

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 8 MAI 1945 GUELMA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET SCIENCES DE LA TERRE ET
DE L'UNIVERS
DEPARTEMENT D'ECOLOGIE ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT



Mémoire de Master

Domaine : Science de la nature et de la vie

Filière : Sciences agronomie

Spécialité/Option : phytopathologie et phytopharmacie

Thème

**Comportement morpho-physiologique et biochimiques de deux variétés
locales de tomate *Lycopersicon esculentum Mill* (Guelma, Isma) sous
contrainte hydrique.**

Présenté par : Khelifi Amina

Mellal Amina

Devant les jurys

Présidente : Mme Laouar H.

M.A.A (Université de Guelma).

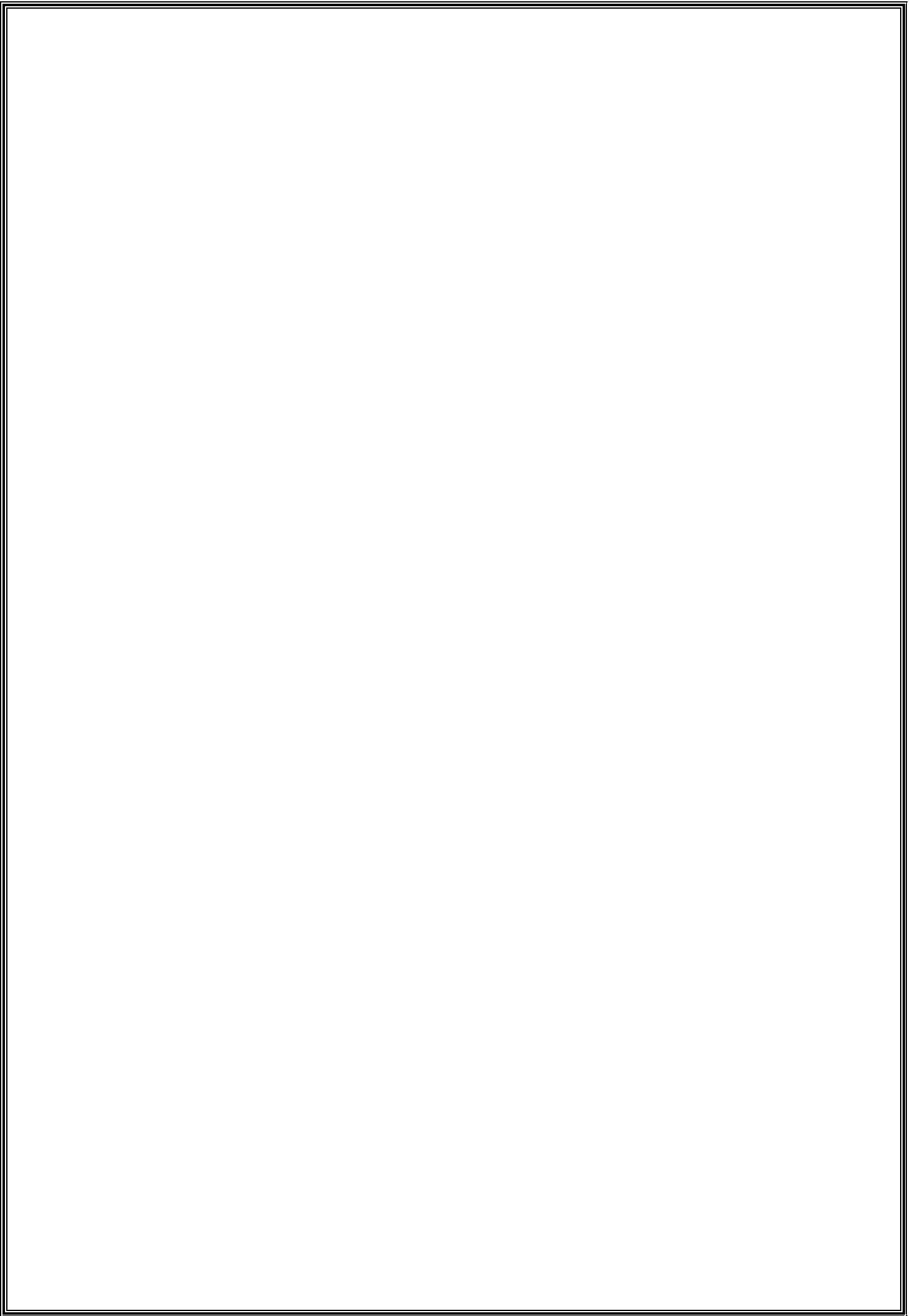
Examinatrice : Mme Azouz F .

M.A.A (Université de Guelma).

Encadreur : Mme Benbelkacem S.

M.A.A (Université de Guelma).

Juin 2015



Remerciements

Nous tenons tout particulièrement à remercier vivement Mme Laouar H (M.A.A à l'Université de Guelma) d'avoir accepté d'examiner et de présider le jury.

Nous exprimons nos sincères remerciements à Mme Azouz F (M.A.A à l'université de Guelma) d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions d'une façon toute particulière notre encadreur Mme Benbelkacem S (M.A.A à l'université de Guelma) de nous avoir accordé l'honneur de diriger ce travail.

Une profonde gratitude à tous nos enseignants de notre première année jusqu'à notre deuxième année master .

Nos remerciements s'adressent aussi à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, plus particulièrement Mer Boumaaza B, Mme Amri S, Fareh Imed, Nourddine, Abd Erezzak, Khaled et les techniciennes des laboratoires de la faculté.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents, mes deux bonnes étoiles qui ont guidé et guideront toujours mon chemin« Abdaallah et Djahida ». Vous étiez des parents exemplaires, merci pour tout ce que vous m'avez appris et merci pour ce que vous avez fait de moi .

A mes sœurs : Saloua et son époux Kamel et leurs enfants Roua et Mouaid ; Souma et son époux Houcin ; et Roumaissa.

A mon mari : Wassef

A mes proches : Sara ; Amina, Bouchera ; Khaoula ; Imen et toute la familles

A mes amies : Amel , Youssra , Zaynab, Soumia, Rabia, Nadjeh, Khaoula, Zazia, Sara, Amira , Zahra, Sabrina, Khouloud, Sihem, Narimen, Imen, Amina, Souhila

Je remercie tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

En fin, je n'oublie pas mes amies, et en particulièrement celles de notre promotion de PPPP (2014 -2015).

Amina

DEDICACES

*Je dédie ce modeste travail à la fontaine d'amour qui ne s'arrête pas de donner,
ma très chère mère « Djahida »*

*Tu es l'exemple de dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour
mois .Puisse Dieu ,le tout puissant ,te préserver et t'accorder santé , longue vie et
Bonheur.*

*A mon cher père « Baziz» qui m'a suivi le long de ce chemin, qui n'a jamais cessé
de contribuer à ma réussite et mon bonheur et j'espère qu'il sera fier.*

A mes frères : Rida (que dieu ait son âme) et Hamza.

*A mes sœurs : Amel et son mari Malek, Ghalia et son Mari, Lyamine, Sihem et
son mari Wahab, Fahima et son mari Imed et Ahlem et son fiancé Nabil.*

*A mes neveux Acheraf, Bouchera, Chaahd El Hayette Roudaina et Nour ;
Hanin et Zizo qui m'ont donné le sourire et la joie de vivre.*

Et ma proche chérie Féten

A la famille Debbouch et Mellal

*Je le dédies aussi a tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail et
en particulière Mr « Imed Fareh » pour son aide, son soutien sa gentillesse et sa
sympathie,*

*A mon binôme ; ma meilleure amie « Amina » qui a partagé avec moi les
moments difficiles de ce travail.*

*A toutes mes amies : Zaynab, Meriem, Rabiaa, Soumia, Karima, Amira,
Hanin , Najia, Sara, Amina, Nawel, Ibtissem, Lamia, Khaoula, Imen*

A tous mes collègues de la promotion 2015 « PPPP »

Amina M

Résumé

La sécheresse est la principale contrainte limitant la productivité végétale dans le monde et en particulier en Algérie. Divers paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques liés à l'adaptation au déficit hydrique (teneur relative en eau, teneur des pigments en chlorophylle, proline, le développement racinaire, surface foliaire, et taux de déperdition d'eau) ont été étudiés chez deux variétés de tomate (Guelma, et Isma).

Cet essai était conduit sous quatre régimes d'irrigation différents. Le premier lot est maintenu irrigué à 70% de la capacité au champ, le second avec un taux d'irrigation à 30%, le troisième à 10% et dernier maintenue à sec durant toute l'expérimentation.

Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique a entraîné une réduction de la surface foliaire, du taux de la chlorophylle totale, du taux de la déperdition d'eau, et de la teneur relative en eau chez la variété Isma, cependant on observe que une augmentation de ce dernier chez la variété Guelma et de même, l'augmentation de la longueur des racines et de la teneur en proline.

En conclusion, l'étude a montré que le stress hydrique provoque les mêmes mécanismes de la réponse chez les deux variétés de tomate mais à des degrés différents.

Mots clés : tomate, stress hydrique, paramètres morpho physiologiques, paramètres biochimiques, adaptation, Guelma, Isma.

Abstract

The drought is a principal constraint limit of the plant productivity in the world and in particular in Algeria. Various morph physiological and biochemical parameters related to the adaptation to the water deficit (relative water content, chlorophyll content, proline and rooting development, leaf surface area, RWL) were studied at two varieties of common bean varieties of tomato (Guelma , Isma) .

This essay proceeded in for different treatments, the first batch maintained irrigated at 70% of the field capacity, the second is irrigated with 30%, the third one with 10%, the last batch leads dry during all the experimentation.

The results obtained show that the hydrous parameters vary according to the varieties and the intensity of the hydrous stress. The water stress caused a reduction in leaf area, rates of total chlorophyll, in the rate of water loss and an increase in relative water content in the Guelma variety and its decrease in the variety Isma and likewise, the increase in root length and proline content .

In conclusion, the study showed that water stress causes the same mechanisms of response in two varieties of tomato, but into different degrees.

Key words: water stress, morph-physiological and biochemical parameters, adaptation, Guelma, Isma.

يعتبر الجفاف عاملا محددًا لتغيرات المردود في المناطق التي تعاني من النقص المائي في العالم وبالخصوص في الجزائر. عدة عوامل مرفولوجية , فيزيولوجية و بيوكيميائية مرتبطة بالتأقلم مع الجفاف تم دراستها عند نوعين من الطماطم , أنجز هذا العمل تحت اربعة ظروف مائية مختلفة.

يتم سقي النباتات التي تمثل شاهد التجربة بنسبة 70% من قدرة استيعاب الحقل فيما تسقى نباتات اخرى بنسبة 0% , 10% , 30%.

تبين النتائج المحصل عليها ان الاجهاد المائي تسبب في تقلص المساحة الورقية , انخفاض محتوى الماء النسبي للاوراق في النوع (اسما) و ارتفاعه لدى النوع قالمة , بينما نلاحظ نقص في كل من معدل فقدان الماء و محتوى الكلوروفيل الكلي , كما سجلت في المثل زيادة في نمو الجذور و ارتفاع في نسبة البرولين .
ختاما , اظهرت الدراسة انه بوجود الاجهاد المائي تستجيب اصناف الطماطم المدروسة بنفس الاليات و لكن بدرجات مختلفة .

الكلمات المفتاحية: الإجهاد المائي , العوامل المرفولوجية , العوامل الفيزيولوجية , العوامل البيوكيميائية , التأقلم. الطماطم (اسما , قالمة).

