdefg		
13-INRA S30	315.000 bcdefg	37-TG1	346.667 fg		
14-INRA TG4	271.333 abcde	38-TG10	253.500 abcd		
15-INRA L1	303.167 bcdefg	39-SS3	297.167 bcdef		
16-INRA M4	366.667 fg	40-FER2	241.667 abc		
17-INRA BOUK 5	303.000 bcdefg	41-GTN3	247.200 abc		
18-INRA BOUK 2	362.667 fg	42-TGN1	336.833 defg		
19-TF5	392.000 cdefg	43-DAT	251.500 abcd		
20-GT12	305.000 bcdefg	25-ARG6	384.500 g		
21-GTN8	295.000 bcdefg	26-TG5	267.500 abcde		
22-SS2	232.000 ab	27-TZ4	303.000 bcdefg		
23-TFB2	313.000 bcdefg	28-10	289.333 bcdef		

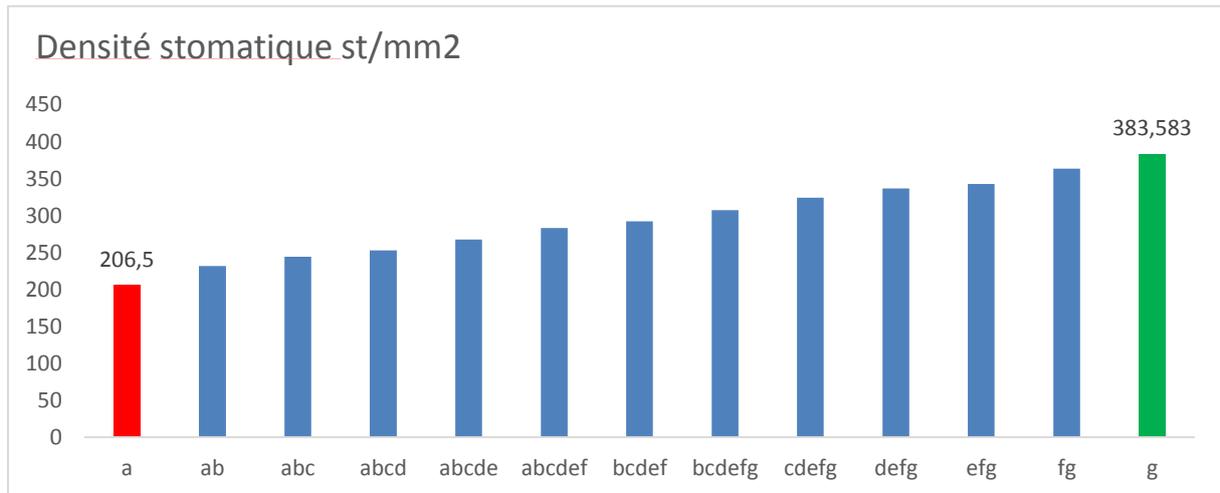


Figure 9: variation de densité stomatique en fonction des cultivars étudiés

L'analyse des paramètres liés aux stomates pour les génotypes étudiés nous a permis de prédire le classement de caroubier vis-à-vis la tolérance aux stress hydrique et au niveau foliaire. Pour ce paramètre stomatique, la plus élevée a été relevée pour les deux génotypes 1461 et ARG6 avec une moyenne de 383 ,583 stomates /mm² et la valeur la plus faible a été observée chez le génotype INRA M3 avec 206.5 stomates /mm². De ce fait, ces deux derniers génotypes seraient plus tolérants aux stress hydrique, alors que les deux premiers génotypes seraient plus sensibles. En fait, une densité stomatique élevée est un indicateur physiologique pour une grande sensibilité de l'arbre au stress hydrique, car dans cette situation, le nombre élevé des stomates provoque la perte d'une grande quantité d'eau par transpiration.

La valeur moyenne sur l'ensemble des variétés est 308.248

4. La teneur en sucres solubles

Les sucres à des doses similaires peuvent induire une résistance.

Tableau 7: Valeurs des sucres solubles chez les différents cultivars.

