



# Évaluation de l'effet du stress hydrique et du porte-greffe sur la clémentine *Citrus reticulata* Swingle var. Sidi Aissa.

Lhou BENIKEN<sup>1,2,3</sup>, Fatima Ezahra OMARI<sup>1</sup>, Rachid DAHAN<sup>1</sup>, Patrick VAN DAMME<sup>2,4</sup>, Rachid BENKIRANE<sup>3</sup>, Hamid BENYAHIA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut National de la Recherche Agronomique. INRA Maroc, CRRRA Kenitra, BP 7567, Kenitra, Maroc.

<sup>2</sup> Department of Plant Production, Faculty of Bio-Science Engineering, Ghent University, Coupure links, 653, 9000 Ghent, Belgium

<sup>3</sup> Laboratoire de la Botanique et la Protection des Plantes, Université Ibn Tofail, Faculté des Science de Kenitra, Maroc.

<sup>4</sup> Faculty of Tropical Agri Sciences, Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic.

Correspondance: beniken\_lhou@yahoo.fr

Original submitted in on 8<sup>th</sup> July 2013 Published online at [www.m.elewa.org](http://www.m.elewa.org) on 30<sup>th</sup> November 2013.

---

## RESUME

**Introduction:** Au Maroc, les agrumes sont plantés dans différentes régions à conditions de sol et climats variées. Dans la majorité de ces régions notamment le Souss, le Tadla et le Haouz, les agrumes se trouvent souvent dans des situations de manque d'eau saisonnier. Le recours à l'irrigation est dès lors inévitable pour assurer la production. L'étude du comportement de l'association variété x porte-greffes vis-à-vis le déficit hydrique se situe parmi les voies les plus adaptées pour sélectionner les combinaisons performantes en termes d'utilisation en eau et d'adaptation aux conditions de sécheresse.

**Objectif:** Notre travail vise à étudier la réponse à un déficit hydrique des plants de clémentine *Citrus reticulata* Swingle var. Sidi Aissa greffé sur cinq porte-greffes d'agrumes différents par le suivi de quelques paramètres physiologiques et morphologiques. Les paramètres évalués ont été la croissance sur quatre mois, la conductance stomatique, la teneur en chlorophylle (SPAD) et la teneur en sucres solubles dans les feuilles dans un but de sélectionner les porte-greffes présentant un potentiel de résistance au stress hydrique. Les porte-greffes testés ont été le *Citrus volkameriana*, *Citrus macrophylla*, Citrange C35 (*Citrus sinensis* (L.) Osb. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.), Citrange Carrizo (*Citrus sinensis* (L.) Osb. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.) et l'hybride Mandarin Cléopâtre (*Citrus reticulata* var. *Austera* Swingle) x Citrange Carrizo 30577 (*Citrus sinensis* (L.) Osb. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.).

**Matériel et méthodes** Pour chaque porte-greffe, des plants âgés d'un an ont été cultivés en pots de plastique (10 L) dans une serre à El Menzeh, INRA Maroc. Ils ont été soumis à deux régimes hydriques de 100 % et 50 % de la capacité au champ ( $H_{cc}$ ) du substrat. L'expérimentation a été disposée en un split-plot à deux traitements. Les paramètres morphologiques mesurés ont été la hauteur de la plante, le diamètre au point de greffage de la tige principal de porte-greffe et celui de la variété. Les paramètres physiologiques étudiés ont été la conductance stomatique, la teneur en chlorophylle (SPAD) et la teneur en sucres solubles dans les feuilles.

**Résultats:** Les paramètres morphologiques et physiologiques ont tous été affectés par le stress hydrique appliqué, mais différemment selon le porte-greffe considéré. Le stress hydrique a induit une augmentation de la

teneur en sucres solubles au niveau des feuilles. Le manque d'eau affecte d'une manière significative les caractéristiques physiologiques et morphologiques des plants de la clémentine Sidi Aissa.

**Conclusion et application:** En conditions de déficit hydrique extrême (50 % d' $H_{cc}$ ), un comportement différentiel des porte-greffes a été constaté. Sur la base des résultats que nous avons obtenus, les porte-greffes Citrange Carrizo (*Citrus sinensis* (L.) Osb. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.) et *Citrus macrophylla* procurent à la clémentine Sidi Aissa les meilleures aptitudes à résister aux conditions de stress hydrique par l'augmentation de la teneur en sucre solubles au niveau des feuilles et par le maintien de la conductance stomatique à des valeurs élevées en conditions de déficit hydrique sévères.

**Mots clés :** sécheresse, écophysologie, physiologie du stress, porte-greffe, citrus.

## ABSTRACT

**Introduction:** In Morocco, citrus is cultivated in different areas with various soil and climate conditions. Citrus orchards are often in water shortage situations in the most of the Moroccan citrus production areas especially in Souss, Tadla and Haouz regions. Therefore, recourse to irrigation becomes obligatory in order to ensure citrus production. Several studies have shown that citrus rootstock type affects response to water stress. However, the study of the behavior of variety - rootstock association under different water deficit situations must be more scrutinized in order to select the most efficient combinations in terms of water use and adaptation to drought conditions.

**Objective:** The aim of this study is to compare the morphological and physiological response of young Sidi Aissa Clementine trees grafted onto five citrus rootstocks and cultivated under two different water regimes in order to select rootstocks with a height potential to mitigate drought conditions.

**Materials and methods:** The experiment was carried out in the greenhouse of the experimental farm of El Menzh INRA-Kenitra, Morocco on one year plastic potted (10 L) Sidi Aissa Clementine trees grafted onto five different rootstocks namely le *Citrus volkameriana*, *Citrus macrophylla*, Citrange C35 (*Citrus sinensis* (L.) Osb. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.), Citrange Carrizo (*Citrus sinensis* (L.) Osb. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.) and hybrid of Mandarin Cléopâtre (*Citrus reticulata* var. *Austera* Swingle) X Citrange Carrizo 30577 [*C. sinensis* (L.) Osb. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.]. Water regimes applied were 50% and 100%  $H_{cc}$  (humidity at field capacity) of the substrate. A split-plot design was applied and three single tree replicates were considered. Water stress effect on plant development was evaluated through morphological parameters (plant height and rootstock and scion diameter) and physiological parameters (leaf chlorophyll content (SPAD), leaf stomata conductance and leaf sugar content).

**Results:** Water stress lowered significantly plant growth, chlorophyll content and stomata conductance and increased leaf sugar content of Sidi Aissa Clementine for all rootstocks tested. However, effect was rootstock dependent for plant growth and leaf chlorophyll content (SPAD), stomata conductance and sugar content under severe drought conditions (50% $H_{cc}$ ).

**Conclusion and application:** Effect of drought on citrus is dependent of rootstock. Furthermore, under severe water deficit conditions such in semi-arid regions, Citrange Carrizo and *Citrus macrophylla* rootstocks can mitigate the negative effect of drought for Sidi Aissa Clementine variety.

