



**Projet de Fin d'Etudes**

**Licence Sciences & Techniques**

***Biotechnologie et Valorisation des Phyto-Ressources***

**CONTRIBUTION À LA CARACTÉRISATION DU  
FIGUIER POUR LA TOLERANCE AU STRESS  
HYDRIQUE**

Présenté par : **MORCHID Soundous**

Encadré par :

-Pr. **RACHIQ Saâd** (FST – Fès)

- Dr. **RAZOUK Rachid** (INRA – Meknès)

Soutenu le : le 07/07/2021

Devant le jury composé de :

- |  |           |
|--|-----------|
| ➤ Pr. <b>Mohammed Ali TAHRI EL JOUTI</b> (FST – Fès) | Examineur |
| ➤ Pr. <b>Saâd RACHIQ</b> (FST – Fès)                 | Encadrant |
| ➤ Dr. <b>Rachid RAZOUK</b> (INRA – Meknès)           | Encadrant |

Année universitaire : 2020/2021

# DEDICACE

Je remercie mes très chers parents,  
MORCHID Abdennebi et OUDANIMI Sanae, qui ont toujours  
été là pour moi, «Vous avez tout sacrifié pour vos enfants  
n'épargnant ni santé ni efforts. Vous m'avez donné un  
magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis  
redevable d'une éducation dont je suis fière ».

Enfin, je remercie mon Frère Yassine, pour son soutien  
inconditionnel et ses encouragements.

# Remerciements

Avant toute chose, on remercie Dieu, le tout puissant, pour m'avoir donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Ensuite, j'adresse mes sincères remerciements au Pr. **RACHIQ Saâd** à La Faculté des Sciences et Techniques de Fès pour son aide et ses conseils concernant les missions évoquées dans ce rapport, qu'il m'a apporté lors des différents suivis, et pour son orientation, sa disponibilité tout au long de la période du stage et durant la préparation à la soutenance.

Je tiens tout particulièrement à adresser mes plus sincères remerciements accompagnés de mon profond respect à mon encadrant Dr. **Rachid RAZOUK**, chercheur au Centre Régional de la Recherche Agronomique de Meknès pour tout le temps qu'il m'a consacré, pour m'avoir dirigée et encouragée 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'accordée.

Mes remerciement s'adressent également à l'honorable jury d'avoir accepté d'examiner mon rapport. Merci à Monsieur **Mohammed Ali TAHRI EL JOUTI** professeur à la FST de Fès, d'avoir accepté d'examiner le jury de ce rapport.

Et je profite de cette occasion pour adresser mes vifs remerciements à toute l'équipe de l'unité « **Agronomie et physiologie végétale** », pour leur esprit coopératif et leur aide, ainsi que tous mes collègues du laboratoire pour aide et les sympathiques moments qu'on a passé ensemble.

Je remercie également chaleureusement ma famille, mes amis qui par leurs prières et leurs encouragements, j'ai pu surmonter tous les obstacles. Enfin, je souhaite adresser nos remerciements les plus sincères à tous ceux et toutes celles qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce  
Rapport.

# Résumé

La vulnérabilité de l'arboriculture fruitière marocaine aux stress hydrique, accentuée par les changements climatiques, incite à des réflexions sur l'adoption de stratégies durables d'adaptation. Ain Taoujdate est parmi les régions les plus touchées par ce stress hydrique, ayant connue une régression, voire une disparition d'un nombre d'espèces arboricoles exigeantes en eau tels que le pommier, le cerisier et le poirier, d'où la nécessité de chercher d'autres espèces adaptées aux nouvelles conditions de la région. Le figuier

(*Ficus carica*) pourrait être l'une de ces espèces alternatives de par sa tolérance au stress hydrique et sa capacité d'adaptation aux climats chauds et secs. Dans l'objectif de vérifier cette hypothèse, ce travail, structuré en trois parties complémentaires, s'est intéressé à l'analyse de la qualité du fruit de vingt variétés sous différents niveaux du déficit hydrique et la caractérisation multivariée d'une collection de figuiers située à Ain Taoujdate. En effet pour tous les paramètres étudiés la variabilité est statistiquement significative entre les 20 cultivars du figuier selon le test de comparaison des moyennes de Student –Newman –Keuls (SNK) au seuil de 5 %. Le déficit hydrique induit globalement une détérioration de la qualité du fruit, même à une intensité modérée de 70% d'évapotranspiration de la culture (ETc).

**Mots clés :** *Ficus carica*, irrigation déficitaire, tolérance au stress hydrique, qualité du fruit.

# Sommaire

<b>Première partie : Synthèse bibliographique .....</b>	<b>3</b>
I. Description et classification botanique.....	3
1. Description botanique.....	3
2. Position systématique du figuier .....	3
II. Cycle de la reproduction du figuier :.....	4
III. Exigences écologiques du figuier : .....	6
IV. Techniques culturales : .....	7
1. Taille et entretien : .....	7
2. Multiplication des plants de figuier .....	8
3. Fertilisation.....	8
V. Stress hydrique : .....	9
1. Définition : .....	9
2. Stratégies de résistances : .....	9
VI. Irrigation déficitaire .....	10
1. Définition d'irrigation déficitaire .....	10
2. Objectifs de l'irrigation déficitaire.....	10
<b>Deuxième partie : Matériel et méthodes.....</b>	<b>11</b>
I. Cadre de travail.....	11
II. Matériel végétal et conditions de culture.....	11
III. Paramètres mesurés .....	12
1. Paramètres morphologiques .....	12
2. Paramètres physiologiques.....	13
3. Paramètres biochimique.....	14
3.1 Dosage des sucres solubles totaux.....	14
4. Détermination de la teneur en cires cuticulaires :.....	15
5. Dosage de la proline foliaire .....	15
<b>Troisième partie : Résultats et discussion .....</b>	<b>16</b>
I. Caractérisation morphologiques du figuier pour la tolérance au stress hydrique .....	16
1. Variation de la surface foliaire.....	16
2. Variation de l'épaisseur du pétiole.....	17
3. Variation de la densité des trichomes.....	18
II. Caractérisation physiologiques du figuier pour la tolérance au stress hydrique.....	18
1. Variation de la teneur en pigments chlorophylliens .....	18
2. Variation de la résistance cuticulaire .....	19

3.	<b>Variation de la densité du bois</b> .....	20
III.	Caractérisation biochimiques du figuier pour la tolérance au stress hydrique .....	21
1.	<b>Variation de la teneur en sucres solubles totaux</b> .....	21
2.	<b>Variation de la teneur en cires cuticulaires</b> .....	21
3.	<b>Variation de la teneur en proline</b> .....	22
IV.	Conclusion Générale .....	23

# Liste des figures

Figure 1 : Insecte pollinisateur du figuier *Blastophaga psenes*.

Figure 2 : Cycle biologique du figuier et de son pollinisateur (Vidaud et al. 1997).

Figure 3 : Parcelle du domaine expérimental d'Ain Taoujdate de l'INRA (Mai 2021).

Figure 4 : variation de l'indice de la surface foliaire chez les 20 cultivars du figuier étudiés.

Figure 5 : Variation de l'indice de l'épaisseur du pétiole (épaisseur de la base/ apex).

Figure 6 : Variation de l'indice de densité de trichomes chez les 20 cultivars étudiés du figuier étudiés.

Figure 7: Variation de la teneur en pigments chlorophylliens chez les 20 cultivars étudiés du figuier.

Figure 8 : Variation de la résistance cuticulaire chez les 20 cultivars étudiés du figuier.

Figure 9 : Variation de la densité du bois chez les 20 cultivars du figuier.

Figure 10 : Variation de l'indice des sucres solubles totaux chez les 20 cultivars étudiés du figuier.

Figure 11 : Variation de l'indice des cires cuticulaires chez les 20 cultivars étudiés du figuier.

Figure 12 : Variation de l'indice de la teneur en proline chez les 20 cultivars étudiés du figuier.

# Liste des tableaux

Tableau 1 : classification botanique du figuier

Tableau 2 : propriétés physico-chimiques du sol au niveau du verger expérimental

# Liste des abréviations

% : Pourcentage

ACP : Analyse en Composantes Principales

Ch a : Chlorophylle a

Ch b : Chlorophylle b

DO : Densité Optique

ETc : Evapotranspiration de Culture

FAO : Food and Agriculture Organisation

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

SNK :Student –Newman –Keuls

# INTRODUCTION

Au Maroc, l'agriculture est soumise de plus en plus à des conditions de sécheresse printanière et estivale provoquant un stress hydrique important. Le figuier, est une espèce exigeante en eau et ne peut être cultivée en régime pluvial. Ceci constitue un défi majeur pour la pérennité de la production de cette espèce au Maroc qui connaît une disponibilité limitée en eau d'irrigation avec des prévisions futures très alarmantes. Cela impose l'adoption d'une irrigation raisonnée et des techniques permettant l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau chez diverses plantes soumises au stress hydrique.

Le figuier souvent évoqué dans les anciens textes sacrés notamment dans le coran - cité dans « la sourate Attine »- est un arbre familier du pourtour méditerranéen, il est probablement originaire du Moyen Orient et naturalisé dans plusieurs régions du monde. Les variétés et les clones du figuier, cultivés actuellement au Maroc, sont probablement issus d'une sélection locale, ainsi d'une petite partie introduite de pays avoisinants la Méditerranée (**OUKABLI et al. 2001 ; ACHTAK et al. 2009**).

L'espèce est diploïde ( $2n = 2x = 26$ ) et se reproduit facilement et spontanément (**Valdeyron, 1979 ; Weiblen 2000**).

La superficie totale occupée par le figuier au Maroc est d'environ 61.498 ha, et donne une production estimée à 128.380 t de figues fraîches, soit un rendement moyen de 2,05 t/ha. La production nationale est de l'ordre de 11% de la production mondiale de figues et le Maroc se classe au 3ème rang des pays producteurs du monde. La Turquie arrive en tête avec 306.499 tonnes soit environ 27% de la récolte mondiale, suivie par l'Égypte (189.339 tonnes ; 16 %) et l'Algérie en 4ème rang (109.214 tonnes ; 10 %). Parmi les autres pays producteurs, il y a les pays du Maghreb, l'Iran et la Syrie (**FAO STAT 2018**).