Génotype	Les sucres solubles (g/l)	Génotype	Les sucres solubles (g/l)
1-INRA 22	3.0900 abcd	27-TZ4	5.4100 abcdef
2-INRA TF1	2.0850 ab	28-10	7.0850 bcdefg
3-INRA TG12	2.2950 abc	29-1731	10.5450 g
4-INRA L2	1.9950 ab	30-1664	10.6100 g

5-INRA BOUK 3	1.8500 ab	31-1614	5.4400 abcdef
6-INRABOUK3'	3.6800 abcde	32-1553	7.9150 cdefg
7-INRA SS1	2.7250 abc	33-1461	9.5000 fg
8-INRA TF 3I	1.8500 ab	34-JIM11	8.4450 defg
9-INRA M3	1.7650 ab	35-H2	8.8250 efg
10-INRA TGN2	2.6400 abc	36-TGN3	3.7100 abcde
11-INRA TF 20	0.9100 a	37-TG1	4.7400 abcdef
12-INRA SS1	4.2800 abcdef	38-TG10	3.4700 abcde
13-INRA S30	1.6950 ab	39-SS3	8.6550 efg
14-INRA TG4	2.9400 abc	40-FER2	4.6950 abcdef
15-INRA L1	4.1050 abcde	41-GTN3	5.1550 abcdef
16-INRA M4	1.3850 ab	42-TGN1	1.2600 ab
17-INRA BOUK 5	2.8500 abc	43-DAT	5.6100 abcdef
18-INRA BOUK 2	4.5300 abcdef	27-TZ4	5.4100 abcdef
19-TF5	2.1900 abc	28-10	7.0850 bcdefg
20-GT12	2.2700 abc	29-1731	10.5450 g
21-GTN8	1.7300 ab	30-1664	10.6100 g
22-SS2	1.0800 ab	31-1614	5.4400 abcdef
23-TFB2	7.1950 bcdef	32-1553	7.9150 cdefg
24-M2	4.9500 abcdef	33-1461	9.5000 fg
25-ARG6	5.2400 abcdef	34-JIM11	8.4450 defg
26-TG5	4.2900 abcdef	35-H2	8.8250 efg

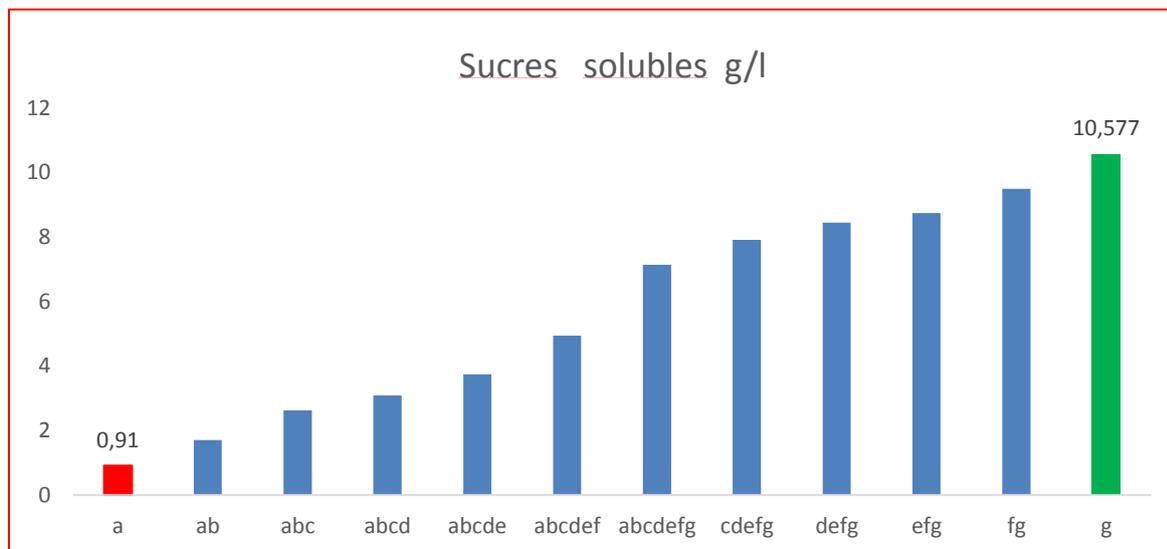


Figure 10: Variation des sucres solubles en fonction des différents cultivars

La comparaison des sucres solubles moyens suivant le test de SNK a révélé l'existence de 12 groupes homogènes.

La valeur moyenne sur l'ensemble des variétés est 4.341

Dans notre étude les sucres solubles varie d'une valeur très faible (0.91 g/l) chez le génotype INRA TF20 ce qui explique que notre plante est sensible vis-à-vis au stress hydrique, à une valeur de 10.57g/l observé chez les génotypes 1731, 1664, alors que la plante est tolérante.