**Key words:** drought, eco-physiology, stress physiology, rootstocks, citrus.

## INTRODUCTION

Le déficit hydrique est le facteur majeur qui limite le développement des plants dans plusieurs régions dans le monde (Chaves et al., 2003). Comme d'autres arbres fruitiers, les agrumes sont souvent exposés aux conditions de sécheresse, et plus

fréquemment dans les régions aride et semi-aride. Pour faire face à la pénurie d'eau, les plantes ont développé plusieurs formes d'adaptations morphologiques, physiologiques et biochimiques qui leurs permettent une croissance continue voire la

survie dans des conditions de sécheresse. Le déficit hydrique sévère affecte négativement la productivité des plants d'agrumes à différents niveaux, entre autres via la diminution de la croissance et le métabolisme et par la suite par une réduction du rendement et la qualité des fruits (Zekri, 1991; Gonzalez-Altozano *et al.*, 2000; Pérez-Pérez *et al.*, 2008; Wu *et al.*, 2008; Rodriguez-Gamir *et al.*, 2010 et 2011). En effet, plusieurs études ont montré que le stress hydrique diminue significativement la croissance chez les porte-greffes d'agrumes (Wu *et al.*, 2008; Rodriguez-Gamir *et al.*, 2010 et 2011; Beniken *et al.*, 2011). En outre, le déficit hydrique induit une diminution de la transpiration et la photosynthèse chez les plants d'agrumes. En effet, la fermeture des stomates est la première réponse observée chez les plantes en situation de manque d'eau. Cette fermeture des stomates provoque une diminution de la transpiration et limite les échanges gazeux notamment l'assimilation de CO<sub>2</sub>. Il s'en suit, une chute du taux de photosynthèse qui provoque une réduction de la formation de la biomasse et de la croissance (Syvertsen *et al.*, 1988; Zekri, 1991; Karmer et Boyer, 1995; Tezara *et al.*, 2002; Pérez-Pérez *et al.*, 2008; Rodriguez-Gamir *et al.*, 2010 et 2011; Hutton et Loveys, 2011). En plus, une augmentation de la concentration des osmorégulateurs (sucres solubles et proline) a été observée chez les porte-greffes d'agrumes en situation de déficit hydrique (Beniken *et al.*, 2011; Hugo *et al.*, 2004; Gomez Cadenas *et al.*, 1996). Ainsi, les génotypes ayant des concentrations élevées de ces molécules (sucres solubles et proline) sont souvent qualifiés comme tolérants à la sécheresse (Beniken *et al.*, 2011; Hugo *et al.*, 2004; Gomez Cadenas *et al.*, 1996). Le degré de résistance des plants vis-à-vis le stress hydrique varie selon l'espèce, la variété et/ou le porte-greffe considéré. L'influence du porte-greffe sur la réponse de la variété au stress hydrique a été rapporté chez plusieurs cultures comme le pommier (Cohen et Naor 2002), le pêcher (Weibel *et al.*, 2003), le pistachier (Gijon *et al.*, 2010) et les agrumes (Rodriguez-Gamir *et al.*, 2010 et 2011). En effet, l'effet du porte-greffe sur le statut hydrique de la plante entière a été montré par plusieurs études

chez les arbres fruitiers, en particulier la vigne par Ozden *et al.* (2010), et chez les agrumes par Yonemoto *et al.* (2004) et Rodriguez-Gamir *et al.* (2010 et 2011). Egalement, une variabilité de tolérance au déficit hydrique a été observée dans différents travaux chez les porte-greffes d'agrumes (Beniken *et al.*, 2011; Rodriguez-Gamir *et al.*, 2010 et 2011; Hugo *et al.*, 2004; Gomez Cadenas *et al.*, 1996). La sélection des porte-greffes tolérants à la sécheresse a été réalisée dans différents travaux en se basant sur un ou plusieurs paramètres morphologiques, physiologiques et/ou biochimiques. Ces résultats ont été obtenus sur des porte-greffes non-greffés, or que l'effet de la variété sur le degré de tolérance n'a été que très peu étudié. Ainsi, une bonne compréhension des changements morphologiques, physiologiques et biochimiques des plants d'agrumes sous les conditions de stress hydrique pourrait être utile dans des programmes de sélection de nouvelles associations variétés x porte-greffes visant à améliorer leur productivité lorsqu'elles sont soumises à de telles conditions (Nam *et al.*, 1984; Martinez *et al.*, 2007). Dans ce sens, le présent travail vise à évaluer la réponse au stress hydrique de la clémentine Sidi Aissa greffée sur cinq porte-greffes d'agrumes. Les porte-greffes testés ont été choisis selon leur importance dans les nouvelles plantations d'agrumes au Maroc. Les hypothèses énoncées dans ce travail sont que : i) le porte-greffe affecte le comportement de la variété clémentine Sidi Aissa dans les conditions de manque d'eau ; ii) le porte-greffe peut confier à la variété des aptitudes de tolérance à la sécheresse. Les objectifs assignés à cette études sont de: i) évaluer l'effet de stress hydrique sur quelques paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques de la clémentine Sidi Aissa greffée sur cinq porte-greffes d'agrumes; ii) étudier l'effet du porte-greffe sur la capacité de la tolérance de cette variété au déficit hydrique; finalement iii) sélectionner les porte-greffes les plus tolérants au stress hydrique pour la clémentine Sidi Aissa. Les paramètres évalués ont été la croissance végétative, la teneur en chlorophylle des feuilles (SPAD), la conductance stomatique et la teneur en sucres solubles au niveau des feuilles.