Au Maroc, la culture de figuier est très ancienne et elle se trouve dans différentes régions avec des conditions climatiques contrastées. Cette culture est concentrée principalement dans les régions montagneuses du Nord marocain (Taounate, Chefchaouen et Tétouan) où les agriculteurs ont acquis un savoir-faire local important. Le figuier existe également dans différentes régions (régions côtières, plaines, oasis..). Sa culture est orientée principalement vers la production de figues sèches. Ce secteur constitue une source de revenus importante pour



les autochtones et contribue à la promotion de l'emploi en milieu rural (**Oukabli, 2003**). D'après les bilans des campagnes agricoles, les extensions des superficies restent faibles et elles passent de 32 000 ha en 1985 à 61 498 ha en 2018 avec une production actuelle de l'ordre de 128 380 tonnes/an (**FAOSTAT, 2018**). Actuellement, un regain d'intérêt a été observé pour cette espèce en raison d'une demande, de plus en plus importante, sur le marché national et international (**Oukabli et Mamouni, 2008**). La culture de figuier s'étend d'une extrémité à l'autre du pays et dans les régions froides et humides comme dans les régions chaudes et sèches.

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 du figuier, composée de 20 cultivars au domaine expérimental d'Ain Taoujdate, à travers la détermination des paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques fiables liés à la croissance végétative, la transpiration et au statut hydrique des arbres fruitières, susceptibles d'être les plus influents par rapport à ces paramètres.

Par conséquent, le mémoire est présenté sous forme de trois parties :

- Dans la première partie on donnera une synthèse bibliographique qui traitera des généralités sur le figuier, le comportement des plantes face à un stress hydrique,
- Dans la deuxième partie, une description du matériel végétal est donnée ainsi que les conditions de culture et la méthodologie adoptée pour atteindre les objectifs fixés dans ce travail,
- Une troisième partie, sera consacrée à la présentation des résultats obtenus qui seront ensuite discutés au regard des objectifs initiaux fixés.

Enfin, une conclusion générale résumera les principaux acquis de cette étude et précisera des perspectives pour la poursuite de ce travail.

# Première partie : Synthèse bibliographique

## I. Description et classification botanique

### 1. Description botanique

Le figuier commun est un arbre fruitier de la famille des Moracées. Cette famille comporte environ 1500 espèces regroupées en 52 genres dont le genre *Ficus* décrit, par Linné qui comprend près de 700 espèces (**Weibes, 1979**). L'espèce *Ficus carica* comprend environ 700 variétés **Vidaud (1997)**. Plusieurs dénominations existent et une grande variabilité phénotypique liée à l'environnement et l'apparement entre le matériel sauvage et cultivé rend l'identification variétale délicate (**Condit, 1955**).

Les figuiers domestiques se présentent en deux types :

- ✚ Figuier unifère qui ne donne qu'une seule récolte en automne ;
- ✚ Figuier bifère qui donne deux récoltes : des figues fleurs qui sont portées par le bois de l'année précédente et des figues d'automne qui sont portées par la pousse de l'année (**Oukabli, 2003**).

De même les figuiers se distinguent en 4 types :

- ✚ Figuiers parthénocarpiques capables de donner des fruits sans fécondation (comestibles en une récolte : unifère ou deux récoltes: bifère),
- ✚ Type « *Smyrne* » dont la fécondation est obligatoire pour la production de fruits en automne,
- ✚ Type « *San Pedro* » qui donne deux récoltes; la première est constituée par les figues fleurs (parthénocarpiques). La deuxième récolte qui correspond aux figues d'automne nécessite la caprification.
- ✚ Caprifiguier qui ne donne pas de fruits comestibles (pas d'évolution des fleurs en fruits), mais héberge des balostrophages qui assure la caprification des figues.

### 2. Position systématique du figuier

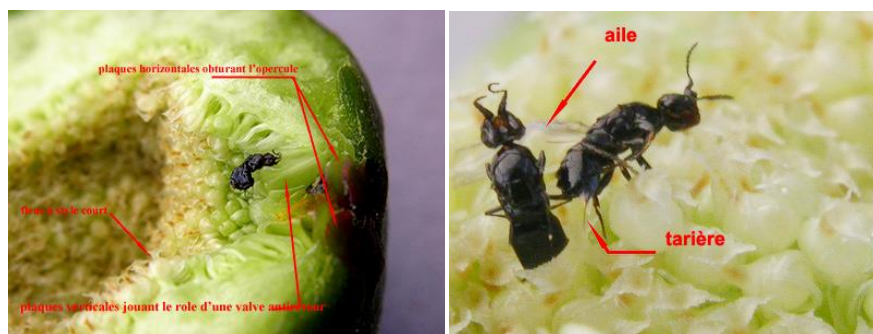
Systématiquement, **Gaussen et al, (1982)** ont décrit la classification botanique de figuier comme suit : (Tableau 1)

*Tableau 1 : classification botanique du figuier*

<b>Règne</b>	<b>Végétal</b>
<b>Embranchement</b>	Phanérogames
<b>Sous-embranchement</b>	Angiospermes
<b>Classe</b>	Dicotylédones
<b>Sous-classe</b>	Hamamélidées
<b>Série</b>	Apétales unisexuées
<b>Ordre</b>	Urticales
<b>Famille</b>	Moracées
<b>Genre</b>	<i>Ficus</i>
<b>Espèce</b>	<i>Ficus carica L.</i>

## II. Cycle de la reproduction du figuier :

Les figuiers sont soit monoïques (les fleurs des deux sexes sont réunies dans une même figue), soit dioïques. Dans ce dernier cas, les arbres mâles (caprifiguiers) portent des figues dont les fleurs ne produisent que du pollen et les arbres femelles portent des figues dont les fleurs ne produisent que des graines. Chaque espèce de figuier est associée à un pollinisateur dans le cadre d'un mutualisme spécifique et obligatoire (Anstett et al. 1997). *Ficus carica* est une espèce dioïque associée à un blastophage comme pollinisateur Blastophagapsenes (Anstett et al. 1997). (Voir Figure 1)



*Figure 1 : insecte pollinisateur du figuier Blastophaga psenes*

Le cycle de son développement comporte quatre phases (Vidaud et al. 1997) :

- ❖ Phase de dormance de la figue et de l'insecte, et qui se déroule pendant l'hiver (cycle 1 a et 1 b)
- ❖ Phase de reprise de la croissance végétative (cycle 2a et 2b) du développement des larves de blastophages (cycle 2a) qui se déroulent en printemps suivis par l'apparition des femelles adultes en mai (cycle 3a). Ces femelles (appelées mames) ne portent pas de pollen car dans les figues de caprifiguiers ayant passé l'hiver, les fleurs mâles n'ont pas d'anthères développées ne produisent quasiment pas de pollen car les anthères sont peu développées. A ce stade, seules les figues de caprifiguiers sont réceptives et les insectes femelles y pondent leurs œufs (cycle 3a). Elles sont réceptives pendant 2 à 3 semaines et celles non visitées avortent et tombent (**Khadari, 1995**).
- ❖ Une nouvelle génération de blastophage se développe et arrive à maturité en début juillet et les premières femelles qui émergent sont chargées de pollen et elles sont attirées par les figues des figuiers femelles (cycles 4a et 4b) .La femelle pénètre dans la figue et tente de pondre. La longueur du style de ces fleurs, qui est supérieure à la longueur de l'ovipositeur de l'insecte, empêche toute ponte. En revanche, au cours de ces tentatives de ponte, l'insecte dépose passivement le pollen sur les stigmates permettant la fécondation de l'ovule et son développement en graine. Ces figues sont les futurs fruits comestibles (figues d'automne).
- ❖ Les femelles qui émigrent tardivement, pénètrent dans les figues de caprifiguiers (cycle 5a) et pondent leurs œufs sans difficulté, Les larves du blastophage commencent à se développer (cycle 6a), mais l'hiver vient bloquer leur développement et un nouveau cycle redémarre. (Voir Figure 2)

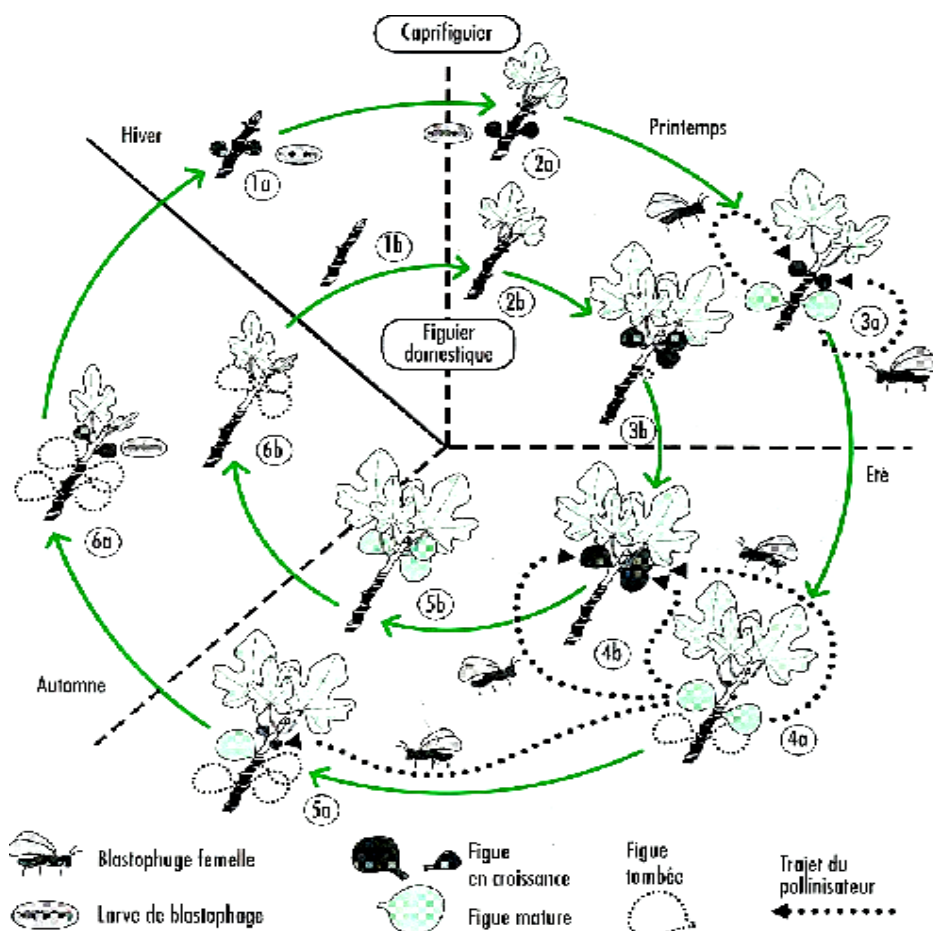


Figure 2 : Cycle biologique du figuier et de son pollinisateur (Vidaud et al. 1997).