Liste des tableaux

Tableau 1: Production mondiale de tomate en 2006 (en millions de tonnes FAO 2007).....	13
Tableau 2: Valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de tomate.....	14
Tableau 3: Caractéristique de variété Guelma.....	27
Tableau 4: Caractéristique de variété Isma.....	28
Tableau 5: Longueur moyenne de la partie aérienne (cm) des variétés de Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.....	37
Tableau 6: Longueurs moyennes des racines (cm) des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.....	39
Tableau 7 : Résultats de la surface foliaire (exprimé en cm ²).....	40
Tableau 8: poids frais moyens de la partie aérienne(g) des variétés Guelma et Isma sous différentes stress hydriques.....	41
Tableau 9: le poids frais moyen des racines (g) des variétés Guelma et Isma sous différentes stress hydriques.....	42
Tableau 10: Poids sec moyens de la partie aérienne (g) des plantes de Guelma et Isma sous différents régimes d'irrigation.....	43
Tableau 11: Poids sec moyen des racines (g) des plantes de Guelma et Isma sous différents régimes hydriques.....	44
Tableau 12: Teneur relative en eau (%) moyenne des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques (exprimé en %).....	45
Tableau 13: Perte d'eau moyenne des feuilles excisées des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques (exprimé en g/cm ² /mm).....	47
Tableau 14: Teneur moyenne en chlorophylle a des plantes de Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.....	48
Tableau 15 : Teneur moyenne en chlorophylle b des variétés de Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.....	49

Tableau 16 : Résultats moyens de la teneur en chlorophylle a et b des plantes de Guelma et Isma. Sous différentes situations hydriques.....50

Tableau 17 : Résultats moyens de la teneur en proline des plantes de Guelma et Isma. Sous différentes situations hydriques.....51

Liste des figures

Figure 1: La plante de tomate <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill(1) et (2).....	03
Figure 2: Diffusion de la tomate dans le monde.....	04
Figure 3: Appareil végétatif de la tomate.....	07
Figure 4: Appareil reproducteur de latomate.....	08
Figure 5: Dispositif expérimental.....	31
Figure 6: les échantillons de tomate (Guelma) stressés.....	31
Figure 7: les échantillons de tomate (Isma) stressés.....	31
Figure 8: Dosage de la TRE.....	33
Figure 9: Dosage de la RWE.....	34
Figure 10: broyage des feuilles de tomate.....	35
Figure 11: Préparation des tubes contenant la chlorophylle pour dosage.....	36
Figure 12: tubes contenant la préparation pour le dosage de la proline.....	37
Figure 13 : Longueur de la partie aérienne des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.....	38
Figure14 : Longueurs des racines des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.....	39
Figure15 : La surface foliaire des plantes de Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.....	41
Figure16 : Poids frais de la partie aérienne des variétés Guelma et Isma sous différents stress hydriques.....	42
Figure17 : poids frais des racines des variétés Guelma et Isma sous différents régimes d'irrigation.....	43
Figure18 : Poids sec de la partie aérienne des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.....	44
Figure 19 : Poids sec des racines chez les variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.....	45

Figure 20 : La teneur relative en eau (%) des feuilles des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.....	46
Figure21 : Taux de déperdition d'eau (RWL) des feuilles des plantes de Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.....	47
Figure22 : La teneur en chlorophylle a des feuilles des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.....	49
Figure23 :Teneur en chlorophylle b des feuilles des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.	50
Figure24 :Teneur en chlorophylle totale (a +b) des feuilles des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.....	51
Figure25 : La proline des feuilles des plantes de Guelma et Isma sous différentes traitements hydriques.....	52

Liste des abréviations

ABA : Acide abscissique

ADH1 : Avec déficit hydrique conduit à 30% de la capacité au champ

ADH2 : Avec déficit hydrique conduit à 10% de la capacité au champ

ADH3 : Avec déficit hydrique conduit à sec.

Chl a: Chlorophylle a

Chl b : Chlorophylle b

Cm² : Centimètre carré

°C: Degré Celsius

DO : Densité optique (valeur donnée par le spectrophotomètre aux longueurs d'ondes 645nm et 663nm).

DSA : Direction des services agricoles.

g: gramme

h : Heure

MF : Matière fraîche

ha : hectare

mg : Milligramme

ml: Millilitre

mm²: Millimètre carré

mn: Minute

MS: Matière sèche

MSA : Matière sèche aérienne

MSR: Matière sèche racinaire

N° : Numéro

nm: Nanomètre

NS: Non significative

P: Probabilité

Pf: Poids initial frais

Pi : poids initial

Ppt: Poids en pleine turgescence.

Ps: Poids sec.

RFU: Réserve facilement utilisable

RU: Réserve utile

RudP: Rubilose diphosphate

RWL: Taux de déperdition de l'eau (Relative Water Loss).

SDH : Sans déficit hydrique maintenu 70%.

SF: Surface foliaire

T: Temps

TRE: Teneur relative en eau

V1: variété 1, Guelma

V2 : variété 2, Isma

%: Pour cent

*** : Différence très hautement significative.

** : Différence hautement significative.

*: Différence significative

± : Plus ou moins

µm: Micromètre

µmol: Micromole

Sommaire

. Remerciements	
.Résumés	
. Liste des tableaux	
. Liste des figures	
. Liste des abréviations	
.Sommaire	
. Introduction	01

PARTIE I : DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAPITRE 1 : La tomate

1. Historique et origine de la tomate	03
2. Classification botanique (systématique) de la tomate.....	04
3. Caractéristique de la tomate.....	04
3.1. Caractéristiques génétique	05
3.1.1 .Variétés fixées	05
3.1.2. Variétés hybrides	05
3.2 .Caractéristiques culturelles	05
3.2.1. Variété à croissance déterminée	05
3.2.2. Variété à croissance indéterminée	06
3.3. Caractéristiques morphologiques.....	06
3.3.1. L'appareil végétatif	06
3.3.2. L'appareil reproducteur.....	06
4. Caractéristiques physiologiques de la tomate.....	08
4.1. Le cycle biologique de la tomate	08
-La germination	08
-La croissance.....	08
-La floraison	09
- La pollinisation.....	09
-La fructification et nouaison des fleurs	09

-La maturation du fruit	09
5. Les exigences édapho.climatiques de la tomate	09
5.1. Les exigences climatiques	09
-La température de l'air	10
-La lumière	10
-L'humidité de l'air.....	10
5.2. Exigences édaphiques	10
-La nature du sol	10
-La température du sol	10
-Le pH du sol	11
-L'humidité du sol.....	11
-La salinité du sol	11
-L'aération du sol.....	11
5.3. Exigences nutritionnelles	11
-Exigences hydrique	11
-Exigences en éléments fertilisants	12
6. Importance de la tomate	12
6.1. Importance économique	12
6.2. Valeur nutritionnelle des fruits de tomate	13
6.3. Importance médicinale de la tomate	14
7. Ravageurs et maladies	15
CHAPITRE 2 : Effets du stress hydrique	
I. LES STRESS ABIOTIQUES.....	16
1. Le stress thermique.....	16
-Le froid.....	16
-Le stress provoqué par le gel	17
-Le stress induit par les températures élevées	17
2. Le stress salin.....	17
3. Le stress hydrique	18
II. L'EAU, LE SOL ET LES PLANTES	18

1. L'eau dans la plante.....	18
2. L'eau dans le sol.....	19
3. Aspects agronomiques	19
4. Les différents états de l'eau dans la matière végétale	20
5. Transpiration et croissance	20
6. Les effets du déficit hydrique sur la plante	21
6.1. Le déficit hydrique et ses conséquences sur les plantes.....	21
6.2. Actions sur le métabolisme glucidique.....	21
6.3. Actions sur le métabolisme protidique.....	21
6.4. Actions sur le métabolisme lipidique.....	22
6.5. Actions sur l'intégrité membranaire.....	22
6.6. Actions sur la feuille.....	23
6.7. Actions sur la transpiration.....	22
6.8. Actions sur la photosynthèse.....	23
6.9. Actions sur la température interne.....	24
7. Mécanismes d'adaptation des plantes	24
7.1. Aptitude à échapper au stress	25
7.2. Aptitude à résister au stress	25
7.3. Mécanismes d'évitement	25
-adaptations morphologiques	25
-fonctionnement stomatique.....	26

PARTIE II : MATERIELS ET METHODES

1. Matériel végétal.....	27
• Caractéristique des variétés.....	27
2. Le matériel utilisé dans ce travail.....	29
3. Protocole expérimental adopté	30
3. 1. Localisation de l'essai	30
3. 2. Condition de culture	30
3.3. Dispositif expérimental	30
4. Les mesures effectuées	32

4.1. Paramètres morphologiques	31
4.1.1. La partie aérienne	31
4.1.2. La partie souterraine	32
4.2. Paramètres physiologiques	33
4.2.1. la teneur relative en eau (TRE) de la feuille	33
4.2.2. Le taux de déperdition d'eau (RWL).....	33
4.3. Paramètres biochimiques	34
4.3.1. Extraction de la chlorophylle	34
4.3.2. Dosage de la proline.....	36
PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSION	
1. Paramètres morphologiques	38
1.1. La longueur.....	38
1.2. La surface foliaire (SF)	40
1.3. La matière fraîche.....	41
1.4. La matière sèche.....	43
2. Paramètres physiologiques.....	45
2.1. La teneur relative en eau (TRE) de la feuille	45
2.2. Taux de déperdition d'eau (RWL)	47
3. Paramètres biochimiques.....	48
3.1. Extraction de la chlorophylle	48
3.2. Dosage de proline.....	51
PARTIE IV : CONCLUSION.....	54
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	55

Introduction

Introduction

Originaire des Andes et d'Amérique, la tomate *Lycopersicon esculentum* Mill, est une plante, très cultivée pour son fruit consommé à l'état frais ou transformé (**Chaux et Foury, 1994**).

C'est l'une des cultures les plus répandues à travers le monde, et occupe la deuxième place après la pomme de terre, que ce soit en production ou en consommation (**Trichpoulou et Iagio, 1997**).

Dans l'économie agricole algérienne la culture de la tomate occupe une place prépondérante. Près de 33 000 ha sont consacrés annuellement à la culture de tomate (maraîchère et industrielle), donnant une production moyenne de 11 millions de quintaux et des rendements moyens d'environ 311 Qx/ha (**Madr, 2009**).

Sachant qu'elle est beaucoup plus consommée sous sa forme industrielle avec une consommation qui avoisinerait les 04 Kg par an et par habitant algérien (**Baci, 1993**).

Compte tenu de son importance économique, elle fait l'objet de nombreuses recherches scientifiques et elle est considérée comme une plante modèle en génétique, et a donné naissance aux hybrides commercialisés de façon éphémère aux Etats Unis dans les années 1990.

La plante est cultivée sous serre et en plein champ, sur une superficie d'environ 3 millions d'hectares, ce qui représente près du tiers des surfaces mondiales consacrées aux légumes (**Anonyme, 2010**).

La sécheresse est reconnue comme étant le premier facteur limitant la production agricole mondiale (Turner, 1986 ; Passioura, 1996). Globalement, 35% de la superficie cultivable peut être classée comme aride ou semi-aride et sur ce qui reste 25% des superficies au moins sont régulièrement soumises à des périodes de sécheresse (**Richards et al, 1997**).

La tolérance à la sécheresse implique une bonne connaissance des ressources génétiques disponibles au sein de l'espèce de leurs mécanismes d'adaptation à la contrainte hydrique (**Adda, 2006**).

Dans ce cadre le travail proposé est une évaluation des réponses morpho physiologiques ainsi que le dosage de certains paramètres biochimiques tels que la proline et la chlorophylle

Introduction

de deux variétés locales de tomates, Guelma et Isma, soumises à des déficits hydriques en vue de déduire l'impact du stress hydrique sur le processus biologiques impliqués dans la croissance et le développement des plantes, et pouvant induire comme conséquences des pertes de rendements et parfois même la destruction de la culture.

L'étude est portée sur deux variétés locales de tomate (Guelma et Isma) sous quatre régimes hydriques (T0, T1, T2, et T3).

Pour la présentation de ce travail on a adopté un plan devisé en plusieurs parties :

- La première partie « La revue bibliographique », compte un aperçu général sur la tomate et des informations concernant sa culture, ainsi qu'une petite analyse bibliographique sur la relation "eau et la production végétale».
- La deuxième partie consiste à exposer le matériel et les différentes méthodes adoptés dans cette expérimentation.
- La partie des résultats, suivis de la discussion vient ensuite.
- Et en fin la conclusion avec les perspectives possibles à ce travail.

1. Historique de la tomate

La tomate du genre *Lycopersicon* est une plante cultivée dans le monde entier pour son fruit. Elle est originaire des régions Andines côtières du Nord-Ouest de l'Amérique du Sud, dans une zone qui s'étend du Sud de la Colombie au Nord du Chili, et de la côte Pacifique aux contre forts des Andes (Equateur, Pérou). C'est dans ces régions, que des plantes spontanées de diverses espèces, de l'ancien genre *Lycopersicon*, notamment *Solanum lycopersicum ceraciforme* (la tomate cerise) ont été découvertes. Cette dernière est actuellement répandue dans toutes les régions tropicales du globe, mais il s'agit d'introduction récente (Kolev, 1976).

C'est au XVI^{ème} siècle au Mexique actuel que la tomate à gros fruits a été découverte et domestiquée, son nom vient des indigènes qui l'appelaient «Tomati»; ce nom provient d'un nom Aztèque «Zitomate» (Chougar, 2011).

Le genre *Lycopersicon* comprend neuf espèces, dont l'espèce *Lycopersicon esculentum* qui sous sa forme sauvage ceraciforme pourrait être à l'origine de nos variétés, et qui a émigré vers le Sud de l'Amérique du Nord (Chaux et Foury, 1994).

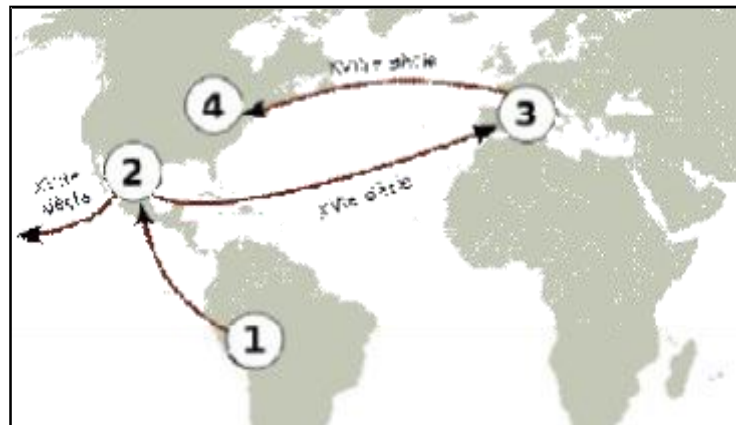


Figure1 : La plante de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill (1) et (2).