Selon **Dib et al., (1992)**, l'accumulation des glucides dans les feuilles varie d'une espèce à une autre et d'une variété à une autre, selon le niveau de tolérance et l'intensité du stress.

5- La teneur en proline

La proline est l'un des solutés compatibles le plus fréquemment accumulé en réponse à des contraintes environnementales variées et joue un rôle important dans la tolérance des plantes.

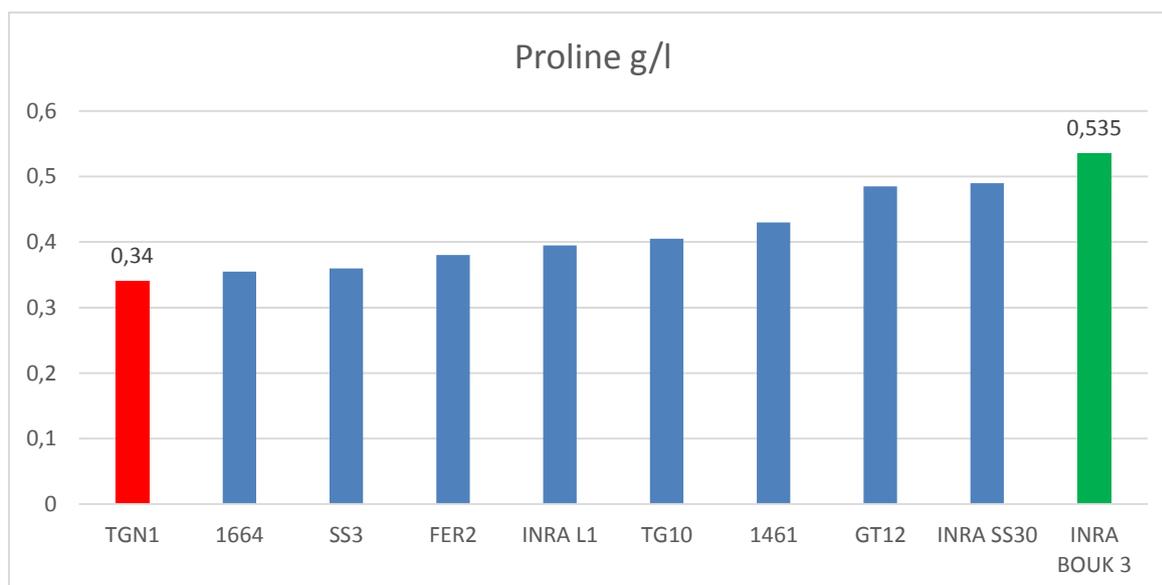


Figure 11 : variation de proline en fonction des différents cultivars

La valeur moyenne sur l'ensemble des variétés est 0.924. La comparaison de proline moyens suivant le test de SNK a révélé l'existence d'un seul groupe homogène.

Dans notre étude la proline varie de 0.34g/l chez le génotype TGN1, alors il serait sensible au stress hydrique contrairement au génotype INRA BOUK 3 qui caractérise par une tolérance au stress hydrique grâce à sa valeur (0.53g/l), on peut ajouter qu'il y a une présence des pigments chlorophylliens très faible.

Conclusion

La présente étude a été portée sur la caractérisation d'une collection de caroubier comprend 43 génotype (cultivars) de l'INRA de Meknès vis-à-vis la tolérance aux stress hydrique en se basant sur la mesure de 6 paramètres indicateurs au stress hydrique.

Notre étude s'intéresse à la caractérisation physiologique et biochimique de 43 génotypes (cultivars) de caroubier pour la tolérance au stress hydrique à travers la mesure de ces paramètres, susceptibles d'être les plus influents dans la tolérance de caroubier à ce type de stress abiotique, Des différences statistiquement significatives ont été relevées pour les six paramètres mesurés, ce qui montre la grande variabilité entre les génotypes (cultivars) de la collection en termes de tolérance au manque d'eau.