### III. Exigences écologiques du figuier :

#### • Exigences climatiques :

Le figuier s'adapte à de nombreux climats, des tropiques aux régions tempérées chaudes. Cependant, c'est le climat austral subtropical, voire tropical et, qui lui convient le mieux. Les meilleurs fruits sont obtenus dans les régions subtropicales, où la période des températures élevées concorde avec la maturité des figues, et dans la région méditerranéenne. Le figuier exige une petite dose de froid en hiver pour son évocation florale, mais il craint les conditions généralement froides des hautes altitudes (Hmid, 2013). Il peut bien supporter la sécheresse, mais cela peut influencer la qualité de ses fruits. Un climat chaud et sec sera bon pour le figuier à condition que ses racines ne manquent pas d'eau (Afaq et al. 2005). Il est très intéressant pour les régions arides et semi-arides (Melgarejo, 2003). En dehors des régions subtropicales, le figuier pousse bien dans toutes les régions où la température ne descend pas en dessous de -15

°C et certains cultivars acides d'Asie centrale peuvent même survivre à des températures de – 25 °C ou -30 °C (**Hmid, 2013**).

- **Exigences édaphiques :**

Le figuier s'adapte facilement aux conditions marginales du fait qu'il est assez tolérant aux sols à teneur élevée en calcium et à la salinité (**Aksoy, 1998**). L'arbre tolère les sols à pH allant de 5,5 à 8 et bien drainés au moins à une profondeur de 1 m. L'espèce pousse le mieux dans les sols riches, calcaires et suffisamment frais (**Ferguson et al., 1990**). Le figuier subsiste aussi en zones montagneuses caractérisées par des sols pauvres, riches en calcaires, en terrains accidentés où les pentes dépassent 25% et sous climat rude (**Bourayou et al. 2005**).

- **Exigences hydriques :**

Les irrigations nécessaires doivent s'effectuer dans des intervalles de temps réguliers pour éviter les éclatements des fruits. Le figuier est une espèce caractérisée par ce désordre physiologique dont la sensibilité varie selon la variété et les conditions de culture. Les pratiques les plus courantes font état de 13 à 18 d'apports d'eau effectués entre le mois de mars et le mois d'octobre soit une moyenne de 10000 m<sup>3</sup>/ha, Il est nécessaire de garder le système racinaire constamment frais par des irrigations régulières et bien raisonnées (**Haddioui, 2012**).

#### **IV. Techniques culturales :**

##### **1. Taille et entretien :**

La taille est nécessaire pour stimuler la production de nouvelles pousses qui vont porter les fruits, il faut privilégier une taille en fin d'hiver ou au début du printemps lors de la montée de sève. Spécialement en mars-avril, il est donc recommandé de pincer les jeunes rameaux, c'est à dire de sectionner l'extrémité avec ses ongles. Ainsi l'utilisation d'un sécateur et coupez au-dessus d'un œil tourné vers l'extérieur les pousses de l'année précédente. Il faut procéder, une fois par an, à un ameublissement du sol et à la destruction des mauvaises herbes. Au cours de l'été, plusieurs sarclages sont nécessaires afin de maintenir les racines humides (**Bouaicha, 2017**). Il faut faire attention aux engrais, et éviter les excès d'azote, qui risquent de faire éclater les fruits sur l'arbre et faire proliférer les brindilles, gourmands et drageons. Les apports du phosphore ont une influence favorable sur la fructification, et doivent être appliqués en hiver

(Wald, 2009). Au- cours de la première année, un apport de 10-15 g d'azote par plant et par mois active la croissance. Au cours de la 2eme année, on doit apporter pour chaque plant 100 g d'N, 200 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 100 g de K<sub>2</sub>O avant floraison et 100 g d'N, quatre mois après (Wallali, 2003). Les apports d'eau améliorent le calibre et la qualité des fruits. Ils doivent être copieux et peu espacés en été et à l'approche de la maturité (tous les 15 jours), pour éviter l'éclatement des fruits qui les rend impropres à la consommation et à la commercialisation (Betioui, 2017).

## 2. Multiplication des plants de figuier

Le mode de multiplication le plus courant est le bouturage. Les boutures sont prélevées sur des arbres en pleine production et choisis pour leur productivité,

La qualité de leurs fruits et le nombre de leurs récoltes (unifère ou bifère). Le type bifère est généralement préféré à unifère. Les bois bien aoûtés sont prélevés sur des rameaux d'un an et mis en terre en lignes espacées de 1 m avec 15 cm entre les plants. L'élevage de ces boutures dure de un à deux ans. Leur transpiration en pleine terre a lieu entre janvier et mars, parfois jusqu'en août dans la mesure où l'eau est disponible. La multiplication par rejet constitue une alternative en cas d'échec du bouturage l'agriculteur procède à une sélection de 3 à 4 rejets pour rajeunir le pied –mère. Deux ans après lorsque les rejets atteignent 1,50 m, un seul est conservé, ce mode de multiplication permet d'obtenir des sujets de bonne vigueur à cause du système racinaire déjà développé par le pied –mère (Walali, 1995).

## 3. Fertilisation

En culture traditionnelle, le figuier reçoit rarement une fumure minérale. Une fumure organique est apportée au pied des arbres lors de la confection des impluviums. Quand le figuier est associé aux cultures annuelles, il profite des fertilisants qui leur sont apportés. Dans certaines zones du Rif, un engrais ternaire, le Dahir n°14-28-1 4 est apporté en fumure de fond à raison de 80 à 100 kg/ha 46 % est répandue en couverture à une dose de 60 à 80 kg/ha (Walali, 1995).

## V. Stress hydrique :

### 1. Définition :

Le stress hydrique correspond à une situation où la plante subit une diminution plus prononcée de sa teneur en eau qui va affecter son métabolisme d'une manière importante (**Tardieu, 2014**).

### 2. Stratégies de résistances :

Le stress hydrique est défini comme une réponse de la plante à des changements environnementaux (lumière, eau, carbone, minéraux) induisant une réduction du développement et de la croissance (**Boyko etKovalchuk, 2011**). Il y a différents niveaux moléculaires de 30 réponses (ADN, chromatine, transcrits, protéines) à différents échelles de la plante (de la cellule à la plante entière). Les réponses des plantes à ces stress sont soit plastiques et réversibles, soit irréversibles (**Cramer et al. 2011, Skirycz etInze, 2010**). Pour s'adapter au stress hydrique, les plantes peuvent utiliser 3 stratégies: l'échappement, l'évitement ou la tolérance (**Chaves et al. 2007**) :

- **L'échappement** nécessite un haut degré de plasticité. La plante est capable de terminer son cycle de vie avant que les effets du déficit hydrique ne se produisent. Cette stratégie est utilisée en zones arides où les plantes natives sont capables d'utiliser au maximum les ressources du sol afin d'avoir des taux de croissance importants tant que l'humidité du sol est maintenue, et un cycle de vie court.
- **L'évitement** à la sécheresse permet de limiter les pertes en eau et d'optimiser l'utilisation de la ressource en eau disponible. Elle permet d'éviter une perte d'homéostasie. Les plantes utilisent une variété de traits adaptatifs afin d'empêcher la déshydratation tissulaire, soit en maintenant un potentiel hydrique élevé, soit en tolérant un potentiel bas.
- **La tolérance** se réfère à la capacité de la plante à maintenir ses grandes fonctions physiologiques (nutrition, photosynthèse, reproduction...) pendant des périodes où le potentiel hydrique dans les tissus est bas. Ces stratégies ne sont pas exclusives, et en pratique les plantes peuvent combiner différents types de réponses.



## VI. Irrigation déficitaire

### 1. Définition d'irrigation déficitaire

L'irrigation déficitaire consiste à apporter un volume d'irrigation saisonnier ne satisfaisant que partiellement les besoins hydriques de la plante. L'une des techniques qui commence à faire l'objet d'une certaine diffusion est celle du déficit hydrique contrôlé (IDR). Cette stratégie prévoit la réduction de l'apport d'eau aux stades phénologiques les moins critiques en termes de production et apport hydrique adéquat au cours des phases critiques (**Razouk, 2015**)

### 2. Objectifs de l'irrigation déficitaire

Les pénuries croissantes d'eau à travers le monde et les coûts de l'irrigation conduisent à mettre l'accent sur le développement de méthodes d'irrigation qui minimisent l'utilisation de l'eau. A cet égard et durant ces dernières années plusieurs concepts d'irrigation dite "déficitaire" ont été développés. Ceux-ci consistent à déterminer de manière raisonnée des doses d'irrigation inférieures aux besoins de confort de la plante, n'affectant ni le rendement ni la qualité de la production. Sachant qu'une alimentation non restreinte favorise en priorité la croissance végétative et un grossissement parfois exagéré des fruits, une économie non négligeable peut ainsi être réalisée. Une certaine amélioration de la qualité des fruits peut même être enregistrée, notamment pour le sucre et la fermeté (**Vaysse et al. 1990**). La stratégie pourrait présenter autres avantages à savoir la réduction des risques de maladies et de ravageurs, la réduction des pertes de nutriments par lessivage et l'amélioration de la qualité nutritionnelle des fruits. Dans les régions arides, des cultures résistantes au stress hydrique et tolérantes aux milieux arides sont essentielles à la durabilité de l'agriculture (**Geerts, 2009**).

## Deuxième partie : Matériel et méthodes

### I. Cadre de travail

L'objectif global de ce travail de recherche était la caractérisation multivariée d'une collection de figuier de l'INRA de Meknès, composée de 20 cultivars installés au domaine expérimental d'Ain Taoujdate, en termes de tolérance au stress hydrique.