La tomate fut introduite en Europe au XVI^{ème} siècle par les Espagnols avant même la pomme de terre et le tabac, et les gens pensaient qu'elle avait un pouvoir aphrodisiaque et l'appelèrent « Pomme d'Amour » (Chougar, 2011).

Les Européens l'ont exploitée au début pour un usage purement ornemental et ont évité sa consommation, à cause des liens de parenté botanique très étroits avec certaines espèces végétales connues comme plantes vénéneuses, exemple : *Hyocinusniger*, *Lycopersicum atropa* (Kolev, 1976).

Son introduction en Algérie fut par les cultivateurs du Sud de l'Espagne (Tomateros), étant donné les conditions climatiques qui lui sont propices. Sa consommation a commencé dans la région d'Oran en 1905 puis, elle s'étendit vers le centre, notamment au littoral Algérois (Latigui, 1984).



- (1) Pérou : Centre de diversification.
- (2) Mexique : Premier centre de domestication.
- (3) Europe : Deuxième centre de domestication.
- (4) Etats Unis : Troisième centre de domestication

Figure.2 : Diffusion de la tomate dans le monde (Gallais et Bannerot, 1992).

2. Classification botanique (systématique) de la tomate

La tomate appartient à la famille des Solanacées elle a été classée par Linné en 1753, comme *Solanum lycopersicon*.

D'autres botanistes lui ont attribué différents noms : *Solanum lycopersicum*, *Solanum esculentum*, *Lycopersicon lycopersicum*; c'est finalement *Lycopersicon esculentum* attribué par Philip Miller en 1754, qui a été retenue (Munroe et Small, 1997).

La tomate appartient à la classification suivante (**Cronquist ,1981 ; Gaussen et al, 1982**).

Règne : *Plantae*.

Sous-règne : *Trachenobionta*.

Division : *Magnoliophyta*.

Classe : *Magnoliopsida*.

Sous-classe : *Asteridae*.

Ordre : *Solanales*.

Famille : *Solanaceae*.

Genre : *Solanum Lycopersicon*

Espèce : *Lycopersicon esculentum Mill.*

Il y a d'autres noms qui sont synonymes de *Solanum lycopersicon* :

**Lycopersicon pomumamoris* Moencè 1994.

**Lycopersicon lycopersicum* H Karst 1882.

3. Caractéristiques de la tomate

3.1. Caractéristiques génétiques

La tomate cultivée, *Lycopersicon esculentum* Mill est une espèce diploïde avec $2n=24$ chromosomes, chez laquelle il existe de très nombreux mutants mono géniques, dont certains sont très importants pour la sélection. Sa carte chromosomique compte actuellement 235 gènes localisés avec précision (**Gallais et Bannerot, 1992**).

La structure de la fleur de *L.esculentum* assure une cleistogamie (autogamie stricte), mais elle peut se comporter comme une plante allogame. On peut avoir jusqu'à 47% de fécondation croisée dans la nature (**Publishers, 2004**). Ces deux types de fécondation divisent la tomate en deux variétés qui sont:

3.1.1 .Variétés fixées

Il existe plus de cinq cents variétés fixées (conservernt les qualités parentales). Leurs fruits sont plus ou moins réguliers, sont sensibles aux maladies, mais donnent en général des fruits d'excellente qualité gustative (**Polese, 2007**).

3.1.2. Variétés hybrides

Les variétés hybrides sont plus nombreuses. Elles sont relativement récentes, puisqu'elles n'existent que depuis 1960 (**Polese, 2007**).

3.2. Caractéristiques culturelles

3.2.1. Variétés à croissance déterminée

Dans ce groupe et selon la variété, la tige émet 2 à 6 bouquets floraux, puis la croissance s'arrête naturellement. Elle est caractérisée par l'absence de la dominance apicale. Ce type de variété est destiné à l'industrie agro-alimentaire sous le nom de variété industrielle (**Laumonier, 1979**).

3.2.2. Variétés à croissance indéterminée

Les variétés à croissance indéterminée présentent un nombre indéfini d'inflorescences sur la tige principale comme les tiges latérales. Cette croissance peut cependant être interrompue par des facteurs extérieurs comme le gel ou régulée en taillant les plantes (**Abdeslam, 2012**).

3.3. Caractéristiques morphologiques

La tomate est une plante vivace dans sa région d'origine mais en culture on la considère comme une plante annuelle (**Chaux et Foury, 1994**).

3.3.1. L'appareil végétatif

- **Le système racinaire**

Le système racinaire est puissant, très ramifié à tendance fasciculée. Il est très actif sur les 30 à 40 premiers centimètres. En sol profond, on peut trouver des racines jusqu'à 1 mètre de profondeur (**Chaux et Foury, 1994**).

- **La tige**

La tige est de forme anguleuse, épaisse aux entrenœuds pubescents (couvert de poil), de consistance herbacée en début de croissance, se lignifie en vieillissant.

Cette croissance mono modale au début après 4 ou 5 feuilles devient sympodiale, c'est-à-dire que les bourgeons axillaires donnent naissance à des ramifications successives. Par contre, les bourgeons terminaux produisent des fleurs ou avortent.

Ces rameaux issus des bourgeons axillaires produisent des feuilles à chaque nœud et se terminent par une inflorescence (**Chaux et Foury, 1994**).

La tige porte 2 types de poils, simple ou glanduleux. Ces derniers contenant une huile essentielle qui donne son odeur caractéristique de la plante (**Kolev, 1976**).

- **La feuille**

Les feuilles sont composées de 5 à 7 folios principales, longues de 10 à 25 cm et d'un certain nombre de petits folios les intercalaires ovales, un peu dentés sur les bords, grisâtre à la face inférieure. Elles sont souvent repliées en forme de cuillères ou même à bords roulés en dessus. Ces feuilles sont alternées sur la tige (**Raemaekers, 2001**).



A



B

Figure. 3 : Appareil végétatif de la tomate : **A :** Système racinaire (**Chaux et Foury, 1994**)

B : Feuille de tomate (**Chougar S, 2011**).

3. 3.2. L'appareil reproducteur

- **La fleur**

Chez la tomate les fleurs sont regroupées sur le même pédoncule en bouquet lâche en inflorescences formant des grappes plus ou moins bifurquées de 3 à 8 fleurs chez les variétés fixées et au-delà chez les hybrides (**Polese, 2007**).

Les fleurs s'épanouissent du printemps à l'été (de fin Mai à Septembre) dans l'hémisphère Nord. La fleur est actinomorphe à un système pentamère.

Le calice comporte 5 sépales verts, il est persistant après la fécondation et subsiste au sommet du fruit. La corolle comporte 5 pétales d'un jaune vif, soudées à la base, réfléchis en arrière en formant une étoile à 5pointes.

L'androcée comporte 5 étamines à déhiscence latérale, les anthères allongées forment un cône resserré autour du pistil; celui-ci est constitué de deux carpelles soudées formant un ovaire super biloculaire à 2 loges et à placenta central. Chez certaines variétés l'ovaire est pluriloculaire (**Dore et Varoquaux, 2006**).

- **Le fruit**

Le fruit de la tomate est une baie charnue dont l'épiderme est lisse brillant. Selon la variété, il peut présenter sur des fruits mûrs des colorations très diverses (**Chougar, 2011**), elle peut varier du rouge foncé au rose, bleuâtre, orange, jaune et même blanche.

Cette diversité de coloration est due à la présence de 2 principaux pigments :

*Pigment carotène : Jaune.

*Pigment lycopéne : Rouge (**Chaux et Foury, 1994**).

En principe le fruit présente 2 loges.

En section méridienne le fruit peut revêtir des formes très variées, ellipsoïdales, plus ou moins aplaties, globuleuses, ovales, plus ou moins allongées, voir cylindrique. La taille est extrêmement variable, allant de 1,5 cm de diamètre pour la tomate cerise à plus de 10 cm. ((**Chougar, 2011**).

- **La graine**

Le nombre de graines varie de 80 à 500 graines par fruit. Elles sont recouvertes d'un mucilage qui présente à maturité un albumen et embryon à courbe, à germination épigée.

La graine est petite (250 à 350 graines par gramme) et velue (**Chaux et Foury, 1994**).

Après le stade cotylédonaire, la plante produit 7 à 14 feuilles composées avant de fleurir (**Dore et Varoqaux, 2006**).

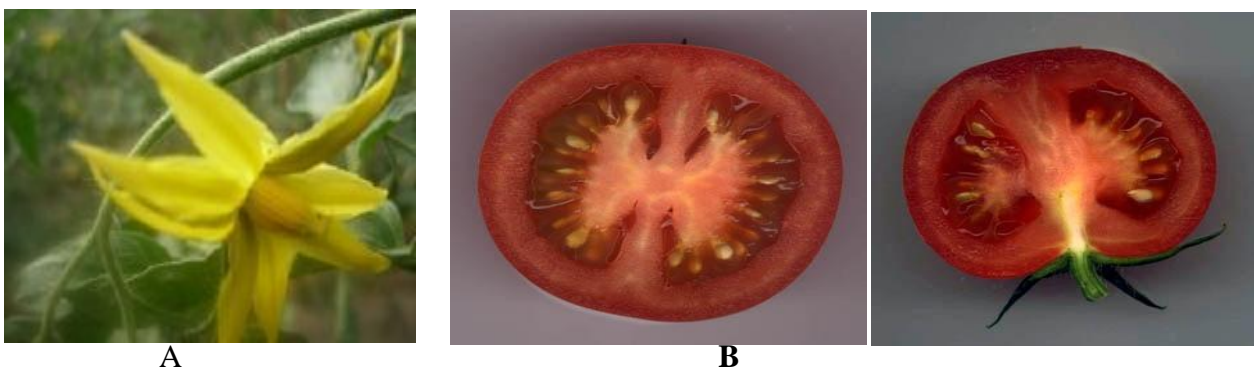


Figure.4: Appareil reproducteur de la tomate. **A** : Fleur de tomate. **B** : Section transversale et longitudinale d'une tomate (**Chougar, 2011**).

4. Caractéristiques physiologiques de la tomate

Le cycle végétatif complet de la graine à la graine de la tomate varie selon les variétés, l'époque et les conditions de culture.

4.1. Le cycle biologique de la tomate

Le cycle de la tomate s'étend généralement en moyenne de 3,5 à 4 mois du semis, jusqu'à la dernière récolte (7 à 8 semaines de la graine à la fleur et 7 à 9 semaines de la fleur au fruit). (**Gallais et Bannerot, 1992**). Le cycle comprend six phases:

- **La germination**

La germination chez la tomate est épigée. Une température ambiante d'environ 20°C et une humidité relative de 70 à 80% sont nécessaires (**Chaux et Foury, 1994**).

- **La croissance**

La croissance de plante de tomate se déroule en 2 phases et en 2 milieux différents.

-En pépinière: De la levée jusqu'au stade 6 feuilles, on remarque l'apparition des racines non fonctionnelles et des pré feuilles.

-En plein champ: Après l'apparition des feuilles à photosynthèse intense et des racines fonctionnelles, les plantes continuent leur croissance. La tige s'épaissit et augmente son nombre de feuille. (**Laumonier, 1979**).

- **La floraison**

La tomate entre en floraison après un mois de croissance. La floraison dépend de la photopériode, de la température et des besoins en éléments nutritifs de la plante, car celle-ci ne peut fleurir que si elle reçoit la lumière pendant une durée qui lui est propre, en plus d'un apport équilibré sous serre (**Chougar, 2011**).

- **La pollinisation**

La pollinisation nécessite l'intervention d'agents extérieurs, le vent ou certains insectes capables de faire vibrer les anthères et de libérer le pollen (**Chaux et Foury, 1994**).

La libération et la fixation du pollen reste sous la dépendance des facteurs climatiques ; Si la température nocturne est inférieure à 13°C, la plupart des grains de pollen seraient vides, et une faible humidité dessèche les stigmates et de cela résulte la difficulté du dépôt du pollen (**Pesson et Louveaux, 1984**).

- **La fructification et nouaison des fleurs**

La nouaison est l'ensemble de gamétogenèse, pollinisation, croissance du tube pollinique, la fécondation des ovules et le développement des fruits «fructification».

La température de nouaison est de 13°C à 15°C. Les nuits chaudes à 22°C sont défavorables à la nouaison (**Rey et Costes, 1965**).

Le zéro de germination est de 12°C, l'optimum de la croissance des racines est de 15°C à 18°C. En phase grossissement du fruit, l'optimum de la température ambiante est de 25°C le jour et 15°C la nuit (**Anonyme, 2003**).

- **La maturation du fruit**

La maturation du fruit se caractérise par le grossissement du fruit et le changement de couleur, du vert au rouge.