## MATERIEL ET METHODES

**Matériel végétal et conduite des traitements:** L'essai a été conduit sous serre, au Domaine Expérimental El Menzeh de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA, Maroc) (situé à 10 km au Nord de Kenitra à une altitude de 25 m à une latitude de 34° 17' 46,6"N et une longitude de 6° 29' 3,54" O), sur des plants âgés d'un an de la variété clémentine *Citrus reticulata* Swingle var. Sidi Aissa greffée sur cinq porte-greffes d'agrumes *Citrus volkameriana*, *C. macrophylla*, Citrange C35 [*C. sinensis* (L.) Osb. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.], Citrange Carrizo [*C. sinensis* (L.) Osb. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] et l'hybride Mandarine Cléopâtre [*C. reticulata* var. Austera Swingle] x Citrange Carrizo 30577 [*C. sinensis* (L.) Osb. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.]. Les porte-greffes étudiés sont issus de la collection des agrumes du domaine expérimental El Menzeh de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) de Kenitra. Ces porte-greffes ont été choisis pour leur importance dans les nouvelles plantations d'agrumes. Les semences ont été collectées de la collection des agrumes du domaine expérimental El Menzeh (INRA-kenitra). Ces semences ont été stérilisées par submersion dans une solution d'hypochlorite de sodium 15 % pendant 15 min et rincées trois fois par de l'eau distillé. Le semis a été effectué en Janvier 2008, dans des bassins de germinations (germoirs) composés de tourbe stérile. Après la germination, les plantules homogènes ayant 3 à 4 feuilles ont été repiquées en avril 2008, dans des sachées en plastiques ayant un volume de 2 L. Ensuite, les plants des porte-greffes âgés de plus d'un an et ayant un diamètre de la tige de plus de 1 cm ont été greffés au mois de mars 2009 avec des greffons la variété Sidi Aissa. En juin 2009, des plantules homogènes ont été plantés dans des pots en plastique de 10 L. Le substrat utilisé était constitué d'un mélange de 2/3 de sol sableux et 1/3 de tourbe. Le substrat composite a un pH eau 7,09 et contient 2,25 % de la matière organique, 267,57 ppm de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 268,11 ppm de K<sub>2</sub>O (résultats d'une analyse de sol effectué au niveau du laboratoire d'analyse chimique et physique du sol de l'unité de Recherche sur l'Environnement et la Conservation des Ressources Naturelles (CRRA-Rabat)). Après une période d'adaptation de deux mois, les plants des différents porte-greffes ont été disposés en un split-plot à trois répétitions, avec la dose d'irrigation comme facteur principal en grandes parcelles et le porte-greffe comme facteur secondaire en sous parcelle. Les doses d'eau appliquées représentent une proportion de l'humidité à la capacité au champ (H<sub>cc</sub>) du substrat. Les

deux niveaux de stress ainsi testés ont été de 100 % H<sub>cc</sub> (T<sub>0</sub>, traitement témoin) et 50 % H<sub>cc</sub> (T<sub>1</sub>). Les plants ont été irrigués deux fois par semaine et durant la période d'essai avec une solution nutritive de Hoogland et Arnon (1950). Les températures maximales moyennes pendant la période de l'essai (juin-juillet-août-septembre) ont été respectivement de 25,34; 28,57; 32,35 et 30,14 °C et les températures minimales respectivement de 15,15; 18,95; 19,30 et 17,35 °C.

### Les mesures effectuées

**Paramètres morphologiques:** Au cours de la période de l'essai la hauteur des plants et le diamètre tant du porte-greffe que de la variété ainsi que l'indice de compatibilité (Variété/porte-greffe) ont été mesurés à différentes dates sur les différents individus contrôlés. La hauteur a été mesurée à l'aide d'une règle plate gradué à 1 mm de précision, le diamètre a été évalué par un pied à coulisse à 0,001 mm de précision et l'indice de compatibilité a été déterminé par le rapport entre le diamètre de la variété sur celui du porte-greffe.

### Paramètres physiologiques

**La conductance stomatique des feuilles:** La conductance stomatique est mesurée à l'aide d'un poromètre portable (Leaf porometer version 6.0 Decagon Devices, Inc.) sur trois feuilles bien exposées et situées sur la partie médiane de la plante, pour chacune des combinaisons porte-greffe x dose d'irrigation. Les mesures ont été effectuées entre 12h00 et 14h00 selon le protocole décrit par Ortuno *et al.* (2006).

### Paramètres biochimiques

**Dosage des sucres solubles totaux des feuilles:** La teneur en sucres solubles totaux a été mesurée sur des échantillons de feuilles prélevés sur des plants des différentes combinaisons porte-greffe x dose d'irrigation. Pour le dosage des sucres solubles totaux, nous avons utilisé la méthode de Dubois *et al.* (1956), cité par Bezzala (2005) et par Hireche (2006). Selon ce protocole, on pèse 100 mg de matière fraîche des feuilles et on les place dans les tubes à essai. A cet échantillon, on ajoute 3 ml d'éthanol à 30 % pour extraire les sucres, puis on laisse à température ambiante pendant 48 heures. Au moment du dosage, les tubes sont placés dans l'étuve à 80 °C pour faire évaporer l'alcool. Dans chaque, tube on ajoute 20 ml d'eau distillée, on obtient ainsi la solution à analyser. On prélève 1 ml de la solution à doser, on ajoute 1 ml de phénol à 5 %, puis on agite soigneusement. On ajoute alors 5 ml d'acide sulfurique concentré (96 %, d : 1,86) et après on agite au vortex. On laisse les tubes pendant 10 mn et on les place au bain-

marie pendant 25mn à une température de 30 °C. Finalement, la densité optique est mesurée à une longueur d'onde de 485 nm. Les valeurs obtenues sont converties en teneur en sucre soluble selon l'équation de la courbe d'étalon :  $Y = 4,3918 X - 0,194$ .

**Mesure de la chlorophylle totale (SPAD) des feuilles:**

La quantité de la chlorophylle totale des feuilles a été mesurée pour tous les plants de chacune des combinaison porte-greffe x dose d'irrigation à l'aide d'un chlorophylle-mètre (type SPAD- 502, Konica-Minolta Sensing, INC., Japon). Les mesures ont été effectuées à trois dates différentes (21 juin, 17 juillet et 27 septembre 2010) sur trois feuilles situées sur la partie médiane de la plante.

**RESULTATS**

**Effet du stress hydrique et du porte-greffe sur les paramètres morphologiques**

**Effet du stress hydrique et du porte-greffe sur la hauteur des plants :** à la fin de l'expérience (27/09/2010), la hauteur des plants de la variété Sidi

**Analyses statistiques.** Le dépouillement des données des paramètres étudiés ainsi que le calcul des moyennes et la conception des graphiques ont été réalisés à l'aide du tableur «EXCEL».

L'analyse de la variance (ANOVA) a été effectuée en utilisant la procédure GLM du logiciel statistique SAS (SAS Institute Inc., NC, U.S.A., version 9). Deux facteurs de classification ont été utilisés, le facteur dose d'irrigation et le facteur porte-greffe. Chaque fois que l'effet de l'un de ces facteurs ou leurs interactions s'est montré significatif, on a procédé à une comparaison des moyennes à l'aide du test de la plus petite différence significative (LDS) au seuil de 0,05.

Aissa enregistrée est affectée aussi bien par le porte-greffe que par le niveau du stress hydrique. Cependant, ce paramètre n'est affecté que par le porte-greffe à environ un mois après le début des traitements hydriques (21/06/2010) (Tableau 1).