L'étude suivante a consisté en la caractérisation de la collection de figuier pour la tolérance au stress hydrique en période de floraison, par l'analyse de paramètres physiologiques susceptibles d'être les plus influents en termes de tolérance au stress hydrique.

### II. Matériel végétal et conditions de culture

Le matériel végétal évalué est constitué de 20 cultivars de figuiers, installés en collection au domaine expérimental à Ain Taoujdate-Meknès mesuré en (Avril –Mai). La collection est sous stress hydrique modéré, irriguée à 70% de l'Etc. Tous les cultivars étaient dans les mêmes conditions géographiques et subissant les mêmes pratiques horticoles de conduite. (voir Figure 3)



*Figure 3 : Parcelle du domaine expérimental d'Ain Taoujdate de l'INRA (Mai 2021).*

Le sol du site expérimental est alcalin, de texture argileuse, assez riche en matière organique et éléments nutritifs (Tableau 2).

**Tableau 2 : propriétés physico-chimiques du sol au niveau du verger expérimental**

<b>Paramètre</b>	<b>Valeur</b>	<b>Valeurs adéquates</b>	<b>Evaluation</b>
<b>pH</b>	7.5	6.5 – 7	Elevé
<b>Matière organique (%)</b>	1.36	> 1.5	Pauvre
<b>Conductivité électrique</b>	0.26	< 3 ms/cm	Bon
<b>Phosphore assimilable ( P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; ppm)</b>	26.27	> 29 ppm	Pauvre
<b>Potassium échangeable ( K<sub>2</sub>O; ppm)</b>	496.54	> 150 ppm	Bon

### **III. Paramètres mesurés**

La caractérisation de la collection du figuier a été réalisée sans application effective du stress hydrique. En fait, elle s'est basée sur des paramètres physiologiques, parmi les plus influents dans la tolérance à ces stress suivant des travaux antérieurs de recherche sur ce sujet. En effet, les observations ont concerné 3 types de paramètres liés à la tolérance au stress hydrique, à savoir : les paramètres morphologiques (surface foliaire, l'épaisseur du pétiole et la densité des trichomes), les paramètres physiologiques (teneur en pigments chlorophylliens, résistance cuticulaire, densité du bois et l'élasticité du pétiole) ainsi que les paramètres biochimiques (teneur en sucres solubles totaux, concentration des cires cuticulaires, et la teneur en proline).

#### **1. Paramètres morphologiques**

##### **1.1 Surface foliaire :**

Pour la mesure de la surface foliaire, 3 feuilles bien développées saines ont été choisies de chaque cultivar. La surface a été déterminée à travers la mesure de la longueur et largeur de chaque feuille, en utilisant la formule de détermination de la surface d'une ellipse (**SF =3.14 x L x l**).

### ***1.2 Epaisseur de pétiole :***

Le pétiole a été mesuré à l'aide d'un pied à coulisse graduées 0.1mm, à quatre points équidistants différents en utilisant la pointe sur le pied à coulisse et la moyenne obtenue était l'épaisseur de pétiole.

### ***1.3 Densité des trichomes :***

La détermination de la densité des trichomes a été faite à l'aide d'un microscope électronique (Objectif x40), munie d'une caméra reliée à l'ordinateur. Des échantillons de feuilles très développées ont été prélevés de chaque ramification et observés sur leurs faces inférieures. Pour chaque arbre trois répétitions ont été faites. 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 le parenchyme de la surface de la feuille. Après élimination du parenchyme, une mince couche 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 des trichomes et ainsi déterminer leur densité.

## **2. Paramètres physiologiques**

### ***2.1 Teneur en pigments chlorophylliens***

La concentration des pigments chlorophylliens (Cha et Chb) a été mesurée par spectrophotométrie. Les analyses ont été réalisées sur des échantillons composites de 3 grandes feuilles par arbre par traitement hydrique pour chaque cultivar. En effet, après lyophilisation et broyage des échantillons de feuilles, 5 mg du broyat est agitée dans 1 ml d'acétone 80% dans des tubes Eppendorf pendant 1h 30min jusqu'à l'extraction de la totalité des pigments. L'extrait obtenu est centrifugé à 4000 tr/min pendant 15 min sous une température de 4°C. La densité optique de la totalité du surnageant obtenue est mesurée à 645 et 663 nm. Les concentrations des pigments chlorophylliens sont données par les formules suivantes en (mg/l) (Singh et Billore, 1975) :

$$\text{Ch a} = 12.7 (\text{DO663}) - 2.69 (\text{DO645}) \quad \text{Ch b} = 22.9 (\text{DO645}) - 4.86 (\text{DO663})$$

## ***2.2 Résistance cuticulaire***

La cinétique de la résistance cuticulaire est déterminée en choisissant 3 feuilles bien développées à partir des pousses de l'année de chaque variété de figuier. Le poids des feuilles est mesuré après chaque 10 min de séchage à 30 °C pendant une durée totale de 90 min.

## ***2.3 Densité du bois***

Ce paramètre a été mesuré sur des rameaux de même âge, de même diamètre. Un rameau d'environ 1cm de diamètre et 30 cm de long est prélevée sur chaque ramification. Un segment de 10 cm de long est coupé ensuite pour chaque rameau. Puis on pèse les rameaux frais, le volume frais du segment est immergé dans une éprouvette remplie d'eau posée sur une boîte de pétri ou directement sur une balance de précision. La masse d'eau déplacée est convertie en volume, et les rameaux sont mis à l'étuve à une température de 103 °C pendant 48h pour le séchage.

## ***2.4 Elasticité du pétiole***

Pour quantifier la résistance du pétiole à la flexion (élasticité), un poids standard de 0.723 g a été suspendu à la feuille test par un fil de 2cm de longueur maintenu par une broche positionnée à 4 cm exactement du point d'attache de la feuille à la tige.

# **3. Paramètres biochimique**

## **3.1 Dosage des sucres solubles totaux**

Les sucres solubles ont été extraits selon la méthode de Babu et al. (2002). Ainsi, 50 mg de la pulpe, prélevée d'une même partie des fruits (partie basale) et préalablement lyophilisée, ont été broyés dans un mortier en présence de 1 ml d'éthanol 80%. L'extrait ainsi obtenu est centrifugé pendant 40 mm sous 4°C à 2000 tr/min, le surnageant recueilli est ensuite conservé à froid en attente du dosage des sucres totaux solubles 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 de l'extrait. Le mélange est chauffé au bain marie à 100 °C pendant 5min. Après refroidissement, la densité optique est lue à 485nm contre un blanc dans lequel 50 µl 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 (0 à 1 mg/l). Les teneurs sont exprimées en mg/g de matière sèche.

#### **4. Détermination de la teneur en cires cuticulaires :**

La teneur foliaire en cires cuticulaires a été déterminée suivant la méthode décrite par Marcel et Beattie (2002). En effet les cires ont été extraites sur cinq feuilles prélevées de la partie ensoleillée de chaque arbre et préalablement lavée 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, puis pesée et rapportée au poids total des cinq feuilles. La quantité des cires cuticulaires est ainsi exprimée en mg de matière fraîche.

#### **5. Dosage de la 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, 1ml de la solution d'extraction est ajoutée à 1 ml d'acide acétique, 25 mg de ninhydrine et 1 ml du mélange eau distillée-acide acétique-acide orthophosphorique (120, 300, 80: v/v/v). L'ensemble est porté à ébullition pendant 30 mn au bain-marie, puis refroidis et additionné à 5 ml de toluène. Après agitation au vortex, une pincée du sulfate 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)

## Troisième partie : Résultats et discussion

### I. Caractérisation morphologiques du figuier pour la tolérance au stress hydrique

La caractérisation morphologique de 20 cultivars du figuier, pour la tolérance au stress hydrique est présentée dans les histogrammes (figures 4,5 et 6) comme suit :

#### 1. Variation de la surface foliaire

L'analyse de la surface foliaire a montré que la valeur la plus élevée a été enregistrée chez le cultivar ROYAL BLANCK avec une valeur de 1699.33 cm<sup>2</sup>, et la valeur la plus faible a été observée chez le cultivar FASSI 2267 avec une valeur de 337.33cm<sup>2</sup> et une moyenne de 735.1498 cm<sup>2</sup> et un écart type de :  $\pm \sigma : 20.0317$  .Sachant que plus que la surface foliaire est grande plus que la résistance au stress serait importante et vice versa .Ce qui implique que le cultivar ROYAL BLANCK serait plus résistant au stress hydrique par contre le cultivar FASSI 2267 serait assez sensible face au stress hydrique, alors notre résultat a indiqué que les réponses morphologiques plus spécifiquement la variation de l'indice de la surface foliaire ont amélioré la capacité des plantes à survivre et à croître pendant les périodes de stress. Ce résultat semble similaire avec celui trouvé par Quarrier et Jones (1977) qui ont confirmé que le stress hydrique diminuait la taille moyenne des cellules, et augmentaient la production de trichomes pour envisagé un stress hydrique prolongé. (Voir Figure 4)

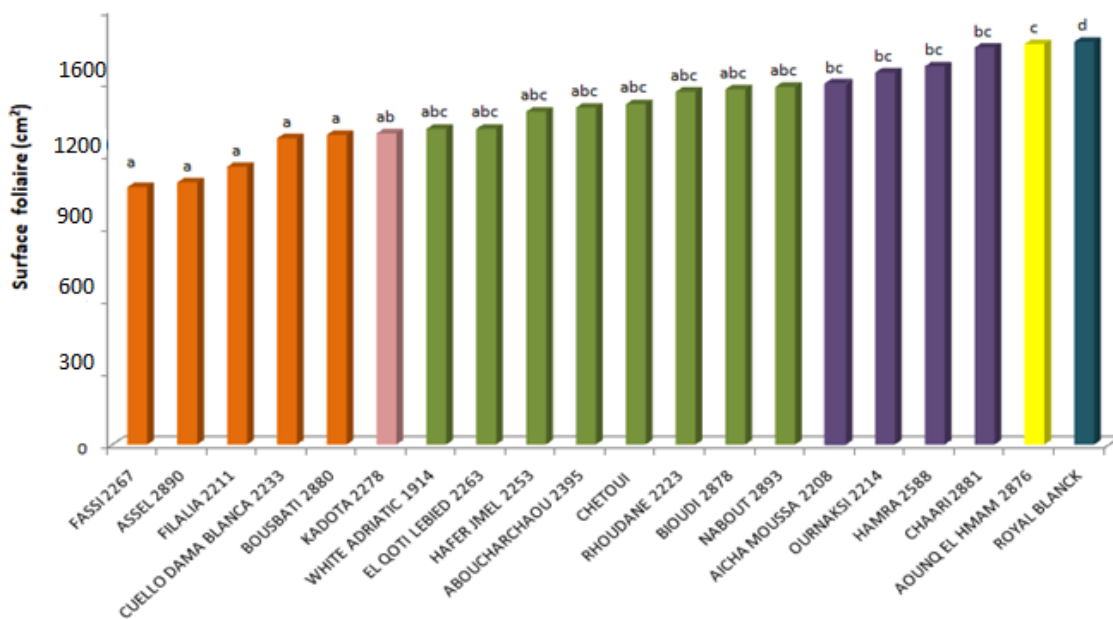


Figure 4 : variation de l'indice de la surface foliaire chez les 20 cultivars du figuier étudiés.