La lumière intense permet la synthèse active de matière organique qui est transporté rapidement vers les fruits en croissance, pour cela il faut une température de 18°C la nuit et 27°C le jour (**Rey et Costes, 1965**).

5. Les exigences édapho-climatiques de la tomate

5.1. Les exigences climatiques

La tomate s'adapte à une grande diversité de conditions climatiques, allant du climat tempéré vers le climat tropical chaud et humide (**Naika et al, 2005**).

- **La température de l'air**

La tomate est une plante des saisons chaudes, elle est exigeante en chaleur pour assurer son cycle végétatif complet. Les températures optimales pour la plupart des variétés sont de 18°C le jour et 15 à 25°C la nuit. Pendant la nuit la fécondation s'arrête à des températures inférieures à 15°C. En dessous de 10°C et en dessus de 38°C, les tissus végétaux sont endommagés (**Naika et al, 2005**).

- **La lumière**

Le développement de la tomate exige de fortes quantités de lumière. La lumière intervient sur la croissance et la fructification de la tomate par sa durée, son intensité et sa qualité. 1200 heures d'insolation sont nécessaires pendant les 6 mois de végétation, un éclairage de 14 heures par jour est nécessaire pour une bonne nouaison. (**Kinet, 1985**)

- **L'humidité de l'air**

La tomate est très sensible à l'hygrométrie, il semble qu'une hygrométrie relativement ambiante de 60% à 65% soit la meilleure, l'humidité de l'air joue un rôle important dans la fécondation.

Si l'humidité est trop élevée, le pollen est difficilement libéré. Et si elle est accompagnée de la chaleur cela favorise le développement des maladies cryptogamiques (**Laumonier, 1979**).

L'humidité atmosphérique doit être de 76% lors de la germination, 75-80% durant l'élevage des plantes, 70-80% lors du développement des fruits (**Benchaalal, 1983**).

5.2. Les Exigences édaphique

- **La nature du sol**

La tomate peut s'adapter à toutes les textures, allant des sols argileux, aux sables dunaires, à conditions que les travaux du sol soient effectués convenablement.

La tomate pousse bien sur la plupart des sols, ayant en général une bonne capacité de rétention d'eau et une bonne aération. Elle préfère les terres limoneuses profondes et bien drainées, légères, meubles, riches en humus, s'échauffant rapidement et plus facilement. La couche superficielle du

terrain doit être perméable. Une profondeur de sol de 15 à 20 cm est favorable à la bonne croissance d'une culture saine (**Laumonier, 1979**).

- **La température du sol**

La température du sol est le premier facteur dont dépendent le pourcentage de levée et la vitesse de germination. Cette dernière augmente avec la température jusqu'à une valeur optimale de 25°C, et entre 15°C et 20°C on aura un meilleur pourcentage de levée (**Rey et Costes, 1965**).

Au-dessous de 12°C la végétation est très faible et les inflorescences portent peu de fleurs (**Kolev, 1976**).

- **Le pH du sol**

La culture de la tomate tolère une large gamme de pH. Néanmoins sur des sols à pH basique, certains micro-éléments (Fe, Mn, Zn, Cu) restent peu disponibles pour la plante.

Ce taux de pH toléré varie de 4,5 à 8,5. Le meilleur équilibre nutritionnel est assuré à des pH compris entre 6 et 7 (**Chaux et Foury, 1994**).

- **L'humidité du sol**

La tomate est exigeante en humidité du sol. L'humidité optimale du sol pour des terres argilo-siliceuses est de 75 à 80% de la capacité au champ, et l'abaissement de l'humidité et de la température du sol crée un déficit hydrique, et par conséquent réduit la photosynthèse et la transpiration (**Heller, 1981**).

- **La salinité du sol**

La tomate est moyennement sensible à la salinité du sol, elle peut supporter des teneurs en sels, allant de 2 à 4g/l. La période pendant laquelle la tomate est plus sensible à la salinité, correspond à la germination et au début du développement de la plante (**Bentvelsen, 1980**).

- **L'aération du sol**

Un sol bien aéré détermine un pourcentage élevé de levée des plantules, mais exerce par contre un effet défavorable sur les racines durant la période de croissance végétative. L'aération est indispensable à la maturité des fleurs (**Chaux et Foury, 1994**).

Les mêmes auteurs ajoutent qu'il convient d'éviter les sols battants mal aérés et mal structurés en profondeur, cela ralentit la germination et la levée des jeunes plantes en pépinières, de même qu'ils réduisent le nombre de boutons floraux en plein champ.

5.3. Les Exigences nutritionnelle

- **Exigences hydrique**

La tomate paraît être l'une des cultures les plus exigeantes en eau. Les besoins de tomate en plein champ se situent entre 4000 et 5000 m³/ha. Celles d'un cycle de 90 à 120 jours sont de 400 à 600 m³/ha. L'évolution des besoins en eau de la tomate est fonction de l'environnement, de la plante, mais aussi des stades de développement de celle-ci (**Bentvelsen, 1980**).

Le manque d'eau pendant la phase de maturation des fruits destinés à la transformation est bénéfique pour leur qualité, qui se traduit par une augmentation du taux d'extrait sec (**Doorenbos, 1975**).

Les irrigations fréquentes et régulières, suivies par un binage permettent l'obtention des rendements élevés. Par contre, les irrigations trop copieuses pendant la floraison provoquent les chutes de fleurs et une croissance trop exubérante, d'où un retard de la maturité des fruits. (Mouhouche 1983)

- **Exigences en éléments fertilisants**

En général, on estime les exigences en fumure des plantes en fonction de l'exportation globale de la culture. En dépit des différences régionales, on admet qu'une production d'une tonne de tomate requiert :

- 2,2 à 2,7 Kg de P₂O₅
- 3 à 3,9 Kg de K₂O
- 5 à 6 Kg de CaO
- 0,5 à 1 Kg de MgO, (**Chougar, 2011**).

6. Importance de la tomate ;,

6.1. Importance économique

La tomate est, après la pomme de terre ; le légume le plus consommé dans le monde ; soit frais soit après transformation.

La production mondiale de tomates a progressé régulièrement au cours du XX^e siècle et s'est accrue considérablement durant les trois dernières décennies. Elle est passée de 48 millions de tonnes en 1978 à 74 millions en 1992, 89 millions en 1998 et a atteint 124 millions en 2006. Parmi les 16 pays qui ont produit 1 million de tonnes ou plus, 6 sont largement au-dessus de 5 tonnes.

On estime que 30% des tomates produites sont transformées. Ce pourcentage est très différent d'un pays à l'autre. La consommation par individu, que ce soit en tomates fraîches ou transformées, ne cesse d'augmenter à l'échelle mondiale et spécialement les pays méditerranéens qui en sont de gros consommateurs en toutes saisons.

Tableau 1 : Production mondiale de tomate en 2006 en millions de tonnes (FAO, 2007)

Chine	32.5	Mexique	2.9
Etat –unis	11.3	Russie	2.4
Turquie	9.9	Grèce	1.7
Inde	8.6	Ouzbékistan	1.6
Egypte	7.6	Ukraine	1.5
Italie	6.4	Maroc	1.2
Iran	4.8	Chili	1.2
Espagne	3.7	France	0.74
Brésil	3.3	France +DOM	0.76

6.2. Valeur nutritionnelle du fruit de tomate

La tomate largement consommée, joue un rôle bénéfique dans notre alimentation. Ce fruit contenant 93% à 95% d'eau, très pauvre en calories, ne fournit guère plus de 19 K calories aux 100g, soit 63 K Joules. Elle est très riche en carotène et lycopène qui lui donne sa couleur rouge, cet antioxydant diminuerait le risque de maladies cardiaques et de certaines formes de cancer, dont celui de la prostate. Elle fournit des quantités appréciables de vitamines C (18 mg et plus), ainsi que de la provitamine A et de nombreuses vitamines du groupe B. Ses minéraux sont abondants (notamment en potassium, magnésium et phosphore) (**Chougar, 2011**).

Tableau 2 : Valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de tomate (**Favier et al, 1997**).

Comportement de la tomate crue valeur nutritionnelle pour 100 g		
Eau		93,80 g
Valeur calorique		19,00 Kcal
Eléments énergétiques	Protides	0,80 g
	Glucides	3,50 g
	Lipides	0,30 g
Vitamines	Provitamine A	0,00 mg
	Vitamine B1	0,06 mg
	Vitamine B2	0,05 mg
	Vitamine B6	0,00 mg
	Vitamine C	18,00 mg
	Vitamine PP	0,60 mg
Minéraux	Fer	0,40 mg
	Calcium	9,00 mg
	Magnésium	11,00 mg
	Phosphore	24,00 mg
	Potassium	226,00 mg
	Sodium	5,00 mg
	Soufre	11,00 mg
	Zinc	0,24 mg
	Chlore	40,00 mg
Fibres		1,20 g
Cellulose		0,60 g

6.3. Importance médicinale de la tomate

Le rôle médicinal de la tomate est connu depuis bien longtemps chez les Incas en Amérique du Sud, où ils utilisaient la feuille fraîche du plant de tomate comme antibiotique (**Chougar, 2011**).

De plus la consommation de tomate joue plusieurs rôles :

- Accélère la formation du sucre dans le sang ce qui permet au corps de combattre la fatigue.
- Diminue l'hypertension grâce à son haut taux en potassium.
- Contient des traces d'éléments antitoxiques (chlorite et sulfure) excellents pour la santé du foie.
- Stimule les sécrétions digestives grâce à sa saveur acidulée.

- Contribue à la prévention des maladies cardiovasculaires, l'artériosclérose et la cécité ;
- Joue un rôle de prévention du cancer grâce à sa teneur en pigments caroténoïdes antioxydants, notamment sa forte concentration en lycopène (3,5mg/125g de tomate). (**Chougar, 2011**).

7. Ravageurs et maladies

Les cultures de tomates peuvent être affectées par diverses attaques de ravageurs (insectes, acariens, nématodes, etc.) et de maladies cryptogamiques, bactériennes ou virales, par la concurrence de mauvaises herbes et par des accidents de végétation ou des agressions abiotiques, dont l'importance varie selon le type de culture et les conditions climatiques.

Les principaux ennemis de la culture de tomate sont classés comme suit :

- **Maladies cryptogamiques:** *Alternaria, Oidium, Mildiou, Botrytis*
- **Maladies virales :** Le virus du tabac *TMV* (Tobacco mosaic virus), Le virus de la maladie bronzée de la tomate *TSWV* (Tomato Spotted Wilt virus), Le virus des feuilles jaunes en cuillère de la tomate *TYLCV* (Tomato Yellow leaf curl virus), Le cytomégalovirus *CMV*.
- **Maladies bactériennes:** Chancre, Moucheture de la tomate, Gale bactérienne, Moelle noire
- **Ravageurs :** Acariens, Noctuelles
- **Désordre physiologiques :**
 - ✓ Nécrose apicale : Une tache brunâtre sur fruit qui se nécrose par la suite et provoque le dessèchement pistillaire du fruit.
 - ✓ Tomate creuse : Le fruit prend une forme triangulaire ou cordiforme. La chair est moins épaisse.
 - ✓ Eclatement : Des gerçures au niveau du collet qui peuvent évoluer en éclatement circulaire ou radial.
 - ✓ Blotchyripening : Des plages verdâtres, irrégulières sur fruit, qui persistent même à maturité complète.
- **Les mauvaises herbes:** Les mauvaises herbes devraient être contrôlées parce qu'elles concurrencent la culture de la tomate pour la lumière, l'eau, et les éléments nutritifs. Parfois ils jouent un rôle dans la transmission des maladies de tomate, comme le virus du *TYLCV*.

I. LES STRESS ABIOTIQUES

Les plantes en général exigent des conditions environnementales optimales pour une croissance normale, mais elles sont souvent sujettes à des facteurs extrêmes de potentiels hydriques, température et salinité, en engendrant différents types de stress (**Hopkins, 2003**).

Ces dernières années, la définition du terme stress a été généralisée, ainsi qu'elle est maintenant employée comme référence pour les plantes supérieures et inférieures et même pour les micro-organismes, par opposition à l'utilisation originale impliquant l'homme et les animaux.

Le stress biologique est un concept mécanique, défini comme étant une force appliquée sur un objet par unité de surface. En réponse à cette force externe, l'objet développe une force ou change de dimension (**Hopkins, 2003**).

1. Le stress thermique

La sensibilité des plantes aux températures extrêmes et très variable, certaines sont tuées ou lésées par des baisses modérées de température, alors que d'autres parfaitement acclimatées, sont capables de survivre au gel. Le stress par des hautes températures induit la synthèse des protéines particulières. Chaque plante exige une température optimale de croissance et de développement, qui ne peuvent se dérouler qu'entre des limites supérieures et inférieures. Lorsque la température avoisine ces limites, la croissance diminue et au-delà elle s'annule.

Trois types de températures extrêmes peuvent causer des dégâts aux plantes : le froid, le gel et les températures élevées (**Mazliak, 1995; Heller et al, 1998; Hopkins, 2003**).