**Tableau 1 :** Effet de stress hydrique sur la hauteur des plants (cm) de la clémentine Sidi Aissa greffée sur cinq porte-greffes d'agrumes

Régime hydrique	21/06/2010	27/09/2010
100 % d'H <sub>cc</sub>	84,87	97,88a
50 % d'H <sub>cc</sub>	80,27	91,07b
LSD	NS	3,4387
Porte-greffe	21/06/2010	27/09/2010
<i>Citrus volkameriana</i>	77,54bc	102,25a
Mandarine Cléopâtre x C.C. 30577	75,25c	83,00c
citrange C35	89,67a	97,17a
<i>Citrus macrophylla</i>	85,38a	99,25a
citrange Carrizo	85,00ab	90,71b
LSD	7,5958	5,437

\*Les chiffres de la colonne suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents (LSD0,05)

En effet, la hauteur des plants est plus élevée sous le régime 100 % H<sub>cc</sub> que celui de 50 % H<sub>cc</sub>. Par ailleurs, l'irrigation déficitaire à 50 % d'H<sub>cc</sub> a réduit la hauteur des plants quelque soit le porte-greffe considéré. Globalement, les porte-greffes se sont comportés différemment. En effet, la hauteur la plus élevée est observé chez les porte-greffes *Citrus volkameriana* (102,25 cm), *C. macrophylla* (99,25 cm) et citrange C35 (97,17 cm) tandis que la valeur la plus faible de ce paramètre est enregistré chez l'hybride Mandarine Cléopâtre x C.C. 30577 (83,00 cm). Le porte-greffe citrange Carrizo a conféré aux plants de la variété

clémentine Sidi Aissa une hauteur intermédiaire (90,71 cm) par rapport aux autres porte-greffes testés.

**Effet du stress hydrique et du porte-greffe sur le diamètre du porte-greffe :** l'effet du porte-greffe sur le diamètre du porte-greffe a été décelé pour l'ensemble des dates d'observation tandis que celui du stress hydrique sur ce paramètre n'a été significatif que vers la dernière date (27/09/2010) (Tableau 2). En effet, les résultats ont montré que le diamètre du porte-greffe le plus élevé est toujours obtenu sous le traitement à 100 % d'H<sub>cc</sub>. Par contre, l'irrigation déficitaire à 50 % d'H<sub>cc</sub> a diminué le diamètre du porte-greffe quelque soit le porte-

greffe considéré. L'étude de ce paramètre a montré une variabilité entre les différents porte-greffes. En effet, la comparaison des moyennes a montré que le diamètre du porte-greffe le plus élevé est observé chez les porte-greffes le citrange Carrizo (12,28 mm) et *Citrus*

*volkameriana* (11,93 mm), tandis que la valeur la plus faible de ce paramètre est enregistré chez le porte-greffe Mandarine Cléopâtre x C.C. 30577 (9,82 mm) (Tableau 2).

**Tableau 2 :** Effet de stress hydrique sur le diamètre du porte-greffe (mm) de la clémentine Sidi Aissa greffée sur cinq porte-greffes d'agrumes

Régime hydrique	21/06/2010	14/07/2010	27/09/2010
100 % d'H <sub>cc</sub>	10,33	10,66	11,51a
50 % d'H <sub>cc</sub>	9,76	10,21	10,71b
LSD	NS	NS	0,756
Porte-greffe	21/06/2010	14/07/2010	27/09/2010
<i>Citrus volkameriana</i>	11,04a	11,31a	11,93ab
Mandarine Cléopâtre x C.C. 30577	8,67c	9,18b	9,82c
citrange C35	10,05b	10,45a	10,78bc
<i>Citrus macrophylla</i>	9,74b	10,12a	10,77bc
citrange Carrizo	10,74ab	11,10a	12,28a
LSD	1,0363	0,9124	1,1953

\*Les chiffres de la colonne suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents (LSD0,05)

**Effet du stress hydrique et du porte-greffe sur le diamètre de la variété :** le diamètre de la variété est affecté par le régime hydrique appliqué. A la fin de l'expérience, le 27/09/2010, l'analyse de la variance a montré un effet hautement significatif du facteur traitement et du porte-greffe sur le diamètre de la variété et l'absence de l'effet de l'interaction traitement x porte-greffe sur ce paramètre (Tableau 3). La comparaison des moyennes a montré que le diamètre de la tige principale de la variété le plus élevé est observé sous le traitement

100 % d'H<sub>cc</sub> (8,06 mm). La valeur la plus faible de ce paramètre est enregistrée chez les plants sous le régime hydrique 50 % d'H<sub>cc</sub> (7,31 mm) (Tableau 3). Le diamètre le plus élevé est observé chez les porte-greffes *Citrus volkameriana* (8,10 mm), citrange Carrizo (8,07 mm) et citrange C35 (7,98 mm). La valeur la plus faible de ce paramètre est enregistrée chez le porte-greffe Mandarine Cléopâtre x Citrange Carrizo 30577 (6,97 mm) (Tableau 3).

**Tableau 3 :** Effet du stress hydrique sur le diamètre (mm) de la variété clémentine Sidi Aissa greffée sur cinq porte-greffes d'agrumes

Régime hydrique	21/06/2010	14/07/2010	27/09/2010
100 % d'H <sub>cc</sub>	7,03	7,25a	8,06a
50 % d'H <sub>cc</sub>	6,63	6,79b	7,31b
LSD	NS	0,4025	0,4543
Porte-greffe	21/06/2010	14/07/2010	27/09/2010
<i>Citrus volkameriana</i>	6,79	7,10ab	8,10a
Mandarine Cléopâtre x C.C. 30577	6,37	6,68b	6,97b
citrange C35	6,71	6,95b	7,98a
<i>Citrus macrophylla</i>	6,87	6,67b	7,32ab
citrange Carrizo	7,42	7,72a	8,07a
LSD	NS	0,6364	0,7184

\*Les chiffres de la colonne suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents (LSD0,05)

**Effet du stress hydrique et du porte-greffe sur l'indice de compatibilité chez la clémentine Sidi Aissa:**

l'analyse de la variance a montré un effet hautement significatif du porte-greffe et l'absence d'effet du stress

**Beniken et al. J. Appl. Biosci. 2013. Évaluation de l'effet du stress hydrique et du porte-greffe sur la clémentine *Citrus reticulata* Swingle var. Sidi Aissa**

hydrique sur l'indice de compatibilité des plants de la variété clémentine Sidi Aissa pour les dates 21/06/2010 et le 14/07/2010, ainsi l'absence de l'effet de stress

hydrique et du porte-greffe sur ce paramètre pour la date 27/09/2010 (Tableau 4).

**Tableau 4** : Effet de stress hydrique sur l'indice de compatibilité de la variété clémentine Sidi Aissa greffée sur cinq porte-greffes d'agrumes

Régime hydrique	21/06/2010	14/07/2010	27/09/2010
100 % d'H <sub>cc</sub>	0,69	0,69	0,71
50 % d'H <sub>cc</sub>	0,68	0,67	0,68
LSD	NS	NS	NS
Porte-greffe	21/06/2010	14/07/2010	27/09/2010
<i>Citrus volkameriana</i>	0,62c	0,64c	0,71
Mandarine Cléopâtre x C.C. 30577	0,75a	0,73a	0,72
citrange C35	0,67bc	0,67bc	0,72
<i>Citrus macrophylla</i>	0,70ab	0,66bc	0,69
citrange Carrizo	0,68bc	0,69ab	0,65
LSD	0,0618	0,0471	NS

\*Les chiffres de la colonne suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents (LSD0, 05)

Nos résultats ont montré que ce paramètre est plus affecté par le porte-greffe que par le régime hydrique appliqué. En effet, l'indice de compatibilité le plus élevé est observé chez le porte-greffe Mandarine Cléopâtre x C.C. 30577, tandis que l'indice le plus faible est enregistré sur le porte-greffe *Citrus volkameriana* pour les dates 21/06/2010 et 14/07/2010 (Tableau 4).