## 2. Variation de l'épaisseur du pétiole

L'analyse des paramètres liés à l'épaisseur du pétiole pour les variétés étudiées nous a permis de prédire le classement des cultivars du figuier vis-à-vis la tolérance aux stress hydrique. En effet pour l'épaisseur de la base la valeur la plus élevée 5.5633 mm a été observé chez le cultivar CHAARI 2881 et la valeur la plus faible 3.5567 mm a été enregistré chez le cultivar FASSI 2267 ainsi une moyenne de 4.6571 mm. En parallèle pour l'épaisseur de l'apex la valeur la plus élevée 5.2000 mm a été observé chez le cultivar EL QOTI LEBIED 2263, et la valeur la plus faible 2.9833 mm a été enregistrée chez le cultivar FASSI 2267 et une moyenne de 4.2317 mm et pour l'écart-type du l'épaisseur du base c'est +/-  $\sigma$  : **0.0366** et pour l'épaisseur de l'apex son écart-type est +/-  $\sigma$  : **0.0411**. On remarque aussi que l'épaisseur du pétiole suit la même évolution que la surface foliaire. (Voir Figure 5)

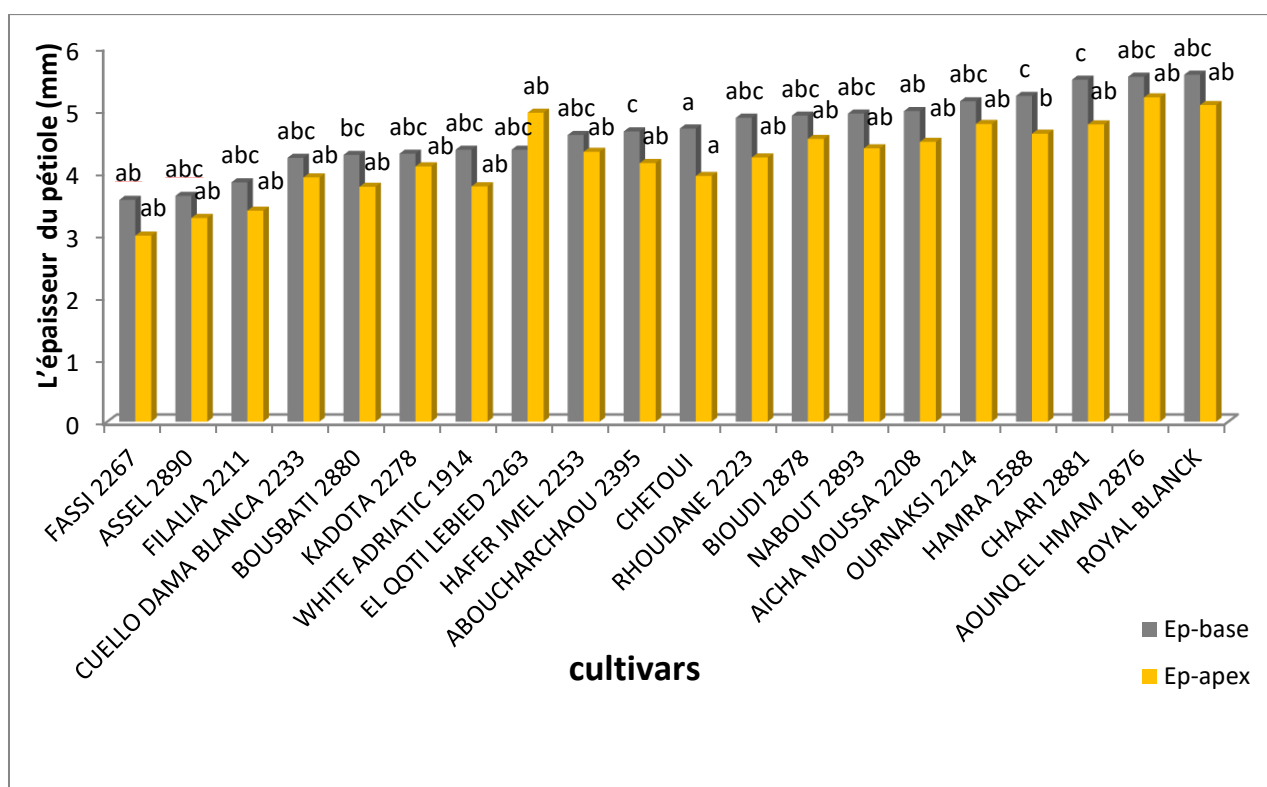
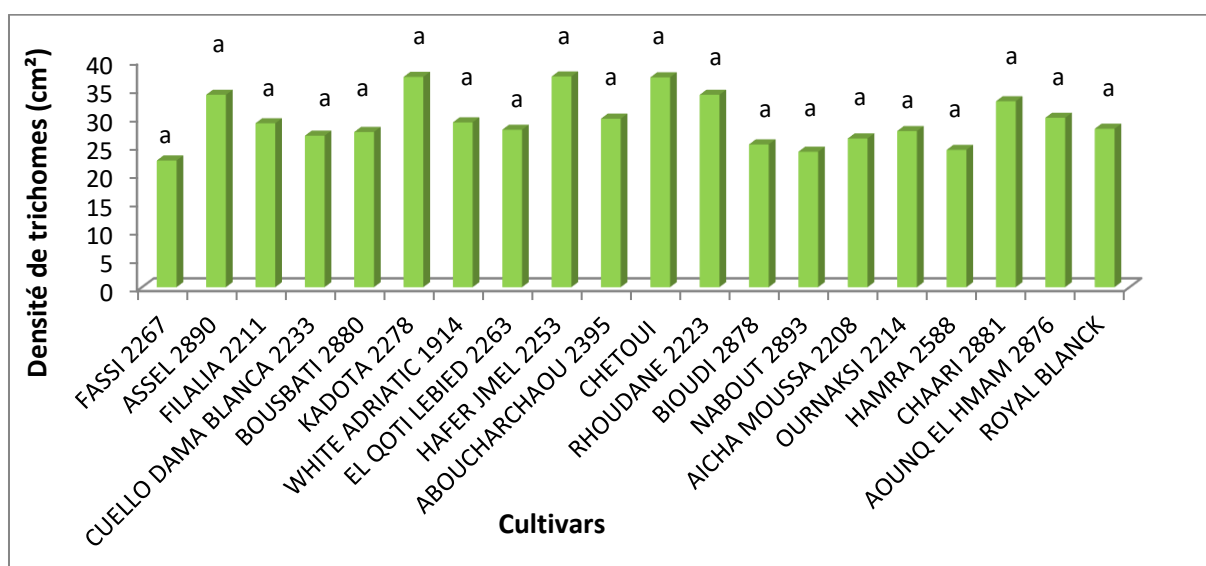


Figure 5 : Variation de l'indice de l'épaisseur du pétiole (épaisseur de la base/apex).



### 3. Variation de la densité des trichomes

L'analyse des paramètres liés à la densité des trichomes pour les variétés étudiées nous a permis de prédire le classement des cultivars du figuier vis-à-vis la tolérance aux stress hydrique, alors la valeur la plus élevée 37.2267 Trichomes/mm<sup>2</sup> a été enregistré pour le cultivar HAFER JMEL 2253 et la valeur la plus faible 22.3833 Trichomes/mm<sup>2</sup> a été observée chez le cultivar FASSI 2267 et une moyenne de 27.7809 Trichomes/mm et d'un écart-type de +/-  $\sigma$  : **0.3300**. Ainsi d'après l'analyse du graphe on peut conclure que la densité des trichomes suit une évolution aléatoire par rapport à la surface foliaire. Alors la densité des trichomes statistiquement significative entre les 20 cultivars du figuier selon le test de comparaison des moyennes de Student –Newman (SNK) au seuil de 5 %. (Voir Figure 6)