- **Le froid**

L'ensemble des métabolismes est affecté par le froid notamment la photosynthèse. Il semble que les basses températures inhibent plus fortement les réactions sombres de la photosynthèse et le transport des électrons. Elles diminuent la vitesse des réactions enzymatiques et modifient la conformation des lipides membranaires et d'autres macromolécules ce qui entraîne des conséquences sur la plupart des processus biologiques.

Chez certaines plantes, le développement de l'appareil reproducteur est particulièrement sensible aux basses températures. Une exposition de plants de riz au froid au moment de l'anthèse (ouverture des fleurs) entraîne la stérilité des fleurs (**Hopkins, 2003**). Par ailleurs, il

peut avoir un rôle important dans le développement car il assure la vernalisation et l'allongement des entre nœuds de la tige (**Gate, 1995; Heller et al, 2000; Dubois, 2007**).

- **Le stress provoqué par le gel**

C'est la formation de glace et non pas la basse température en soi qui endommage les cellules végétales. Ceci résulte d'une vitrification de l'eau; ce qui provoque la destruction cellulaire (**Hopkins, 2003**).

- **Le stress induit par les températures élevées :**

A partir de 40°C les processus liés à la photosynthèse sont dégradés. Ainsi, les températures élevées inhibent la synthèse des chlorophylles (**Azzouz, 2009**). Les processus qui se déroulent au niveau des membranes thylacoidiennes des chloroplastes sont endommagés par les températures élevées affectant ainsi la photosynthèse. Des études ont montré que les activités de la rubisco ainsi que d'autres activités impliquées dans la fixation du carbone pouvaient être fortement compromises par les températures élevées (**Hopkins, 2003**).

2. Le stress salin

Dans le cas d'un stress salin, une double problématique se pose à l'organisme végétal :

- D'un côté, la présence de sel en abaissant le potentiel hydrique du sol, menace l'approvisionnement en eau de la plante.
- De l'autre côté, l'absorption de sel dans les tissus menace le bon fonctionnement physiologique des cellules.

Face à cela deux types de plantes existent ; certains nommées glycophytes qui sont sensibles au sel, et dont la croissance diminue en sa présence (**Heller, 1998 ; Belkhodja et al, 2004**). Et les halophytes qui sont plus résistants et qui ont développé des réponses physiologiques pour assurer leur approvisionnement en eau tout en préservant leur métabolisme (**Heller et Esnaut, 2004**).

La sécheresse physiologique est due à la présence de quantités importantes de sels dans la solution du sol qui abaisse le potentiel hydrique et rend l'acquisition de l'eau et de nutriments difficile pour les plantes (**Hopkins, 2003**).

Le terme de stress salin s'applique surtout à un excès d'ions, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- dans la rhizosphère et dans de l'eau. Le stress salin déclenche à la fois un stress osmotique et un stress ionique (**Amenas, 2007**).

3. Le stress hydrique

Le stress hydrique occupe une place particulière du fait de sa fréquence et de la place que l'eau occupe dans les phénomènes métaboliques. De part son rôle dans la photosynthèse, le transport et l'accumulation, ainsi que dans la multiplication et le grandissement cellulaire, l'eau a un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes (**Mazliak, 1995; Heller et al, 1998; Hopkins, 2003; Enixon, 2004**).

Les contraintes hydriques connues sont de deux types ; édaphiques et atmosphériques : les contraintes édaphiques, qui correspondent à une disponibilité en eau réduite dans le sol. Elles sont qualifiées de contraintes statiques, car elles se manifestent même en absence de flux d'eau à travers la plante.

En ce qui concerne les contraintes atmosphériques, lorsque la demande évaporatoire augmente, les pertes d'eau par transpiration créent un flux d'eau dans la plante, qui du fait des résistances aux mouvements d'eau dans le sol et la plante, entraînent une altération de l'état hydrique de la plante.

Ce type de contraintes est qualifié de dynamique, car elles sont associées à la circulation de l'eau dans la plante. Les contraintes dynamiques peuvent se définir par l'intensité de la transpiration, elle-même définie par la demande évaporatoire, qui est essentiellement déterminée par la température des feuilles d'une part, et par l'humidité et la température de l'air d'autre part. Une forte demande évaporatoire amplifie les conséquences d'un dessèchement du sol sur l'état hydrique de la plante et sur sa croissance ((**Martre, 1999**).

II. L'eau, le sol et les plantes

1. L'eau dans la plante

L'eau est un élément vital, outre son rôle dans la photosynthèse, le transport et l'accumulation des éléments nutritifs, ainsi que dans la division cellulaire et la régulation thermique, il joue un rôle essentiel dans la croissance et le développement des plantes cultivés (**Riou, 1993 ;Slama et al, 2005**).

La grande quantité d'hydrogène et d'oxygène des constituants de matière sèche dans la plante provient de l'eau, il reste donc une source alimentaire directe (**Gate, 1995**) et elle

constitue surtout le milieu intérieur des plantes (véritable matrice vitale de leur fonctionnement). Les différents organes de la plante renferment entre 80 à 90 % d'eau, c'est l'eau d'imbibition (**Bethenod, 1980**).

L'eau peut être perdue par toutes les surfaces de la plante, cependant les stomates demeurent la principale voie d'émission de la vapeur d'eau (85 à 100%). La transpiration se manifeste par une perte d'eau sous forme de vapeur d'eau entraînant un refroidissement des tissus de la plante. Près de 98% de l'eau absorbée par la plante est perdue par la transpiration. Cette perte est inévitable car les stomates doivent s'ouvrir pour permettre l'entrée du CO₂ et assurer la photosynthèse. De plus, elle entraîne une absorption supplémentaire d'eau et favorise l'absorption et la circulation des éléments minéraux. Les stomates se ferment dès que, pour une cause ou pour une autre (sécheresse de l'air, température excessive, baisse de l'absorption par l'effet du froid, etc.), le déficit hydrique devient trop important (**Gobat et al, 2003 ; Heller et al, 2004**).

2. L'eau dans le sol

L'eau du sol a une fonction considérable d'une part elle intervient dans la nutrition des plantes, en tant que véhicule des éléments nutritifs dissous, de plus, c'est un des principaux facteurs de la pédogenèse qui conditionne la plupart des processus de formation des sols. Les sources principales de l'eau du sol sont d'une part l'eau de précipitation, et aussi, dans certaines stations, l'eau souterraine (nappe phréatique permanente, alimentée souterrainement) (**Duchaufour, 1995 ; Gobat et al, 2003**).

Les mouvements de l'eau dans le sol relèvent de deux processus opposés : les mouvements descendants de l'eau de gravité, qui s'infiltre après les pluies, les mouvements ascendants, beaucoup plus limités, qui interviennent en saisons sèches et compensent de manière imparfaite les pertes par évaporation (ou évapotranspiration) .

La répartition de l'eau en profondeur dans le sol est la résultante de ces deux processus (**Duchaufour, 1995**).

3. Aspects agronomiques

On peut repérer dans un sol plusieurs valeurs critiques pour la végétation. Selon la force avec laquelle il la retient et selon sa disponibilité pour les plantes (**Duchaufour, 1995**).

La plus mobile est l'eau de gravité, elle n'existe dans le sol que les heures qui suivent une précipitation, ou en cas de nappe phréatique permanente. Le sol est saturé d'eau, après

ruissellement, son humidité est la capacité de rétention maximale. Après quelques heures cette humidité est la capacité au champ. L'eau est soumise à des forces de tension superficielle (**Duchaufour, 1995 ; Gobat et al, 2003**).

L'eau utilisable est absorbée par les racines des plantes jusqu'au point de flétrissement temporaire, réversible, puis jusqu'au point de flétrissement permanent.

La quantité d'eau comprise entre la capacité au champ et le point de flétrissement permanent est considérée comme étant la quantité d'eau utilisable (**Mazliak, 1981 ; Heller, 1993 ; Hopkins, 2003**).

Trois forces agissent sur l'eau du sol, délimitant ces catégories. Les forces de gravitation découlant de l'attraction terrestre, la force de rétention par les solides, enfin la force de succion des plantes (**Hopkins, 2003**).

4. Les différents états de l'eau dans la matière végétale

L'eau est dans la cellule végétale, comme dans le sol, est plus ou moins liée. Les forces de liaison sont de natures osmotiques ou matricielles (Imbibition et capillarité) (**Heller, 1993 ; Hopkins, 2003**). Les forces osmotiques interviennent principalement dans la vacuole. Le potentiel osmotique qu'elles créent est dû aux ions minéraux (surtout K^+ , Cl^- , HCO_3^-) et organique (malate.) (**Hopkins, 2003**).

Dans la plante, on trouve l'eau liée (immobilisée) dans la cellule, à l'opposé de l'eau libre, (d'imbibition) facilement circulante, ou stagnant dans les vacuoles. En plus de ces deux catégories, on trouve de l'eau de constitution, stabilisant la structure tertiaire de certaines macromolécules protéiques et ne pouvant absolument pas être enlevé de ces protéines sans entraîner la dénaturation (**Mazliak, 1981 ; Heller, 1993 ; Hopkins, 2003**).

5. Transpiration et croissance

La transpiration peut être définie par la perte d'eau sous forme de vapeur par la plante. La plus grande partie (plus de 90%) s'échappe par les feuilles. En effet le mécanisme de la transpiration est étroitement lié à l'anatomie des feuilles (**Heller et al, 2004**).

La transpiration définie comme la perte d'eau à l'état de vapeur par les feuilles, correspond d'un point de vue physique à une évaporation. La transpiration exige donc un apport d'énergie fourni essentiellement par le rayonnement incident, elle dépend, en outre, de la température et de l'hygrométrie de l'air, de la forme et de la disposition des feuilles, des résistances à la diffusion des gaz opposés par les stomates et par la couche limite d'air qui entoure les feuilles (**Priault, 2006**).

La transpiration est une conséquence de la photosynthèse du fait qu'il existe une forte dualité entre la transpiration et la photosynthèse puisque le CO₂ et l'eau empruntent le même trajet (**Hopkins, 2003**).

Les interactions entre la transpiration et la croissance sont multiples et complexes. Toutefois, de manière globale, toute régulation du fonctionnement de la plante ayant pour effet de réduire la transpiration – à température constante – est accompagnée d'une augmentation de la vitesse de croissance et vice versa (**Boyer, 1985**).

6. Les effets du déficit hydrique sur la plante

6.1. Le déficit hydrique et ses conséquences sur les plantes

Le manque d'eau pour la plante peut avoir des incidences plus ou moins néfastes ; les plantes sont souvent sujettes à des facteurs extrêmes de potentielle hydrique, température et salinité, en engendrant différents types de stress. Il peut s'agir d'un simple flétrissement limitant la photosynthèse et se traduisant par un arrêt de croissance ou un manque d'accumulation de réserves. Bien qu'utilisée pour la mise à fleur de certaines plantes, un manque d'eau peut aussi provoquer l'avortement des organes sexuels, la chute des fleurs, des fruits et même des feuilles en commençant par les plus âgées (**Turner, 1979**).

Les dégâts peuvent enfin entraîner la destruction de la plante. La résistance à la sécheresse dépend de l'aptitude de la plante à développer un système racinaire important et à limiter ses pertes d'eau cuticulaires et stomatiques (**Hopkins, 2003 ; Adda, 2006**).

6.2. Actions sur le métabolisme glucidique

Lors d'un déficit hydrique, l'un de ses effets majeurs, est qu'il affecte le métabolisme des hydrates de carbone avec une accumulation des sucres et un bon nombre d'autres composés organiques. Les changements dans le contenu des carbohydrates sont particulièrement importants vus leur relation directe avec plusieurs processus physiologiques tels que : la photosynthèse, translocation et respiration (**Dubos, 2001**).

6.3. Actions sur le métabolisme protidique

Le contenu en protéines dans les feuilles diminue suite au manque d'eau. Les plantes C3 répondent l'insuffisance de l'eau par une diminution plus prononcée de leurs protéines au niveau des feuilles que les plantes C4. La diminution du pool protéique est causée par

l'inhibition de la synthèse et l'augmentation du catabolisme suite à l'activité hydrolytique accrue (**Amenas, 2007**).

L'enzyme principale, ribulose bis phosphate carboxylase-oxygénase est digne d'une considération spéciale, sa quantité dans les feuilles représente 50% des protéines ; d'ailleurs, la déshydratation cause une diminution dramatique (environ deux fois) de la protéine la plus abondante sur terre (Rubisco) (**Chernyad'ev, 2005**).

6.4. Actions sur le métabolisme lipidique

En ce qui concerne les lipides foliaires notamment les lipides des membranes chloroplastiques, de nombreux travaux ont montré que la teneur diminue et que leur composition est modifiée (**Priault A, 2007**).

La dégradation des lipides membranaires, tout comme celle des protéines, perturbe fortement le fonctionnement cellulaire et provoque une réduction de la perméabilité sélective, ce qui influence les échanges moléculaires intra et intercellulaires et le transport d'électrons (**Priault, 2006**).