**Effet du stress hydrique et du porte-greffe sur les paramètres physiologiques**

**Effet du stress hydrique et du porte-greffe sur la conductance stomatique des feuilles de la variété clémentine Sidi Aissa** : l'analyse de la variance a montré un effet très hautement significatif du stress

hydrique et du porte-greffe et de l'interaction régime hydrique x porte-greffe sur la conductance stomatique des feuilles de la clémentine Sidi Aissa pour la date du 27/09/2010 et que seulement l'effet du régime hydrique a été noté pour la date du 28/06/2010. L'analyse des résultats relatifs à la conductance stomatique a montré des différences significatives, tant entre les traitements qu'entre les porte-greffes. En effet, les résultats ont montré que la conductance stomatique la plus élevée est toujours obtenu sous le traitement à 100 % d'H<sub>cc</sub>. Par contre, l'irrigation déficitaire à 50 % d'H<sub>cc</sub> a diminué la conductance stomatique quelque soit le porte-greffe considéré.

**Tableau 5** : Effet du stress hydrique sur la conductance stomatique (mmol/m<sup>2</sup>s) des feuilles de la variété clémentine Sidi Aissa

Régime hydrique	28/06/2010
100 % d'H <sub>cc</sub>	8,16a
50 % d'H <sub>cc</sub>	5,43b
LSD	0,8775
Porte-greffe	28/06/2010
<i>Citrus volkameriana</i>	7,06
Mandarine Cléopâtre x C.C. 30577	6,41
citrange C35	6,31
<i>Citrus macrophylla</i>	6,65
citrange Carrizo	7,53
LSD	NS

\*Les chiffres de la colonne suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents (LSD0,05)

L'étude de ce paramètre a montré une variabilité entre les différents porte-greffes. En effet, le 27/09/2010 et sous les conditions de stress hydrique (50 % d'H<sub>cc</sub>), la conductance stomatique la plus élevée est observée chez les porte-greffes *Citrus macrophylla* (3,3 mmol/m<sup>2</sup>s) et le

citrange Carrizo (2,94 mmol/m<sup>2</sup>s), tandis que la valeur la plus faible de ce paramètre est enregistré chez les porte-greffes Mandarine Cléopâtre x C.C. 30577 (1,96 mmol/m<sup>2</sup>s) et le *Citrus volkameriana* (1,72 mmol/m<sup>2</sup>s) (Tableau6.).

**Tableau 6 :** Effet du stress hydrique sur la conductance stomatique (mmol/m<sup>2</sup>s) des feuilles de la variété clémentine Sidi Aissa (27/09/2010)

Porte-greffe	27/09/2010	
	100 % H <sub>cc</sub>	50 % H <sub>cc</sub>
Régime hydrique		
<i>Citrus volkameriana</i>	3,52b	1,72c
Mandarine Cléopâtre x C.C. 30577	4,12ab	1,96c
citrange C35	3,96ab	2,58b
<i>Citrus macrophylla</i>	3,76b	3,30a
citrange Carrizo	4,72a	2,94ab
LSD	0,5781	0,501

\*Les chiffres de la colonne suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents (LSD0, 05)

**Effet de stress hydrique et du porte-greffe sur les paramètres biochimiques**

**Effet du stress hydrique et du porte-greffe sur la teneur en sucre solubles (SST) des feuilles de la variété clémentine Sidi Aissa :** l'analyse de la variance a montré un effet très hautement significatif du stress hydrique et du porte-greffe sur la teneur en sucres solubles totaux dans les feuilles de la variété clémentine

Sidi Aissa. L'analyse des résultats relatifs à ce paramètre a montré des différences significatives, tant entre les traitements qu'entre les porte-greffes. En effet, les résultats ont montré que la teneur en sucre la plus élevée est toujours obtenu sous le traitement à 50 % d'H<sub>cc</sub> (1,715 mg/gMF). Par contre, l'irrigation adéquate à 100 % d'H<sub>cc</sub> a diminué la teneur foliaire en sucre des plants quelque soit le porte-greffe considéré (1,235 mg/gMF) (Tableau7).

**Tableau 7 :** Effet du régime hydrique et du porte-greffe sur la teneur en sucres solubles totaux (µg /g MF) dans les feuilles de la clémentine Sidi Aissa

Régime hydrique	teneur en sucres solubles totaux (µg /g MF)
100 % d'H <sub>cc</sub>	1,235b
50 % d'H <sub>cc</sub>	1,715a
LSD	0,2859
Porte-greffe	teneur en sucres solubles totaux (µg /g MF)
<i>Citrus volkameriana</i>	1,959a
Mandarine Cléopâtre x C.C. 30577	1,296b
citrange C35	1,107b
<i>Citrus macrophylla</i>	1,226b
citrange Carrizo	1,785a
LSD	0,452

\*Les chiffres de la colonne suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents (LSD0,05)

L'étude de ce paramètre a montré une variabilité entre les différents porte-greffes. En effet, la teneur en sucre (SST) la plus élevée est observé chez les porte-greffes *Citrus volkameriana* (1,959 mg/gMF) et citrange Carrizo (1,758 mg/gMF), tandis que la valeur la plus faible de ce paramètre est enregistré chez les porte-greffes Mandarine Cléopâtre x C.C. 30577 (1.296), *Citrus*

*macrophylla* (1,226 mg/gMF) et le citrange C35 (1,107 mg/gMF) (Tableau 7).

**Effet du stress hydrique et du porte-greffe sur la teneur en chlorophylle (SPAD) dans les feuilles de la variété clémentine Sidi Aissa :** l'analyse de la variance a montré un effet très hautement significatif du stress hydrique et l'absence de l'effet significatif du porte-greffe

sur la teneur en chlorophylle (SPAD) dans les feuilles de la variété clémentine Sidi Aissa. L'analyse des résultats relative à la teneur en chlorophylle (SPAD) a montré des différences significatives entre les traitements. En effet, les résultats ont montré que la teneur en chlorophylle

(SPAD) la plus élevée est toujours obtenu sous le traitement à 100 % d'H<sub>cc</sub>. Par contre, l'irrigation déficitaire à 50 % d'H<sub>cc</sub> a diminué la teneur en chlorophylle (SPAD) quelque soit le porte-greffe considéré (Tableau 8).