Le classement des génotypes (cultivars) en termes de degré de tolérance, a fait ressortir les génotypes ; TGN3, INRA M3, TG1, 1731, 1461, INRA BOUK 3, Comme étant présumés les plus

tolérants au stress hydrique. alors que les présumés plus sensibles sont **INRA 22, TGN3 , TG1, , TG10,GTN3,INRA M4, INRA BOUK 3' , 1461, 1731, INRA BOUK 3,M2,JITM 11, INRA SS1, GTN8, INRA L2, INRA TF20,1731,TZ4,INRA TF3I ,INRA TG12,TGN3, TG5,TF5,INRA L1,INRA TF1, INRA BOUK 5,INRA BOUK 2, ARG6 ,SS3,INRA S30 , FER 2, INRA SS1,TFB2,INRA TGN2,INRA SS1,TGN1, INRA 22, INRA TG4, 1664,SS2,1553,TFB2 ;H2,GT12,1614,DAT,INRA TF20.**

Néanmoins, il est à souligner que les résultats de cette étude restent d'ordre préliminaire puisqu'ils ont été relevés sur une année. Pour une analyse plus complète et évaluation plus précise des cultivars vis-à-vis de leur tolérance et/ou sensibilité au stress hydrique, il reste important de mener cette étude sur 3 ou 4 années à venir pour tenir compte de la variabilité interannuelle et les spécificités des arbres (réserves du bois, système racinaire profond, etc.). En perspective, cette étude devrait s'intéresser d'une part aux effets de ce stress sur les paramètres de production (le rendement et le calibre du fruit, la qualité du fruit et de l'huile) et autre paramètres végétatifs (longueur des pousses, teneur en chlorophylle a et b) et d'autre part à la capacité des cultivars à tolérer d'autres types de stress biotiques et abiotiques (ravageurs, maladies, calcaire, etc.).

Liste des références

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.

- **Aafi A. (1996).** Note technique sur le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.). Centre Nationale de la recherche Forestiere, Rabat (Maroc), pp. 10.
- **Dr. M. AIT CHITT, Mr H. BELMIR ,** Production de plants sélectionnés et greffés de caroubier l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P:6446, Rabat,
- **Battle I. et 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 1-97.
- **Battle, I. et Tous, J. (1997).** Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops (carob tree, *Ceratonia siliqua* L.). International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Rome, Italy.
- **Berrougi H.(2007) ,** le caroubier (*ceratonia siliqua* L) , une richesse nationale aux vertus médicinales , Maghreb canada express vol.5 N°9.
- **Coit ,J.E (1994).** Carob culture in the semi-arid southwest .Ed.W.Rittenhouse, San Diego , California
- **Candolle A.(1983)** .L'origine des plantes cultivées. Balaire , paris , France.
- **Chaves ,M ;M : oliveira MM.(2004) ,** Mechanisms underlying plants resilience to water deficits –prospects for water –savign agriculture .Journal experimental botany 55;2365-2384.
- **Frutos D.(1988).** Efecto de los ácido sulfúrico (GA3) en la germinación, del galgarrobo (*Ceratonia siliqua* L). Pp.265-280 in Proceeding of the II international carob symposium (P.Fito and A .Mulet, Eds.) Valencia, Spain
- **Gharnit N., Mtili N., Ennabili A. T. and Ennabili A. (2001).** Social characterization and exploitation of carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) from Mokrisset and Bab Taza (NW of Morocco). Sci. Lett. 3 n°2.

- **Hillocoat D., Lewis G. & Verdcourt B., (1980).** A new species of *Ceratonia* (LeguminoceaCaesalpinoideae) from Arabia and the Somali Republic. *Kew bull.* 35: 261-271.
- **Hartmann H.T.and Kester D.E.(1983)** .Plant propagation .Principles and practices .4th eddition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- **Koudane N, Bekkouch I, Daroui E .A, Boukroute A et Berrichi A (2012).**Essais de transplantation du caroubier (*Cer-tonia siliqua*) du Bigaradier (*Citrus aurantium*) et du *Brachychiton* (*Brachychiton populneum*) dans la ville d'Oujda .Edit Natur & Technologie.
- **Leroy A. (1929)** . Elevage rationnel des animaux domestiques .Hachette ed . , 448P
- **Loeb H., Vandenplas Y. , Wursch P .(1989).** J.Pediatric Gastronenterol .Nutr . , 8 , 480-485.
- **Neukom H . ,(1988),** Carob bean gun :properties and application .Pp.551-555 in Proceeding of the II international Carob Symposium (P.Fito and A .Mulet , eds).Valencia, spain
- **Noblet J. , Fortune H ., Dubois S et Henry Y., (1989),** Nouvelles méthodes d'estimation detenur en énergie digestible , métabolisable et nette des aliments pour le porc.INRA ed ., Paris .106p.
- **Puban Z. et Wielinga M.W . , (1996) ,** Products derived from carob pods with particular emphasis on carob bean gun (CBG) .Report Technical Commitee of INEC .
- **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.