6.5. Actions sur l'intégrité membranaire

De nombreuses études ont montré le rôle des membranes cellulaires dans la résistance des végétaux à la sécheresse.

Dans le cas de certaines espèces sensibles à la déshydratation, l'organisation générale de la cellule peut être affectée, dans la mesure où la sécheresse conduit à une perte de la compartimentation et à une destruction de certains organites cellulaires. Le tonoplaste se scinde en petites vacuoles, les crêtes mitochondriales se dégradent et les chloroplastes perdent leur organisation moléculaire (**Priault, 2006**).

Ces altérations résultent des réactions chimiques, enzymatiques et des destructions mécaniques par plasmolyse. En condition de stress hydrique, l'activité de plusieurs enzymes s'intensifie. C'est le cas de l'invertase, des amylases, de la ribonucléase des phosphatases acides et des lipases alcalines. Ce phénomène pourrait être à l'origine de la perméabilité des différentes membranes cellulaires et de la perte d'électrolytes du milieu intra vers le milieu extracellulaire (**Heller et al, 1998;Priault, 2006**).

6.6. Actions sur la feuille

Chez la majorité des espèces végétales, le déficit hydrique diminue la taille des feuilles ; d'autres changements incluent l'épaississement des parois cellulaires, cutinisation de la surface foliaire et un mauvais développement du système conducteur.

Les feuilles des plantes steppiques deviennent plus épaisses ; l'épaississement se manifeste comme une augmentation du rapport entre la feuille à sa surface, ce paramètre est la densité spécifique foliaire (LSD) (**Chernyad'ev, 2005**).

En réduisant la taille des feuilles et leur surface verte, le stress hydrique diminue la durée de vie de la feuille et par voie de conséquence, la capacité photosynthétique (**Enixon, 2004**).

6.7. Actions sur la transpiration

Les modifications qui affectent la feuille ont des répercussions directes sur la transpiration ; la plante ferme ses stomates pour réduire ses pertes en eau. Cette fermeture va entraîner des modifications physiologiques, morphologiques et phénologiques. L'entrée du CO₂ est également verrouillée lors de cette fermeture, entraînant une perturbation de l'activité photosynthétique. La fermeture emprisonne une bonne part de l'énergie destinée à être dissipée par transpiration, ce qui a pour conséquence l'augmentation de la température foliaire (**Kotchi, 2004**).

Plusieurs rapports suggèrent que les stomates des feuilles puissent se fermer d'une façon non-uniforme à travers la surface de feuille en réponse à l'ABA (**Amenas, 2007**).

6.8. Actions sur la photosynthèse

Il existe une relation linéaire entre la teneur en eau de la feuille et la réponse photosynthétique.

La réduction de l'activité photosynthétique peut être causée par des facteurs stomatiques (fermeture des stomates), des facteurs non stomatiques (diffusion du CO₂ vers les sites de réduction, inactivation des enzymes de l'incorporation du CO₂...) et des facteurs liés à la redistribution des néo-assimilâtes (**Boyer, 1985**).

Le déficit hydrique provoque une diminution de la teneur en pigments photosynthétiques (chlorophylles et caroténoïdes), des changements du rapport chlorophylle (a/b), des altérations des feuilles et des structures des chloroplastes, inhibe les réactions claires et sombres de la photosynthèse, et empêche la biosynthèse des protéines cellulaires. En particulier, cette suppression affecte l'enzyme principale de la photosynthèse, Rubisco, qui

diminue l'intensité de l'assimilation photosynthétique du dioxyde de carbone et accélère le vieillissement des feuilles (**Chernyad'ev, 2005**).

- **Rapport chlorophylles a/b**

Le contenu de la chlorophylle a et b diminue à différents taux, ce qui change le rapport des deux pigments. Le plus fréquent, la baisse dans la teneur de la chlorophylle b, observée où le déficit hydrique est bien prononcé, est plus considérable que celle de la chlorophylle a ; c'est dû au fait que la chlorophylle b est plus susceptible de la destruction provoquée par le manque d'eau et à l'exposition aux températures élevées. En conséquence, le rapport chlorophylle a/b est augmenté (**Chernyad'ev, 2005**).

6.9. Actions sur la température interne

Le stress hydrique a ainsi un effet direct sur la température de la végétation. Cette température foliaire dépend de son intensité et son apparition dans le développement de la plante. Le stress hydrique peut entraîner ou non une perte de qualité et de rendement dans la production agricole par la modification de la mise en place des capteurs photosynthétiques, la répartition des assimilats entre les différents organes (tiges, feuilles et graines), la quantité de graines récoltées et aussi l'accumulation des composés majeurs (lipides, protéines, glucides) (**Kotchi, 2004**).

7. Mécanismes d'adaptation des plantes

La façon dont les plantes répondent aux stress permet de comprendre leur répartition géographique et leurs comportements en fonction de l'établissement de gradients des facteurs environnementaux. Comprendre les réponses aux stress est essentiel dans les essais entrepris pour sélectionner des cultivars capables de résister aux différents stress et conditions susceptibles de réduire les rendements biologiques.

Les notions d'adaptation et de résistance ne sont pas toujours claires, ces termes sont parfois employés de façon équivoque l'un à la place de l'autre.

Sous la contrainte d'une force, un organisme vivant est capable de s'adapter, on distingue deux types d'adaptation :

- L'adaptation élastique (ou capacité d'adaptation) concerne un organisme adapté qui peut vivre, croître et réaliser son cycle de vie en présence du stress.
- L'adaptation plastique (ou résistance à l'adaptation) inhibe la croissance et ainsi tous dommages irréversibles éventuels jusqu'à la disparition partielle ou complète de l'agent stressant.

Si l'adaptation est élastique, elle engendre des stratégies de résistance particulières. Il existe deux stratégies de résistance:

La résistance par exclusion, souvent réduite au terme de résistance. L'organisme inhibe ou réduit la pénétration du stress dans ses tissus. L'organisme augmente ainsi le niveau de stress nécessaire pour un même niveau de tension interne.

La résistance par tolérance/inclusion souvent réduit en terme de tolérance. L'organisme absorbe l'agent stressant pour rétablir l'équilibre thermodynamique avec son environnement sans subir de blessure irréversible tout en poursuivant sa croissance. L'organisme réduit ainsi tension interne pour un même niveau de stress (**Soualmi N, 2008**).

7.1. Aptitude à échapper au stress

Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte hydrique. La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement au stress. Dans ces conditions, les paramètres phénologiques d'adaptation ou paramètres de précocité définissent le décalage du cycle vis-à-vis des contraintes environnementales. La précocité assure une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau (**Slama et al, 2005**).

7.2. Aptitude à résister au stress

Deux mécanismes sont possibles : l'un correspond aux stratégies d'évitement, l'autre à des stratégies de tolérance au stress.

- Dans le premier cas, les mécanismes mis en œuvre sont le plus souvent intégrés à l'échelle de la plante entière.
- Dans le second, les mécanismes impliqués assurent le maintien de l'intégrité du fonctionnement des structures cellulaires. Il s'agit alors de tolérance protoplasmique au stress.

Les stratégies d'évitement et de tolérance ne s'excluent pas au sein d'un même végétal. Le plus souvent ils cohabitent (**Soualmi N, 2008**).

7.3. Mécanismes d'évitement

- **adaptations morphologiques**

L'effet du stress peut se traduire, selon la stratégie adaptative de chaque espèce ou variété, par des modifications morphologiques pour augmenter l'absorption d'eau et/ou pour diminuer la transpiration et la compétition entre les organes pour les assimilés (**Slama, 1996**).

- **fonctionnement stomatique**

La fermeture stomatique est un moyen d'adaptation des plantes à la sécheresse. Cette diminution de la transpiration peut engendrer une réduction de la photosynthèse (**Bamouh, 2000**).

L'accroissement de la densité stomatique peut augmenter l'assimilation nette du CO₂ et diminuer la perte en eau. En effet, un nombre élevé de stomates peut engendrer des stomates de petite taille et à fermeture rapide, de ce fait les variétés ayant une conductance et une densité stomatique élevées sont plus résistantes au stress (**Slama, 2002 ; Erchidi et al, 2000**). D'autre part, divers auteurs attribuent le mécanisme de fermeture des stomates à un contrôle hormonal (**Bezzala, 2005**).

1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé est composé de deux variétés de tomate locales « Guelma et Isma » fournies par les pépinières de Amor Benamor.

- **Caractéristique des variétés**

- ✓ **Guelma :**

Tableau 3 : caractéristique de la variété Guelma (pépinière Amor Benamor).

Description	<p>Plante : excellente vigueur et indice foliaire.</p> <p>Semence :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Taille : 1,2mm - Poids spécifique : 300graines/gr <p>Fruit :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Taille : 7 à 9 cm - Couleur : rouge intense - Forme : cœur de bœuf très ferme - Calibre : 90 à 95gr - Rendement typique/plant : 2,14 kg
Besoins en sols	<ul style="list-style-type: none"> - Préférence de structure et composition du sol : sablo-limoneux - Tolérance vis-à-vis de la salinité : peu sensible - Tolérance vis-à-vis d'une nappe phréatique élevée : sensible
Semis et repiquage	<ul style="list-style-type: none"> - Quantité de graines pour un semis en pépinière : 100gr/ha - Nombre de plantule/ha : 22000-27000 plant - Repiquage à racines nues : forte - Plantation mécanisée : tolérante
Besoins en fertilisants	<ul style="list-style-type: none"> - Azote : 80-100kg /ha - Phosphore : 50 à 200kg /ha - Potasse : 150 à 350kg/ha - Soufre : 30kg/ha - Magnésium : 60kg /ha - Oligoélément : traces - Sensibilité vis-à-vis d'une pénurie des nutriments : peu sensible
Irrigation	<ul style="list-style-type: none"> - Apport d'eau – aspersion : 4000-6000 m³/ha/saison - Répartition : 4-7/saison

	<ul style="list-style-type: none"> - Apport d'eau – goutte à goutte :4000-6000 m³/ha/saison <li style="padding-left: 20px;">- Répartition : 40 à 45fois /saison
Phytopathologie	<ul style="list-style-type: none"> - HR :verticillium,fusariose,moucheture bactérienne de la tomate - IR :nématodes
Récolte	<ul style="list-style-type: none"> - Maturité :semis tardive - Aptitude de mécanisation :résistante - Homogénéité dematurité : <ul style="list-style-type: none"> -nombre de passes nécessaires pour la récolte :2 -rougissement des fruits : 115à120 jours
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> - Rendement typique : <ul style="list-style-type: none"> -système aspersion :60T /ha - système goutte à goutte : 80T/ha - Brix : 5 à 6 - Contenu en acides organiques : élevé - Type d'utilisation préféré : duel utilisation

✓ **Isma :**

Tableau 4 : caractéristique de la variété Isma(**pépinière Amor Benamor**).

Description	<p>Plante :excellente vigueur et indice foliaire.</p> <p>Semence :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Taille : 1,2mm - Poids spécifique : 300graines/gr <p>Fruit :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Taille :7 à 9 cm -Couleur :rouge intense -Forme :cœur de bœuf très ferme -Calibre :90 à 95gr <li style="padding-left: 40px;">- Rendement typique/plant : 2,14 kg
Besoins en sols	<ul style="list-style-type: none"> - Préférence de structure et composition du sol :sablo-limoneux - Tolérance vis -à- vis de la salinité :peu sensible - Tolérance vis -à-vis d'une nappe phréatique élevée : sensible

Semis et repiquage	<ul style="list-style-type: none"> - Quantité de graines pour un semis en pépinière :100gr/ha - Nombre de plantule/ha :22000-27000 plant - Repiquage à racines nues :forte - Plantation mécanisée :tolérante
Besoins en fertilisants	<ul style="list-style-type: none"> - Azote :80-100kg /ha - Phosphore :50 à 200kg /ha - Potasse :150à350kg/ha - Soufre :30kg/ha - Magnésiume :60kg /ha - Oligoélément : traces - Sensibilité vis- à- vis d'une pénurie des nutriments : peu sensible
Irrigation	<ul style="list-style-type: none"> - Apport d'eau – aspersion : 4000-6000 m³/ha/saison Répartition : 4-7/saison - Apport d'eau – goutte à goutte :4000-6000 m³/ha/saison Répartition : 40 à 45fois /saison
Phytopathologique	<ul style="list-style-type: none"> - HR :verticillium,fusariose,moucheture bactérienne de la tomate - IR :nématodes
Récolte	<ul style="list-style-type: none"> - Maturité :semis tardive - Aptitude de mécanisation :résistante - Homogénéité dematurité : -nombre de passes nécessaires pour la récolte :2 -la majorité des fruits rougissent : 115à120 jours
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> - Rendement typique : -système aspersion :60T /ha - système goutte à goutte : 80T/ha - Brix : 5 à 6 - Contenu en acides organiques : élevé - Type d'utilisation préféré : duel utilisation

- **Le matériel utilisé dans ce travail**

- Spectrophotomètre
- Balance de précision
- Etuve

3. Protocole expérimental adopté

3.1. Localisation de l'essai

Le suivi de l'expérimentation a été mené dans une petite serre appartenant à la DSA de Guelma, pendant une durée de 22 jours (du 14 Mars au 4 avril). Les mesures et dosages ont été faits aux laboratoires de la Faculté des SNV et STU de l'Université de Guelma.