**Tableau 8 :** Effet du stress hydrique sur la teneur en chlorophylle (SPAD) dans les feuilles de la clémentine Sidi Aissa

Régime hydrique	21/06/2010	17/07/2010	27/09/2010
100 % d'H <sub>cc</sub>	60,08a	58,67a	65,78a
50 % d'H <sub>cc</sub>	42,34b	53,68b	49,16b
LSD	2,222	3,095	2,445

\*Les chiffres de la colonne suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents (LSD0,05)

## DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Le déficit hydrique est l'un des facteurs environnementaux affectant le plus la croissance et le développement des plantes (Aslam, 2006). Les agrumes sont très consommatrices en eau, leurs besoins annuel varient entre 800 et 1200 mm. Ces plantations d'agrumes sont souvent exposées aux situations de déficit hydrique surtout dans les régions aride et semi-aride. La sélection de génotypes tolérants à la sécheresse est de grande importance pour remédier à cet aléa climatique (Richards *et al.* 2002). Dans le présent travail, nous avons mis en évidence l'effet du porte-greffe sur la tolérance à la sécheresse des plants de la variété Sidi Aissa par l'analyse de l'impact du régime hydrique sur la croissance en hauteur, le diamètre du porte-greffe, la conductance stomatique, la teneur en chlorophylle totale (SPAD) et la teneur en sucres solubles totaux. La réponse de la variété greffée au stress hydrique est influencée par le porte-greffe utilisé chez plusieurs cultures comme le pommier (Cohen et Naor 2002), le pêcher (Weibel *et al.*, 2003) et le pistachier (Gijon *et al.*, 2010). Dans le présent travail, nous avons montré que la croissance en hauteur, le diamètre de porte-greffe et celui de la variété ont été significativement affectés par le stress hydrique chez les plants de la clémentine Sidi Aissa plantés en pots et sous serre. Une variabilité de la réponse des porte-greffes testés a été également démontrée dans cette étude. En effet, l'application d'un stress hydrique aux jeunes plants de la clémentine Sidi Aissa a provoqué une réduction significative de la hauteur finale et du diamètre au point de greffage de la variété et du porte-greffe. Des résultats similaires ont été rapportés chez des jeunes plants d'agrumes par Wu et Zou (2008) et Rodriguez-Gamir *et al.* (2010 et 2011), et chez des arbres âgés de la variété d'orange Navel (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) par Beniken *et al.* (2007). Beniken *et al.* (2011) ont rapporté que le

stress hydrique provoque une réduction de la hauteur finale des porte-greffes d'agrumes. Sous des conditions de déficit hydrique sévère (50 % d'H<sub>cc</sub>) une variabilité de réponse entre ces porte-greffes a été observé pour la croissance et la formation du biomasse foliaire et radulaire. Notre expérimentation a également mis en évidence que la conductance stomatique des feuilles de la de la clémentine Sidi Aissa a diminué suite à l'application du stress hydrique. Nos résultats sont en concordance avec ceux rapporté par Rodriguez-Gamir *et al.* (2010 et 2011), Hutton et Loveys (2011) et De Campos *et al.* (2011). Cette chute de la conductance stomatique est une conséquence de la fermeture des stomates (Gollan *et al.*, 1985; Chaves *et al.*, 2003). En outre, la conductance stomatique a été utilisée dans plusieurs études pour détecter les effets du déficit hydrique sur le fonctionnement du système photosynthétique (Souza *et al.*, 2004). Plusieurs études ont rapporté que lorsque le stress hydrique est ressenti par les plants, la première réaction à court terme consiste à la réduction de la conductance stomatique pour éviter la perte de l'eau par transpiration et à moyen terme par des augmentations de la croissance des racines pour maximiser l'absorption de l'eau (Kramer et Boyer, 1995). Selon Tezara *et al.* (2002) et Rodriguez-Gamir *et al.* (2010), la diminution de la conductance des stomates provoque une réduction de la transpiration et, par conséquent, une diminution de la photosynthèse. Rodriguez-Gamir *et al.* (2010), Hutton et Loveys (2011) et De Campos *et al.* (2011) ont rapporté dans leurs études que le stress hydrique a provoqué une diminution de la conductance stomatique et le taux de la photosynthèse chez les agrumes. Egalement, Beniken *et al.* (2011) ont rapporté qu'un stress hydrique affecte négativement le taux de transpiration chez les porte-greffes d'agrumes

testés. Dans notre étude, nous avons noté que la teneur en chlorophylle exprimée en unités de SPAD diminue avec l'intensité du stress hydrique imposé. De la même façon, sous des conditions de stress hydrique une réduction importante de la teneur en chlorophylle a été notée chez les agrumes (Beniken *et al.*, 2011; Haghghatnia *et al.*, 2011; Shenxi *et al.*, 2012).

Sous des conditions de déficit hydrique sévère et prolongé, la fermeture des stomates et des changements de la croissance des racines ne confient pas aux plantes une protection contre la perte d'eau de leurs tissus (déshydratation) (Verslues *et al.*, 2006). De ce fait, et sous ces conditions de stress sévère, les plantes développent d'autres mécanismes de tolérance qui consistent à l'accumulation de solutés qui réduit le potentiel osmotique au niveau cellulaire par l'ajustement osmotique (Zhang *et al.*, 1999). Les résultats obtenus dans notre étude montrent que les plantes stressées ont réagi par l'augmentation de la concentration de sucres au niveau des feuilles. Cette augmentation est un paramètre d'adaptation aux conditions de stress hydrique, permettant de maintenir une intégrité cellulaire élevée au niveau des tissus des plantes (Kameli et Losel, 1995). Dans notre étude, la teneur en sucres des jeunes plants de clémentine Sidi Aissa a également augmenté sous l'effet du stress hydrique. Le contenu en sucres solubles le plus élevé a été observé chez les porte-greffes *Citrus volkameriana* et le citrange Carrizo, alors que le plus faible était enregistré pour les autres porte-greffes testés (citrange C35, *Citrus macrophylla* et l'hybride Mandarine Cléopâtre x Citrange Carrizo 30577). Des résultats similaires ont été rapportés chez les agrumes par Hugo *et al.* (2004), Gomez Cadenas *et al.* (1996) et Beniken *et al.* (2011). Ces chercheurs ont observé que le contenu en sucres solubles totaux dans les feuilles des porte-greffes d'agrumes augmente avec la sévérité du stress hydrique appliqué. Les mêmes chercheurs ont rapporté également qu'une variabilité en termes d'accumulation des sucres solubles dans les feuilles a été noté entre les porte-greffes testés. Cette augmentation de la concentration en sucres pourrait être un paramètre d'adaptation aux conditions du déficit hydrique ce qui permet de maintenir une intégrité cellulaire élevée au niveau des tissus des plantes (Kameli et Losel, 1995). Ceci permettrait à la plante de maintenir de l'eau au niveau des cellules suite à

une augmentation du potentiel osmotique intracellulaire (Fischer et Holl, 1991). Dans ce sens, il a été rapporté que l'accumulation de sucres solubles était fortement corrélée à l'acquisition de la tolérance à la sécheresse chez les plantes (Hoekstra et Buitink, 2001).