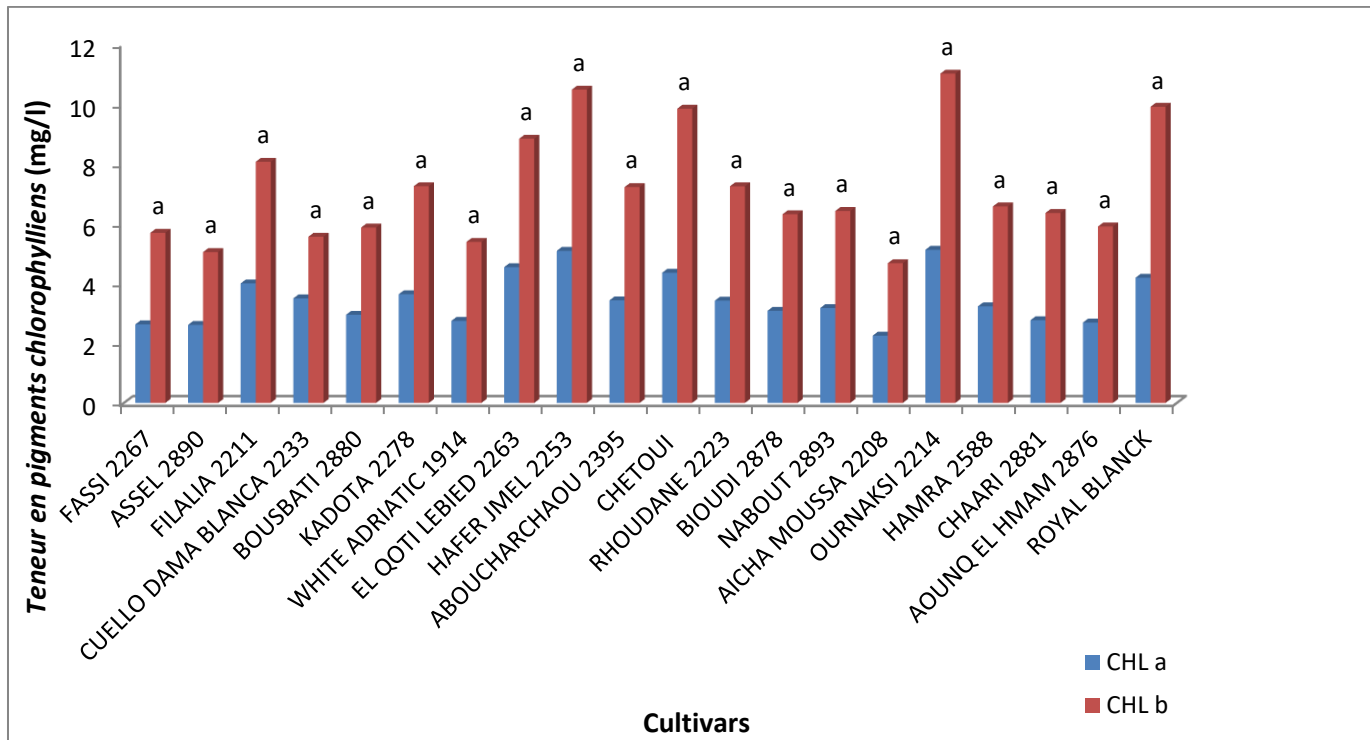
**Figure 6:** Variation de l'indice de densité de trichomes chez les 20 cultivars du figuier étudiés.

## II. Caractérisation physiologiques du figuier pour la tolérance au stress hydrique

### 1. Variation de la teneur en pigments chlorophylliens

Pour la teneur en pigments chlorophylliens on a remarqué que pour le CH a et le CH b ils ont la valeur la plus élevée (CH a : 4.3510 mg/l, CH b : 9.8370) chez le même cultivar « OURNAKSI 2214 ». Ainsi le Ch a et Chb leurs valeurs minimal s'était enregistrée pour le même cultivar « ASSEL 2890 » (CH a : 2.6857 mg/l, Ch b : 5.8993 mg/l). Et pour l'écart-type du Ch a c'est +/-  $\sigma$  : **0.0586** et celui du Ch b c'est +/-  $\sigma$  : **0.1290**.

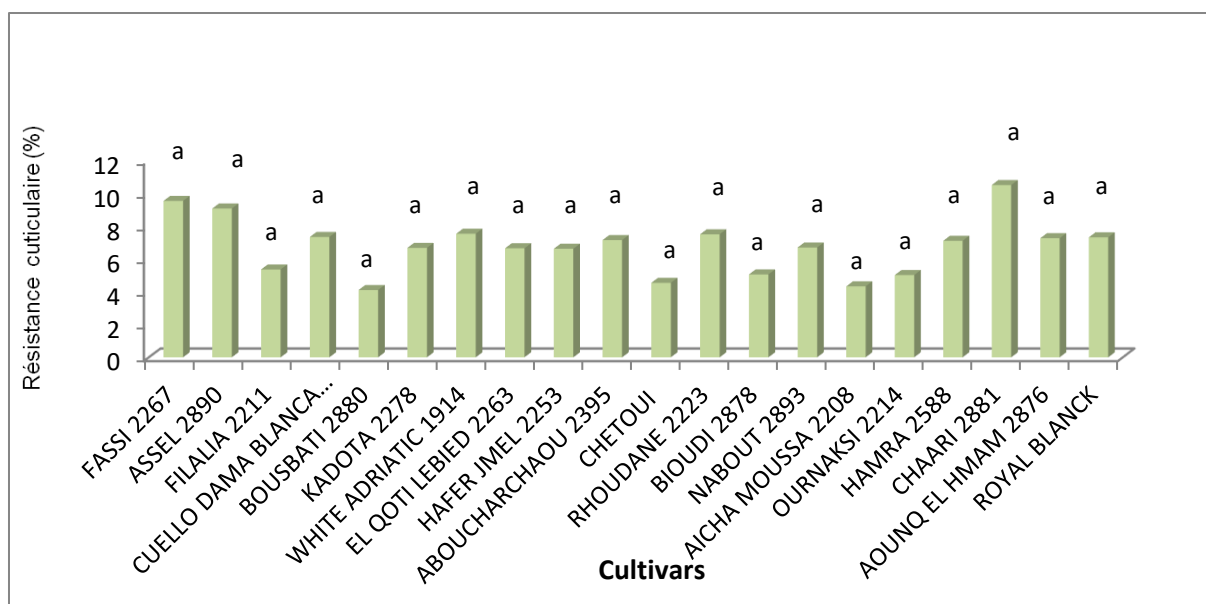
Les résultats obtenus en termes de concentration en Ch a et Ch b corroborent ceux de **Meftah et al. (2012)** et **Atti et al. (2002)** qui ont montré le stress hydrique entraîne une diminution de la teneur en pigments chlorophylliens chez le figuier. Ainsi d'après l'analyse du graphe on peut conclure que la teneur en pigments chlorophylliens suit une évolution aléatoire par rapport à l'évolution de la surface foliaire qui suit une évolution croissante. (Voir Figure 7)



**Figure 7 :** Variation de la teneur en pigments chlorophylliens chez les 20 cultivars du figuier étudiés.

## 2. Variation de la résistance cuticulaire

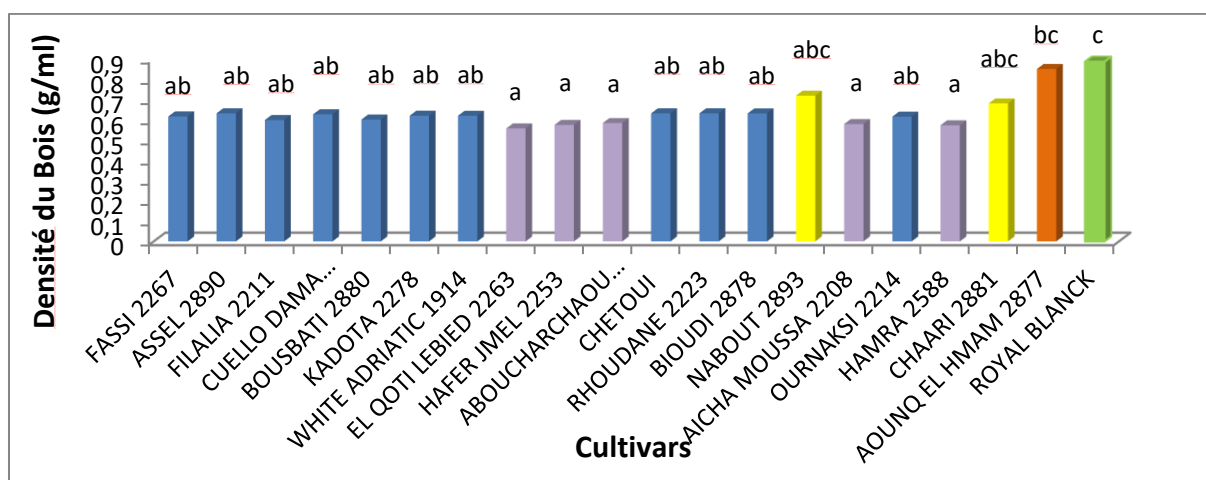
Pour la résistance cuticulaire on a observé la valeur la plus élevée 10.5050 % chez le cultivar CHAARI 2881 et la valeur la plus faible 4.1033 % a été enregistrée chez le cultivar BOUSBATI 2880 avec une moyenne de 6.7688 % et un écart-type de  $\pm \sigma : 0.1634$ . Ainsi d'après l'analyse du graphe on peut conclure que l'évolution de la résistance cuticulaire suit une évolution aléatoire par rapport à l'évolution de la surface foliaire qui suit une évolution croissante. Alors la variabilité de la résistance cuticulaire est statistiquement significative entre les 20 cultivars du figuier selon le test de comparaison des moyennes de Student–Newman (SNK) au seuil de 5 %. (Voir Figure 8)



**Figure 8 :** Variation de la résistance cuticulaire chez les 20 cultivars du figuier étudiés.

### 3. Variation de la densité du bois

La densité du bois des pousses a peu varié suivant les cultivars, mais les différences enregistrées étaient significatives, la valeur la plus élevée 0.8170 g/ml a été observé chez le cultivar ROYAL BLANCK et la valeur la plus faible 0.5587 g/ml a été enregistrée chez le cultivar EL QOTI LEBIED 2263 avec une moyenne de 0.6066 g/ml et d'un écart-type de  $\pm \sigma : 0.0042$ . En fait, moins le bois des pousses est dense, plus il est exposé aux pertes d'eau par transpiration cuticulaire, rendant ainsi le cultivar plus sensible au stress hydrique. Et d'après l'analyse du graphe on peut conclure que la densité du bois suit une évolution qui va dans le même sens que l'évolution de la surface foliaire. (Voir Figure 9)