3.2. Condition de culture

Le semis des plants en motte a été réalisé le 20 février 2015 dans des plaques en polystyrène expansé contenant 180 alvéoles remplies de tourbe commerciale à raison d'une graine par alvéole. Une fois le semis terminé, arrosé à l'eau chaude (27-28⁰ C) pour favoriser la germination (voir annexe).

Le déroulement de l'essai est conditionné par des températures diurnes de 27°C et nocturnes de 12°C, ces températures sont maintenues par une climatisation artificielle.

3.3 .Dispositif expérimental

Les plantes sont mises dans des pots répartis en quatre traitements (SDH, ADH1, ADH2, ADH3) à raison de cinq répétitions pour chaque traitement.

Pour le bloc SDH (traitement sans déficit hydrique) ou (T0), les plantes sont irriguées à la capacité au champ d'intensité de 70%. Ce traitement est considéré comme témoin.

Le bloc ADH1 (traitement avec déficit hydrique 1) ou (T1), les plantes subissent un déficit hydrique d'intensité de 30% de la capacité au champ.

Le bloc ADH2 (traitement avec déficit hydrique 2) ou (T2), les plantes subissent un déficit hydrique d'intensité de 10% de la capacité au champ.

Le bloc ADH3 ou (T3) est conduit à sec durant toute la durée de l'expérimentation.



Figure 5 : Dispositif expérimental



Figure 6 : Les échantillons de tomate (Guelma) stressés.



Figure7 : Les échantillons de tomate (Isma) stressés.

4. Mesures effectuées

Les mesures ont été réalisées à la fin de l'expérimentation sur les paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques des parties aériennes et souterraines.

4.1. Paramètres morphologiques

4.1.1. La partie aérienne

- **La longueur**

Est déterminée à l'aide d'une règle double décimètre.

- **La surface foliaire (SF)**

Elle a été déterminée par une méthode traditionnelle de **Paul et al, (1979)** qui consiste à

- Prendre la feuille de tomate sur papier calque et découper les contours de la feuille, ce dernier est pesé (Pf).

- Couper un carré de 1cm (S (1cm²) de côté de ce même papier qui est également pesé P (1cm²).

- Déduire la surface foliaire SF par la formule suivante : $SF (cm^2) = Pf. S (1cm^2) / P (1cm^2)$

- **La matière fraîche de la partie aérienne**

Cette partie a été récupérée par section des plantes au niveau du collet et immédiatement pesé ce qui représente le poids frais.

- **La matière sèche de la partie aérienne**

Cette partie a été récupérée par section des plantes au niveau du collet, elle a été déterminée par passage à l'étuve à 80°C pendant 48 heures.

4.1 .2.La partie souterraine

A la fin de l'expérimentation, les cylindres sont vidés de leur contenu par jet d'eau. Les racines sont lavées délicatement et récupérées pour subir une série de mesures.

- **La longueur** de l'axe principal est déterminée à l'aide d'une règle double décimètre.
- **La matière fraîche** est pesée à l'aide d'une balance numérique.
- **La matière sèche** de la partie souterraine est obtenue par étuvage à une température de 80°C pendant 48 heures.

4.2. Paramètres physiologiques

4.2.1. La teneur relative en eau (TRE) de la feuille

La feuille coupée à la base du limbe est pesée immédiatement, ce qui représente le poids frais (pf). La partie sectionnée est trempée dans un tube à essai contenant de l'eau distillée. L'ensemble est maintenu à l'obscurité et à une température de 4°C pendant 24 heures.

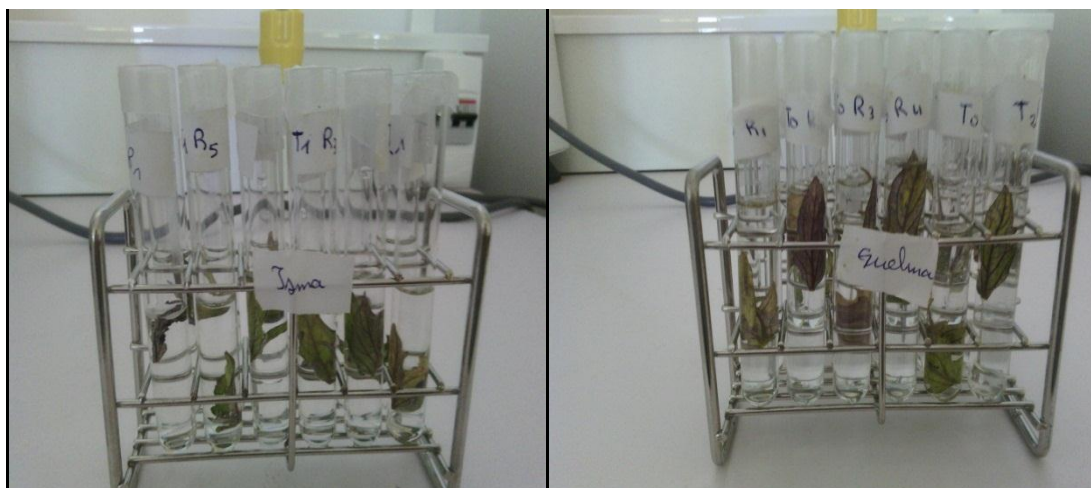


Figure 8 : Dosage de la TRE

Les feuilles sont récupérées et délicatement essuyées en surface avec un papier buvard et pesées à nouveau, ce qui donne le poids en pleine turgescence (Ppt).

Le poids de la matière sèche (Ps) de chaque feuille est obtenu par passage à l'étuve à une température de 80°C pendant 48 heures.

La teneur relative en eau est calculée selon la formule suivante (**Barrs et Weatherley, 1962**) :

$$\text{TRE}(\%) = ((\text{pf}-\text{ps}) / (\text{ppt}-\text{ps})) * 100$$

Où :

Pf: poids frais de la feuille excisée .

Ps: poids sec de la feuille.

Ppt : poids en pleine turgescence.

4.2.2. Le taux de déperdition d'eau (RWL)

Les feuilles sont prélevées à leurs bases et trempées par leurs parties sectionnées dans des tubes à essai contenant de l'eau distillée. L'ensemble est placé à l'obscurité et à une température de 4°C pendant 24 h.

A la pleine turgescence, les feuilles sont ensuite retirées, l'eau de surface est absorbée par du papier buvard, et pesée ce qui constitue le poids initial (Pi). Ensuite, elles sont mises dans un dispositif et placées sur la paillasse du laboratoire. Des pesées des feuilles sont effectuées après 60mn (pt). Finalement la surface foliaire est déterminée. (Clark et al, 1989).

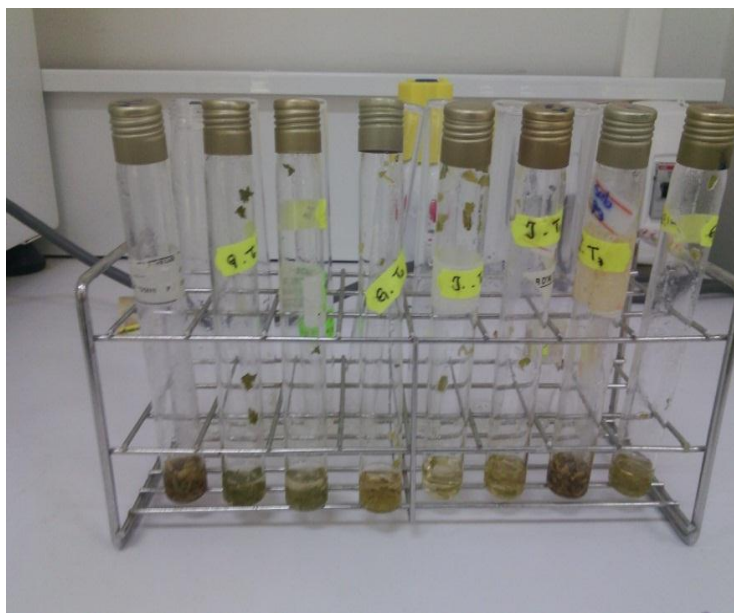


Figure 9: Dosage de la RWE

Le taux de déperdition est calculé selon la formule suivante :

$$\text{RWL (mg H}_2\text{O.cm}^{-2} \text{ min}^{-1}) = (\text{pi-p2h})/\text{temps *sf}$$

Où : Pi : poids initial de la feuille.

P2h : poids de la feuille après 2 heures (120).

Ps : poids sec de la feuille.

Sf : surface foliaire.

4 .3. Paramètres biochimiques

4 .3 .1. Extraction de la chlorophylle

Le travail à portée sur la détermination de la teneur en chlorophylle de la dernière feuille de chaque variété de tomate.

La méthode utilisée pour l'extraction de la chlorophylle est la méthode traditionnelle qui consiste en une macération du végétal dans de l'acétone (**Holden ,1975**).

Le traitement des échantillons se fait comme suit :

On pèse un gramme (1/3 médian) de feuille. Le végétal est coupé en petite morceaux et broyé dans un mortier avec 25ml d'acétone à 80 %. Après broyage total, la solution est filtrée à l'aide d'un papier filtre, ensuite mis dans des boites noires pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière.

Le dosage se fait par le prélèvement de 3ml de la solution dans la cuve à spectrophotomètre et la lecture se fait aux deux longueurs d'onde 645 et 663 nm, après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin d'acétone à 80% la teneur en chlorophylle est alors calculée par la formule relative au solvant établie par (**Mc Kimrey et Amon, 1949 in Boughedah, 1999**).



Figure10: broyage des feuilles de tomate.

$$\text{Chl}_a = 12,7D_{0663} - 2,69D_{0645}$$

$$\text{Chl}_b = 22,9D_{0645} - 4,68D_{0663}$$

$$\text{Chl}_a + \text{Chl}_b = 8,02D_{663} + 20,20D_{0645}$$



Figure11: Préparation des tubes contenant la chlorophylle pour dosage

4.3.2. Dosage de la proline

La méthode utilisée est celle de (**Troll et Linosley de 1955**) simplifiée par (**Lahrer et Magna en 1992 in Azzouz, 2009**), Elle consiste à prendre 100 mg de matériel végétal (1/3 médian de la feuille). On ajoute 2 ml de l'éthanol à 40%, le tout est chauffé au bain marie à 80°C.

Après refroidissement, on prélève 1 ml d'extrait auquel il faut ajouter 1ml d'un mélange de :

- 300ml d'acide acétique (CH_3COOH)
- 25mg de ninhydrine ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_4$)
- 120ml d'eau distillée
- 80ml d'acide orthrophosphorique.

Le mélange est porté à ébullition durant 30mn. La solution vire au rouge, après refroidissement, 3ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agité deux phases se séparent : une phase supérieure contenant la proline et une phase inférieure sans proline. Deux heures après, on mesure la densité optique au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 528nm.



Figure12 : Tubes contenant la préparation pour le dosage de la proline.

4.4. Analyse statistique

Les calculs ont été effectués à l'aide du logiciel MINITAB d'analyse et de traitement statistique des données.

Les résultats ont été présentés sous la forme moyenne \pm erreur standard. Les données ont été analysées par le test « t de student ».

1. Paramètres morphologiques

1.1. La longueur

- La partie aérienne

Tableau 5 : Longueur moyenne de la partie aérienne (cm) des variétés de Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.

Variété	SDH	ADH1	ADH2	ADH3	
Guelma	17,25 ±0,75	15,4±0,51	14,55±0,51	2,45±0,27	P = 0***
Isma	15,3±0,57	14,8±0,83	14,7±0,75	3,3±0,48	P=0,15059

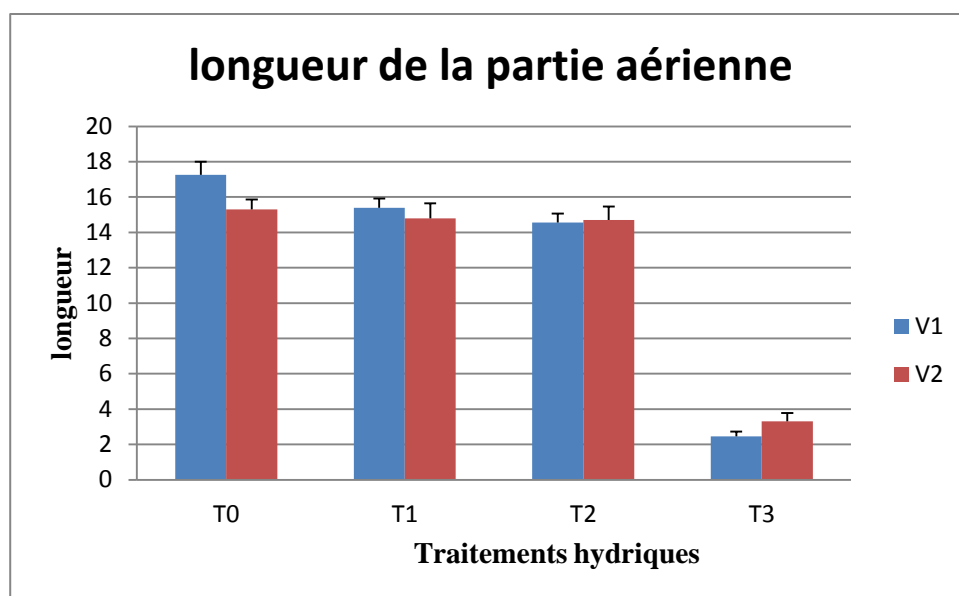


Figure 13 : Longueur de la partie aérienne des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.