Chez les plants d'agrumes, le statut hydrique et le degré de la tolérance aux stress abiotiques est généralement liés au porte-greffe utilisé (Syvertsen et Levy, 2005). En effet, plusieurs études ont rapporté que chez les agrumes en distingue entre des porte-greffes tolérants au stress hydrique et autres sensibles à cette contrainte (Castel *et al.*, 1993; Garcia-Sanchez *et al.*, 2002; Garcia-Sanchez et Syvertsen, 2006; Beniken *et al.*, 2011). Castel *et al.* (1993), Garcia-Sanchez *et al.* (2002) et Garcia-Sanchez et Syvertsen (2006) ont rapporté que les arbres d'agrumes greffés sur la Mandarine Cléopâtre ont une aptitude de résistance à la salinité et au stress hydrique plus que ceux greffés sur le citrange Carrizo (Garcia-Sanchez *et al.*, 2002 et 2006). Garcia-Sanchez *et al.* (2006) ont montré que sous les conditions du stress hydrique, la Mandarine Cléopâtre a pu conservé son contenu relatif en eau stable par rapport au citrange Carrizo qui a enregistré une chute de ce paramètre. Beniken *et al.* (2011) ont rapporté que parmi les dix porte-greffes d'agrumes testés, le citrange Carrizo s'est montré le plus résistant au déficit hydrique. Cette capacité de tolérance de ces porte-greffes est liée à leur pouvoir élevé d'ajustement osmotique via l'accumulation des osmolites, ce qui leur permet de maintenir leurs activités photosynthétiques sous les conditions de sécheresse (García-Sánchez *et al.*, 2007; Beniken *et al.*, 2011).

En guise de conclusion, nous avons montré dans cette étude que le stress hydrique a un effet significatif sur les paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques de la variété clémentine Sidi Aissa. Finalement, sur la base des résultats que nous avons obtenus dans les conditions de notre expérimentation, nous avons montré que les plantes de la clémentine Sidi Aissa greffées sur les porte-greffes *Citrus volkameriana*, Mandarine Cléopâtre x Citrange Carrizo 30577 et citrange C35 sont plus sensibles aux conditions de déficit hydrique. Tandis que, le citrange carrizo et *Citrus machophylla* semblent être les plus tolérants aux conditions du stress hydrique.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Beniken L., Benazouz A., Talha A. et Beqqali M. 2007. Effet de la dose d'irrigation sur les agrumes: cas de la variété Navel/citrange Troyer

sur un sol sableux dans le site d'El Menzeh (Gharb, Maroc). AL AWAMIA 121. pp :47-61.

- Beniken L., Beqqali M., Dahan R., Benkirane R., Omari F.E., Benazouz A. et Benyahia H. 2011. Evaluation de la résistance de dix porte-greffes d'agrumes résistants à la tristezza vis-à-vis du déficit hydrique. *Fruits*, 66 (6). pp: 373-384.
- Bezzala A. 2005. Essai d'introduction de l'arganier (*Argania spinosa* (L.) Skeels) dans la zone de M'doukel et évaluation de quelques paramètres de résistance à la sécheresse. Mémoire. Magistère en Sciences Agronomiques. Option : Forêt et conservation des sols. Université El Hadj Lakhdar Faculté des Sciences -Batna. Algérie. 143p.
- Castel W.S., Tucker D.P.H., Kerzдор A. H. and Youtsey C. O. 1993. Rootstocks for Florida citrus. Second Edition, SP-42. Inst. Food Agri. Sci. Univ. Fla. Gainesville, FL USA, 92p.
- Chaves, M.M., Maroco, J.P. and Pereira, J.S. 2003. Understanding plant responses to drought: from genes to the whole plant. *Funct. Plant Biol.* 30. pp : 239–264.
- Cohen S. and Naor A. 2002. The effect of three rootstocks on water use, canopy conductance and hydraulic parameters of apple trees and predicting canopy from hydraulic conductance. *Plant Cell Environ.* N°25. pp: 17–28.
- De Campos M.K.F., De Carvalho K., De Souza F.S., Celso Jamil Marur C. J., Luiz Filipe Protasio Pereira L.F.P., Filho J.C.B., Luiz Gonzaga Esteves Vieira L.G.E. 2011. Drought tolerance and antioxidant enzymatic activity in transgenic 'Swingle' citrumelo plants over-accumulating proline. *Environmental and Experimental Botany*, 72. pp: 242–250.
- Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A. and Smith E. 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances, *Allal. Chem.*, 28. pp: 350–356.
- Fischer C. and Höll W. 1991. Food reserves in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). I. Seasonal changes in the carbohydrate and fat reserves of pine needles, *Trees* 5. pp: 187– 195.
- Flexas J., Escalona J.M. and Medrano H. 1999. Water stress induces different levels of photosynthesis and electron transport rate regulation in grapevines. *Plant Cell Environ.*, 22. pp: 39–48.
- Garcia-Sanchez, F. and Syvertsen, J.P. 2006. Salinity tolerance of Cleopatra mandarin and Carrizo citrange rootstock seedlings is affected by CO<sub>2</sub> enrichment during growth. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 131. pp: 24–31.
- Garcia-Sanchez, F., Jifon, J.L., Carvajal, M., Syvertsen, J.P. 2002. Gas exchange, chlorophyll and nutrient contents in relation to Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> accumulation in 'Sunburst' mandarin grafted on different rootstocks. *Plant Sci.*, 162. pp: 705–712.
- Garcia-Sanchez, F., Perez-Perez, J.G., Botia, P., Martinez, V. 2006. The response of young mandarin trees grown under saline conditions depends on the rootstock. *Eur. J. Agr.*, 24. pp: 129–139.
- García-Sánchez, F., Syvertsen J.P., Gimeno V., Botía P. and Perez-Perez J.G. 2007. Responses to flooding and drought stress by two citrus rootstock seedlings with different water use efficiency. *Physiology Plantarum*, 130. pp: 532–542.
- Garcia-Tejero I., Romero-Vicente R., Jiménez-Bocanegra J.A., Martínez-García G., Durán-Zuazo V.H., Muriel-Fernández J.L. 2010. Response of citrus trees to deficit irrigation during different phenological periods in relation to yield, fruit quality, and water productivity. *Agricultural Water Management* 97. Pp : 689–699.
- Gijon M.C., Gimenez C., Perez-lopez D., Guerrero J., Couceiro J.F. and Moriana A. 2010. Rootstock influences the response of pistachio (*Pistacia vera* L. cv. Kerman) to water stress and rehydration. *Sci Hortic.* N° 125. pp:666–671.
- Giuseppe Barbera and Ludovico Fenech. 1984. Effect of different rootstocks on some aspects of water physiology in the almond. *Options Méditerranéennes, CIHEAM* 84/II. pp: 63-73.
- Gollan T., Turner N.C. and Schulze E.D. 1985. The responses of stomata and leaf gas exchange to vapor pressure deficits and soil water content. *Oecologia* 65. pp: 356–362.
- Gomez-Cadenas Aurelio, Francisco R. Tadeo, Manuel Talon, and Eduardo Primo-Millo. 1996. Leaf abscission induced by Ethylene in Water-stressed intact seedlings of Cleopatra Mandarin Requires previous abscisic acid accumulation in roots. *Plant Physiol.* N° 112. pp 401-408.
- Gonzalez-Altozano, P. and Castel J.R. 2000. Regulated deficit irrigation in 'Clementina de Nules' citrus trees. II. Vegetative growth. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 75. pp: 388–392.