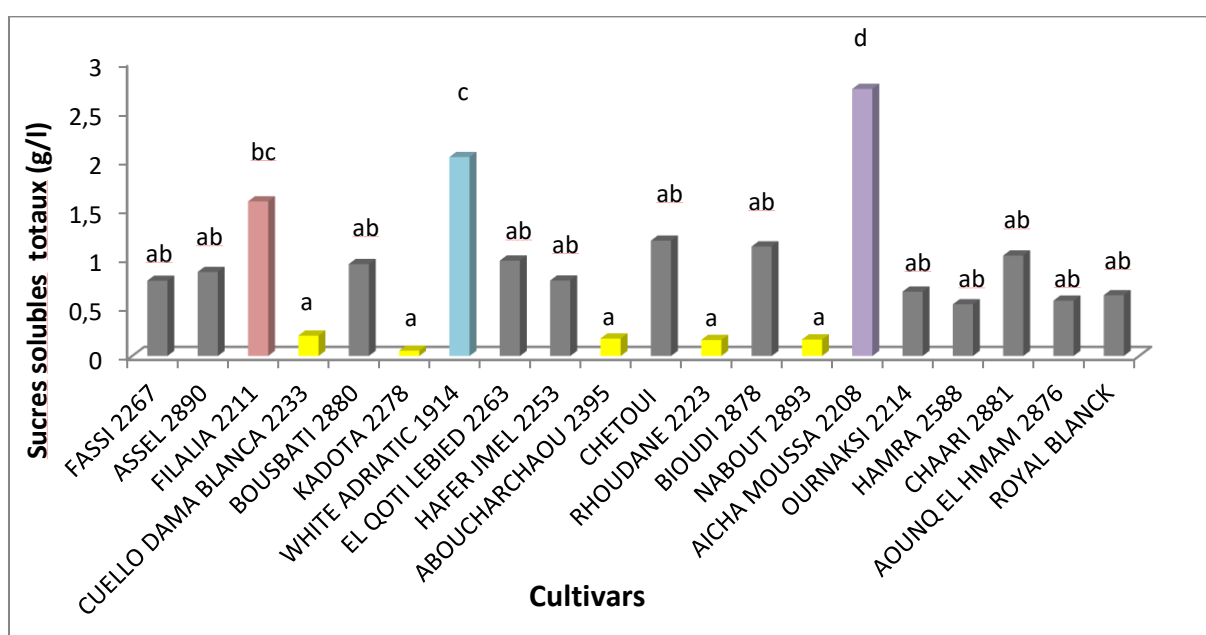


**Figure 9:** Variation de la densité du bois chez les 20 cultivars du figuier étudiés.

### III. Caractérisation biochimiques du figuier pour la tolérance au stress hydrique

#### 1. Variation de la teneur en sucres solubles totaux

Pour la valeur la plus élevée 2.7267 g/l a été observée chez le cultivar AICHA MOUSSA 2208 et la valeur la plus faible 0,4110 g/l a été observée chez le cultivar KADOTA 2278 et une moyenne de 0.8552 g/l. et un écart-type de  $\pm \sigma : 0.0363$ . Ainsi d'après l'analyse du graphe on peut conclure que l'indice des sucres solubles totaux suit une évolution aléatoire par rapport à celle de la surface foliaire qui suivent une évolution croissante. En effet le déficit hydrique a entraîné une diminution de la teneur des sucres solubles totaux. (Voir Figure 10)

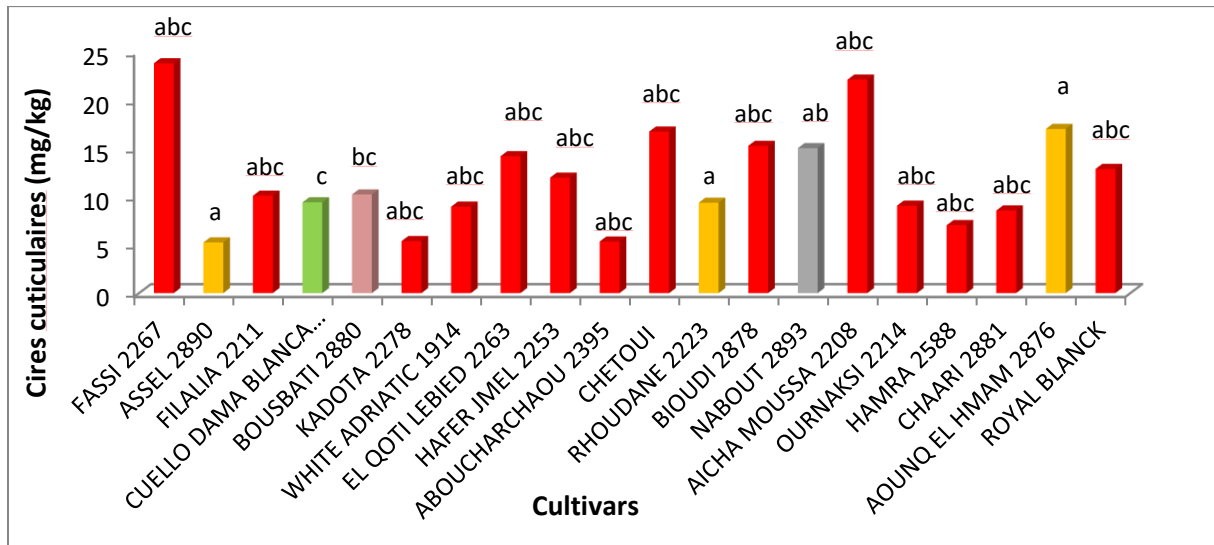


**Figure 10** : Variation de l'indice des sucres solubles totaux chez les 20 cultivars du figuier étudiés.

#### 2. Variation de la teneur en cires cuticulaires

Pour la variation de la concentration en cires cuticulaires, la valeur la plus élevée 23.8187 mg/kg a été observée chez le cultivar FASSI 2267, et la valeur la plus faible 5.2497 mg/kg a été enregistré chez le cultivar ASSEL 2890 avec une moyenne de 11.8862mg/kg et un écart-type de  $\pm \sigma : 0.3386$ . Sachant que plus que la concentration en cires cuticulaires est forte plus que la tolérance face au stress est importante et vice versa. Alors le cultivar FASSI 2267 serait plus résistant au stress hydrique que le cultivar ASSEL 2890 qui serait sensible lors d'un stress hydrique. En effet le taux des cires dans une feuille diminue la perte d'humidité, alors plus qu'il y a un taux de cires élevée plus qu'il n'y a pas de transpiration au niveau de la feuille plus que l'arbre est tolérant à la sécheresse. Et d'après l'analyse du graphe on peut conclure que

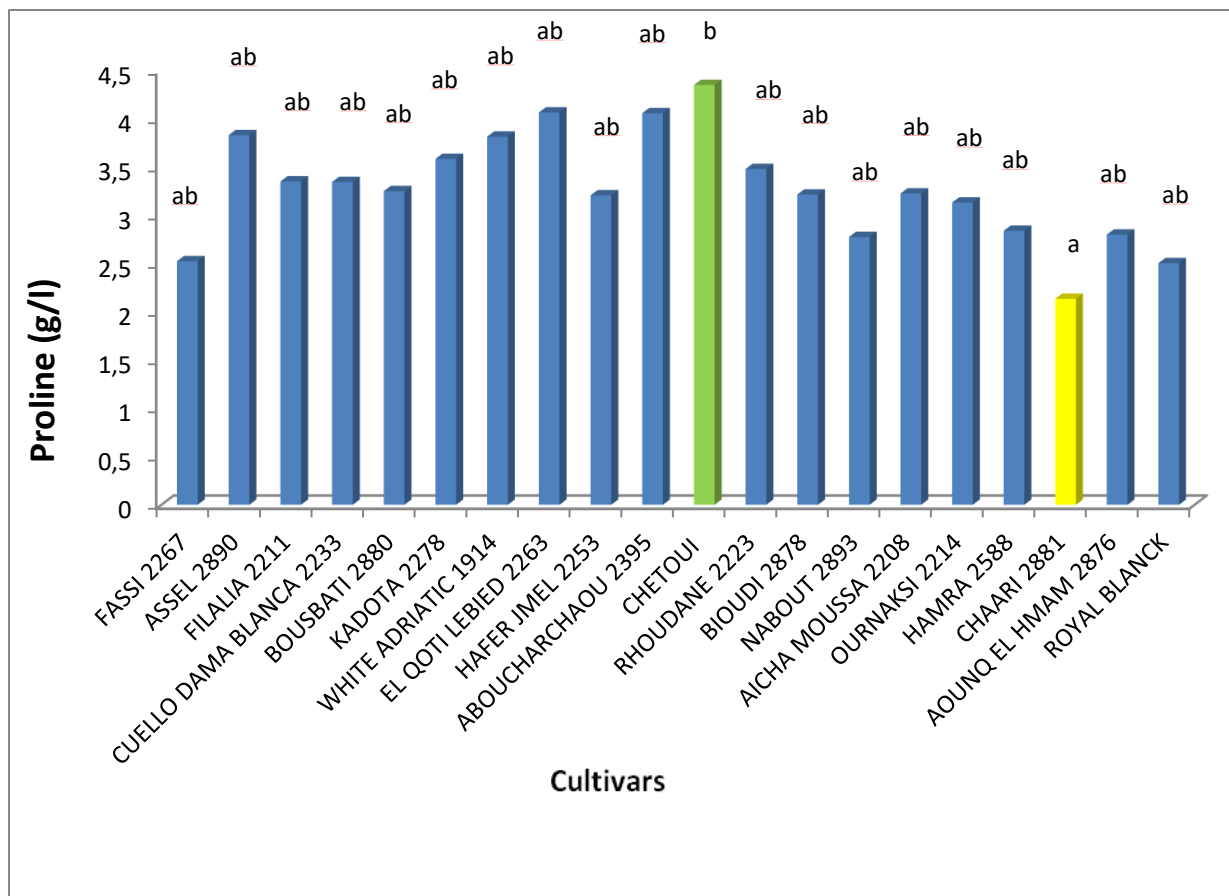
l'évolution de la teneur en cires cuticulaires (aléatoire) ne va pas dans le même sens d'évolution (croissante) de la surface foliaire. (Voir Figure 11)