- Haghighatnia H., Nadian H. A. and Rejali F. 2011. Effects of mycorrhizal colonization on growth, nutrients uptake and some other characteristics of *Citrus volkameriana* rootstock under drought stress. *World Applied Sciences Journal*, 13(5). pp: 1077-1084.
- Hireche Y. 2006. Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L.) au stress hydrique et à la profondeur de semis. Mmoire de magistère en sciences agronomiques option : agrotechnie. Université Al Hadj Lakhdar – Batna. 83p
- Hoekstra F.A and Buitink J. 2001. Mechanisms of plant desiccation tolerance. *Trends Plant Sci.*, 8(6). pp: 431–438.
- Hugo B. C. M., Celso J.M., Joao C.B.F., Adilson K.K., Marcos P., Rui P. L. J., Luiz F. P. P. et Luiz G. E. V. 2004. Osmotic adjustment in transgenic citrus rootstock Carrizo citrange (*Citrus sinensis* Osb.X *Poncirus trifoliata* L. Raf.) overproducing proline. *Plant Science*. N° 167. pp : 1375-1381.
- Hutton R.J. and Loveys B.R. 2011. A partial root zone drying irrigation strategy for citrus- Effects on water use efficiency and fruit characteristics. *Agricultural Water Management*, 98. pp: 1485–1496.
- Kameli, A. and Losel, D.M. 1995. Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress. *J. Plant. Physiol.*, 145. pp: 363-366.
- Kramer P.J. and Boyer J.S. 1995. *Water relations of plants and soils*. Academic Press, San Diego. Calif. USA, 1995, 495p.
- Lei, Y.B., Yin, C.Y., Li, C.Y., 2006. Differences in some morphological, physiological, and biochemical responses to drought stress in two contrasting populations of *Populus przewalskii* L. *Physiol. Plant*, 127. pp: 182–191.
- Martinez J.P., Silva H., Ledent J.F. and Pinto M. 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.), *Eur. J. Agr.*, 26 pp: 30–38.
- Nam N.H., Chauhan Y.S. and Johansen C., Effect of timing of drought stress on growth and grain yield of extra-short-duration pigeonpea lines, *J. Agric. Sci.*, 136 (2001) 179–189.
- Ortuno M.F., Yelitza Garcia-ORELLANA, Conejero W., Ruiz-Sanchez M.C., Alarco, J.J. Torrecillas A. 2006. Stem and leaf water potentials, gas exchange, sap flow, and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. *Trees*. N° 20. pp: 1-8.
- Ozden M., Vardin H., Simsek M. and Karaaslan M. 2010. Effects of rootstocks and irrigation levels on grape quality of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz. *African Journal of Biotechnology*, 9(25). pp: 3801-3807.
- Pérez-Pérez, J.G., Romero, P., Navarro, J.M. and Botia, P. 2008. Response of sweet orange cv 'Lane late' to deficit irrigation in two rootstocks. I: water relations, leaf gas exchange and vegetative growth. *Irrig. Sci.* 26. pp: 415–425.
- Rodriguez-Gamir J., Primo-Millo E., Forner J. B., Forner-Giner M. A. 2010. Citrus rootstock responses to water stress. *Scientia Horticulturae* 126. pp: 95–102.
- Rodríguez-Gamir J., Ancillo G., Aparicio F., Bordas M., Primo-Millo E., Ángeles F.G. M. 2011. Water-deficit tolerance in citrus is mediated by the down regulation of PIP gene expression in the roots. *Plant Soil*. N° 347. Pp :91–104.
- Shenxi X., Qiang L., Xingyao X. and Lovatt, C.J. 2012. Effect of water stress on citrus photosynthetic characteristics. *Acta Hort.(ISHS)* 928. pp: 315-322.
- Syvertsen J.P. and Levy Y. 2005. Salinity interactions with other abiotic and biotic stresses in citrus. *Hort. Tech.*, 15. pp: 100-103.
- Syvertsen J.P., Lloyd J. and Kriedemann P.E. 1988. Salinity and drought stress effects in ion concentration, water relations and photosynthesis characteristics of orchard citrus, *Aust. J. Agric. Res.* 39. pp: 619-627.
- Tardieu F. and Simonneau T. 1998. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviours. *J. Exp. Bot.*, 49. pp: 419–432.
- Tezara W., Mitchel V., Driscul S.P., Lawlor D.W. 2002. Effects of water deficit and its interaction with CO2 supply on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower, *Exp. Bot.* 53. pp: 1781–1791.
- Verslues, P.E., Agarwal, M., Katiyar-Agarwal, S., Zhu, J. and Zhu, J.K. 2006. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *Plant Journal*, 45. pp: 523–539.
- Weibel A., Johnson R.S. and Dejong T.M. 2003. Comparative vegetative growth responses of

- two peach cultivars grown on size-controlling versus standard rootstocks. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* N° 128. pp:463–471.
- White, D.A., Turner, N.C., Galbraith, J.H. 2000. Leaf water relations and stomatal behavior of four allopatric *Eucalyptus* species planted in Mediterranean southwestern Australia. *Tree Physiol.*, 20. pp: 1157–1165.
- Wu Q.S., Xia R.X and Zou Y.N. 2008 Improved soil structure and citrus growth after inoculation with three arbuscular mycorrhizal fungi under drought stress, *Eur. J. Soil Biol.*, 44. pp: 122–128.
- Yonemoto Yoshimi, Kazunori Matsumoto, Tadashi Furukawa, Masaaki Asakawa, Hitoshi Okuda, Toshio Takahara. 2004. Effects of rootstock and crop load on sap flow rate in branches of 'Shirakawa Satsuma' mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). *Scientia Horticulturae*, 102. pp: 295–300.
- Zekri M. 1991. Effect of PEG induced water stress on tow citrus cultivars. *Journal of plant nutrition* Vol. 14. N°: 1. pp: 59-74.
- Zhang, J., Nguyen, H.T. and Blum, A. 1999. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *J. Exp. Bot.*, 50. pp: 292–302.