**Figure 11 :** Variation de l'indice des cires cuticulaires chez les 20 cultivars du figuier étudiés.

### 3. Variation de la teneur en proline

La figure 12 montre l'effet du stress hydrique appliqué sur la teneur en proline dans les feuilles des cultivars étudiés. La valeur la plus élevée 4.3507 g/l a été observée chez le cultivar CHETOUI et la valeur la plus faible 2.1347 g/l a été enregistrée chez le cultivar CHAARI 2881 avec une moyenne de 3.4624 g/l et un écart-type de  $\pm \sigma : 0.0403$ . En effet de la teneur en proline est expliquée par le fait qu'au cours du déficit hydrique appliqué, un dessèchement a été créé chez les feuilles des arbres stressés à cause de la pression osmotique créé par le manque d'eau ce qui favorise leur chute. Alors pour protéger leurs feuilles, le figuier arrive à synthétiser des fortes concentrations des osmorégulateurs (proline...) afin de régler la pression osmotique dans leurs feuilles (Mancy et al. 2016). et d'après l'analyse du graphe on peut conclure que la teneur en proline (aléatoire) ne va pas dans le même sens d'évolution (croissante) de la surface foliaire. (Voir Figure 12)



**Figure 12 :** Variation de l'indice de la teneur en proline chez les 20 cultivars du figuier étudiés.

#### IV. Conclusion Générale

Ce travail a consisté en l'analyse de la qualité du fruit de vingt variétés, sous différents niveaux de déficit hydrique et la caractérisation multivariée de la collection de figuier de l'INRA pour la tolérance aux stress hydrique. Il a été mené à l'INRA de Meknès sur des essais installés au domaine expérimental d'Ain Taoujdate. Il s'agit d'une contribution à un projet de recherche entrepris par l'INRA de Meknès visant la promotion du figuier, comme culture alternative face aux changements climatiques. Ces conditions climatiques et les conditions d'alimentation en eau de la culture de figuier, et plus particulièrement les stress hydriques ont une influence majeure sur les niveaux de croissance et de production du figuier ainsi que sur son degré d'adaptation à un milieu donné. La présente étude a été portée sur la caractérisation d'une collection INRA de figuier vis-à-vis la tolérance aux stress hydrique en se basant sur de 3 types de paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques susceptibles d'être les plus influents dans la tolérance à ces stress hydriques, à savoir la surface foliaire, l'épaisseur du

pétiole, la densité des trichomes, la teneur en pigments chlorophylliens, la résistance cuticulaire, la densité du bois, la teneur en sucres solubles totaux, concentration en cires cuticulaires et la teneur en proline. En effet d'après la caractérisation des paramètres mesurés on peut les subdiviser en deux catégories les paramètres qui ne sont pas liés c'est-à-dire qui partent pas dans le même sens d'évolution que la surface foliaire qui sont la densité de trichomes, la teneur en pigments chlorophylliens, la résistance cuticulaire, la teneur en sucres solubles totaux, la concentration en cires cuticulaire et la teneur en proline, et les paramètres qui vont dans le même sens d'évolution que la surface foliaire qui sont : l'épaisseur du pétiole, et la densité du bois.

En guise de conclusion des résultats obtenus, l'analyse des effets sur les paramètres discriminants, a fait ressortir que les cultivars ROYAL BLANCK, OURNAKSI 2214, CHAARI 2881, HAFER JMEL 2253 et CHETOUI se sont montrés plus adaptés à la culture sous des conditions de déficit hydrique. Ces quatre cultivars ont été également retrouvés parmi les plus tolérants au stress hydrique suivant la méthode des scores attribués aux différents paramètres mesurés. Ainsi une attention particulière devrait être donnée aux cultivars FASSI 2267, EL QOTI LEBIED 2263, BOUSBATI 2880, KADOTA 2278 et ASSEL 2890 se sont montrés plus sensibles sous des conditions de déficit hydrique ces cinq cultivars ont été également retrouvés parmi les plus sensibles au stress hydrique suivant la méthode des scores. 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 complétée et évaluation plus précise des cultivars vis-à-vis 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.

# Références bibliographiques

1. **Achtak H, Oukabli A, Ater M, Santoni S, Kjellberg F, Khadari B. 2009.** Microsatellite markers as reliable tools for fig cultivar identification. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 134:624-631.
2. **Anstett M.C., Hossaert-McKey M., McKey D. 1997.** Modeling the persistence of small populations of strongly interdependent species: Figs and fig wasps. *Conservation Biology*, 11: 204-213.
3. **Afaq, F., Saleem, M., Krueger, C.G., Reed, J.D., Mukhtar, H., 2005.** Anthocyanin- and hydrolyzable tannin-rich pomegranate fruit extract modulates MAPK & NF-kappaB pathways and inhibits skin tumorigenesis in CD-1 mice. *Int. J*
4. **Aksoy U. 1998.** Why figs? an old taste and new perspective. *Acta Horticultrae*. 480: 25-26
5. **Attis., 2002.** Assessment of soybean (*glycine max (L.) merr.*) water stress, lipochitooligosaccharides application and spectral response.
6. **BOUAICHA R., 2017.** Analyse du complexe parasitaire du Grenadier *Ficus carica* (Linné, 1753) dans la région de Touggourt. Master académique. Agronomie., Algérie, 106 p.
7. **BETIOUI M., 2017.** Etude de la possibilité d'amélioration de la culture et de la production du grenadier commun, *Punica Granatum l.* dans la région de Tlemcen.
8. **Boyko A., Kovalchuk I. (2011).** Genome instability and epigenetic modification - heritable responses to environmental stress? *Current Opinion in Plant Biology* 14:260-266.
9. **Bourayou K., Oukabli A. and Mars M. 2005.** Diversity and role of fig tree (*Ficus carica L.*) in the protection and improvement of North African agro-ecosystems.
10. **Babu S.S.V., Shareef M.M., Shetty P.K.A., Shetty T.K. 2002.** HPLC method for amino-acids profile In biological fluids and inborn metabolic disorders of amino-acidopathies. *Indian Journal of Clinical Biochemistry*. 17 (2): 7-26.
11. **Condit J. 1955.** Fig varieties: a monograph. *Hilgardia*. 11 (23): 323-538
12. **Cramer G.R., Urano K., Delrot S., Pezzotti M., Shinozaki K. (2010)** Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *Bmc Plant Biology* 11.
13. **Chaves, M.M., Costa, J.M., Ortuno, M.F & (2007).** Deficit Irrigation as a Strategy to Save Water: Physiology and Potential Application to Horticulture. *J. Integr. Plant Biol.* 49, 1421- 1434.



14. **FAOSTAT (2018) Bases de données statistiques de la FAO 2018.**  
[www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org)
15. **Ferguson L., Michailides T.J. and Shorey H.H. 1990.** The California fig industry. Horticultural Reviews. 12: 409-490
16. **Greets & Raes., 2009.** Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management 96 : 1275–1284.
17. **Haddioui A., 2012.** La culture du grenadier (*Punica granatum L.*) au Maroc. In: Melgarejo P. (ed.), Valero D. (ed.). II International Symposium on the Pomegranate. Zaragoza : CIHEAM / Universidad Miguel Hernández,
18. **HMID I., 2013-** Contribution à la valorisation alimentaire du figuier marocaine (*Ficus carica*) Caractérisation physicochimique, biochimique et stabilité de leur jus frais. Thèse \*Doc. Sci. Agro., France, 177 p.
19. **Khadari B. 1995.** Etude du mutualisme figuier pollinisateur: réceptivité femelle, pollinisation et marqueurs génétiques. Thèse de Doctorat, INA-PG. Paris. 123p.
20. **Mancy A., Hamdy A., Khalifa M., Shower S., 2016.** Effet du stress hydrique sur la croissance, l'état nutritionnel et biochimique de deux variétés de plants de grenade. J. Plant Production, Mansoura Univ. vol. 7(12):1321 -1329, 2016.
21. **Melgarejo, P., Salazar, D.M.S., 2003.** Tratado De Fruticultura Para Zonas Aridas Y Semiaridas. Vol. 2: Algarr. 416 p.
22. **Meftah Y., 2012.** Effet du stress hydrique sur le comportement de deux populations de niébé (*Vigna unguiculata L.*) inoculées par quatre souches rhizobia autochtones.
23. **Monneveux, Ph. & Nemmar, M. (1986).** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum L.*) et chez le blé dur (*Triticum durum Desf.*): Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. Agronomie, 6 (6), pp. 583-590.
24. **Oukabli A. et Mamouni B. 2008.** Fiche Technique Fiquier (*Ficus carica L.*) : Installation et conduite technique de la culture. Edt. INRA, 24p.
25. **Oukabli A., Mamouni A., Laghezali M., Ater M., Roger J.P. and Khadari B. 2003.** Local caprifig tree characterization and analysis of interest for pollination. Acta Horticulturae. 605: 61-64.
26. **Quarrier A., et Jones H.(1977).** Effects of Abscisic Acid and Water Stress on Development and Morphology of Wheat :Volume 28, Issue 1, February 1977, Pages 192–203,

27. **Razouk Rachid.2015** « Optimisation de "irrigation déficitaire par application de restrictions hydriques raisonnées et mycorhization arbusculaire chez certaines rosacées fruitières et irrigation d'appoint chez l'olivier », pp 28
28. **Tardieu F., Parent B, Cecilio F. Caldeira, WelckerC., 2014.**Genetic and Physiological Controls of Growth under. Water Deficit American Society of Plant Biologists. Vol. 164, pp. 1628–1635.
29. **Vaysse& al., 1990.** L’irrigation des arbres fruitiers. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes,paris, 255 p.
30. **Vidaud J. 1997.** Le figuier. Monographie. Éditions Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes (CTIFL). Paris, 264 p.
31. **Walali L. et Khouimi L. 2003.** L’assainissement des plants de figuier. Actes de la Journée Fiquier de l’INRA Maroc. Potentialités et perspectives de développement de la figue sèche au Maroc.
32. **Weibes J.T. 1979.** Coevolution of figs and their polinisators. Ann. Rev. Ecol. Syst., 10:1-12
33. **Weiblen G. D. 2000.** Phylogenetic relationships of functionally dioecious Ficus (Moraceae) based on ribosomal DNA sequences and morphology. Am. J. Bot., 87 : 1342-1357.
34. **Wald E., 2009.** Le grenadier (Punica granatum L.): Plante historique et évolutions thérapeutiques récentes. Doctorat de Pharmacie, Université Henri Poincaré Nancy, 1.
35. **Walali Loudyi, D., 1995.** Quelques espèces fruitières d'intérêts secondaires cultivées au Maroc, Zaragoza : CIHEAM, Cahiers Options Méditerranéennes ; n, 13, pages 47- 62.