Discussion :

Selon le graphe on observe qu'il y a une diminution progressive de la longueur de partie aérienne des plantes sous les traitements ADH1 et ADH2 (30% et 10% respectivement) par rapport aux témoins SDH (70%), alors que sous le stress prononcé ADH3 (0%) on observe une diminution brusque chez les deux variétés.

Le traitement statistique de la probabilité montre que la différence entre les traitements hydriques et le témoin est très hautement significative pour la variété Guelma, alors que cette différence n'est pas significative pour la variété Isma.

La différence dans la raiponce entre les deux variétés dans ce paramètre se justifie par le fait que l'adaptation de la partie aérienne (hauteur de la tige, nombre des feuilles, croissance radiale et biomasse aérienne) varie selon l'espèce et l'intensité du stress hydrique (**Bezzala, 2005**).

Selon (**Thomas et Gausling, 2000**) le stress peut provoquer une réduction de la croissance en diamètre et en hauteur des tiges.

(**Debaeke et al, 1996**) confirme qu'un stress précoce affecte en parallèle la croissance des racines et des parties aériennes, le développement des feuilles et des organes reproducteurs.

- **La partie souterraine**

Tableau 6 : Longueurs moyennes des racines (cm) des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.

Variété	SDH	ADH1	ADH2	ADH3	
Guelma	0,42±0,13	0,5±0,07	0,7±0,25	0,048±0,01	P=0,00004***
Isma	0,544±0,11	0,754±0,13	0,814±0,06	0,06±0,01	P=0***

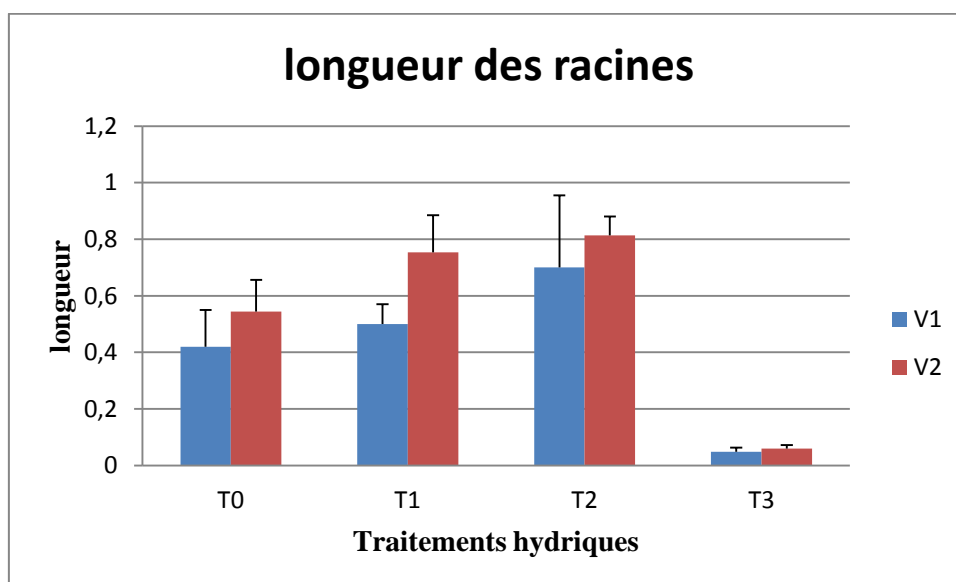


Figure 14: Longueurs des racines des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.

Discussion :

Les diagrammes obtenus montrent que chez les deux variétés il y a une augmentation progressive de la longueur des racines des plantes dans les traitements ADH1 et ADH2 par rapports aux témoins SDH, pour ensuite marquer une chute brusque chez les plantes a stress prononcée ADH3.

Ceci est confirmé par le test statistique qui montre une différence très hautement significative chez les individus des différents traitements par rapport au témoin chez les deux variétés.

Le stress hydrique a provoqué une élongation de la racine principale, conduisant à une meilleure exploration des horizons profonds et par conséquent, une meilleure absorption de l'eau des couches les plus profondes du sol. Cette dynamique d'enracinement des plantes stressées a été mise en évidence par de nombreux auteurs et constitue l'un des mécanismes d'évitement de la sécheresse souvent utilisé par les plantes. (**Benlaribi et al, 1990 ;Khaloun et al, 1990**).

Pour un potentiel hydrique donné du sol, les quantités d'eau sont liées positivement aux caractéristiques morphologiques des racines (à la longueur volumique racinaire) et négativement à la résistance hydraulique (**Monneveux, 1991**).

1.2. La surface foliaire (SF)**Tableau 7:** Résultats de la surface foliaire (exprimé en cm²).

Variété	SDH	ADH1	ADH2	ADH3	
Guelma	1,982±0,09	1,906±0,04	1,8±0,07	0,872±0,48	P=0,00199**
Isma	2,12±0,09	1,97±0,04	1,9±0,07	1,564±0,48	P=0,26053

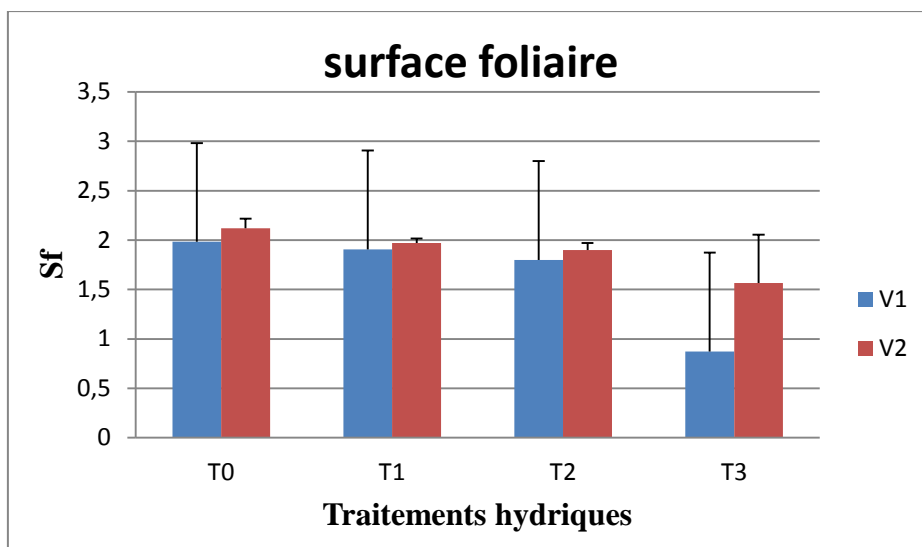


Figure 15 : La surface foliaire des plantes de Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.

Discussion :

Dans les résultats obtenus pour le paramètre de la surface foliaire nous observons chez les deux variétés des diminutions qui diffèrent selon la variété : pour la variété Isma, c'est une diminution progressive avec les différents traitements de stress (ADH1), (ADH2) et (ADH3). Alors que pour la variété Guelma elle diminue progressivement pour les traitements (ADH1) et (ADH2) pour ensuite chuter dans le dernier traitement. Ceci est confirmé par l'analyse de variance qui montre que pour la variété Guelma on observe une différence hautement significative des traitements par rapport au témoin, et pour la variété Isma il n'y a pas de différence significative.

(Blum, 1996) Confirme que la diminution de la surface foliaire et du nombre de talles est considérée comme une réponse ou adaptation au manque d'eau.

Cette réponse peut se traduire par un retardement du cycle de développement des plantes, une diminution de la surface des feuilles et la réduction de la taille des plantes (Thakur et Rai, 1982).

La réduction de la surface des feuilles et surtout observées chez les feuilles nouvellement formés (Debaeke et al, 1996).

1.3. Matière fraîche

- **La partie aérienne**
- **Tableau 8** : Le poids frais moyens de la partie aérienne(g) des variétés Guelma et Isma sous différents stress hydriques.

Variété	SDH	ADH1	ADH2	ADH3	
Guelma	1,28±0,13	1±0,23	0,8±0,12	0,078±0,01	P=0***
Isma	1,268±0,14	1,08±0,21	1,06±0,05	0,142±0,02	P=0***

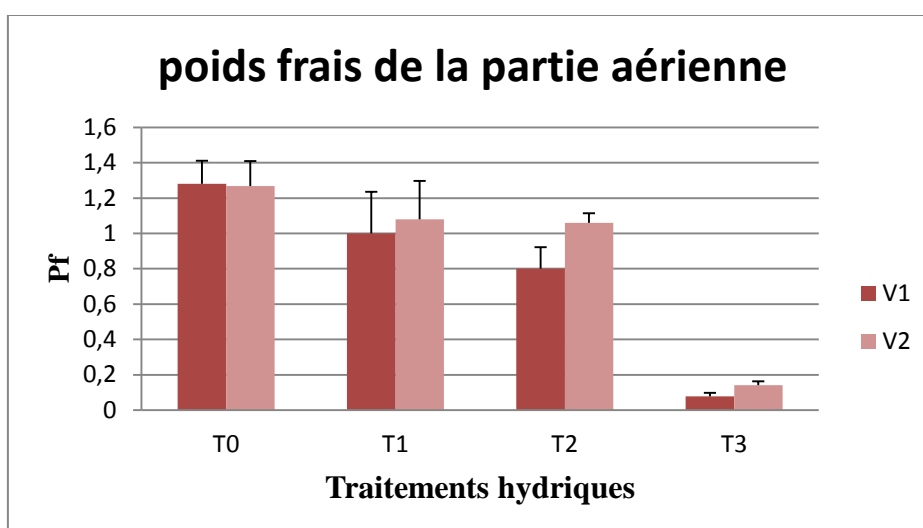


Figure 16: Poids frais de la partie aérienne des variétés de Guelma et Isma sous différents régimes de stress hydriques.

Discussion :

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une diminution progressive du poids frais de la partie aérienne des plantes des traitements (ADH1) et (ADH2) par rapport aux témoins (SDH), alors qu'au traitement prononcé (ADH3) on observe une diminution brusque chez les deux variétés.

Le traitement des probabilités montre une différence très hautement significative chez les deux variétés entre les différents traitements et les témoins.

- **La partie souterraine**

Tableau 9 : Le poids frais moyen des racines (g) des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.

Variété	SDH	ADH1	ADH2	ADH3	
Guelma	0,7±0,25	0,5±0,07	0,42±0,13	0,048±0,01	P=0,00004***
Isma	0,814±0,06	0,754±0,13	0,544±0,11	0,06±0,01	P=0***

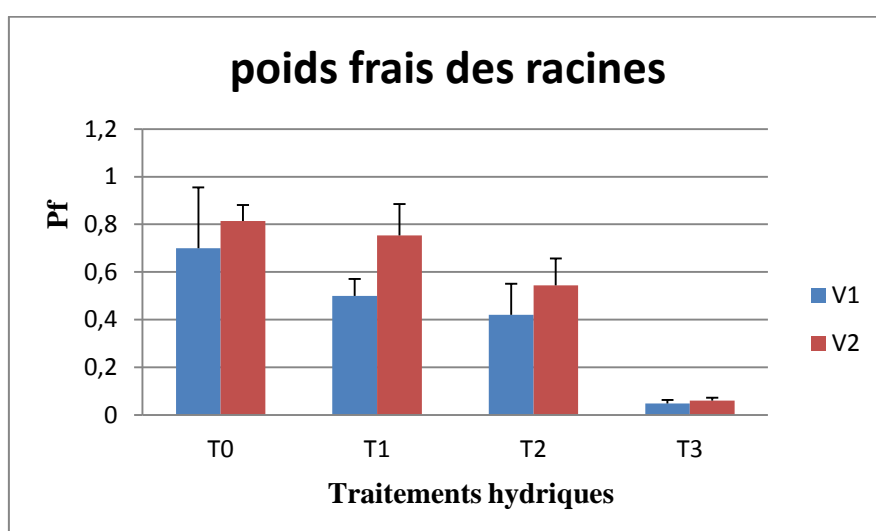


Figure 17: Le poids frais des racines des variétés Guelma et Isma sous différents régimes d'irrigation.

Discussion :

Selon le graphe on observe qu'il y a une diminution progressive du poids frais des racines des plantes dans les traitements (ADH1) et (ADH2) par rapports aux témoins (SDH), au traitement prononcé (ADH3) il y'a une diminution brusque du paramètre chez les deux variétés.

D'après le traitement des probabilités on a des différences très hautement significatives entre les différents traitements et les témoins chez les deux variétés.

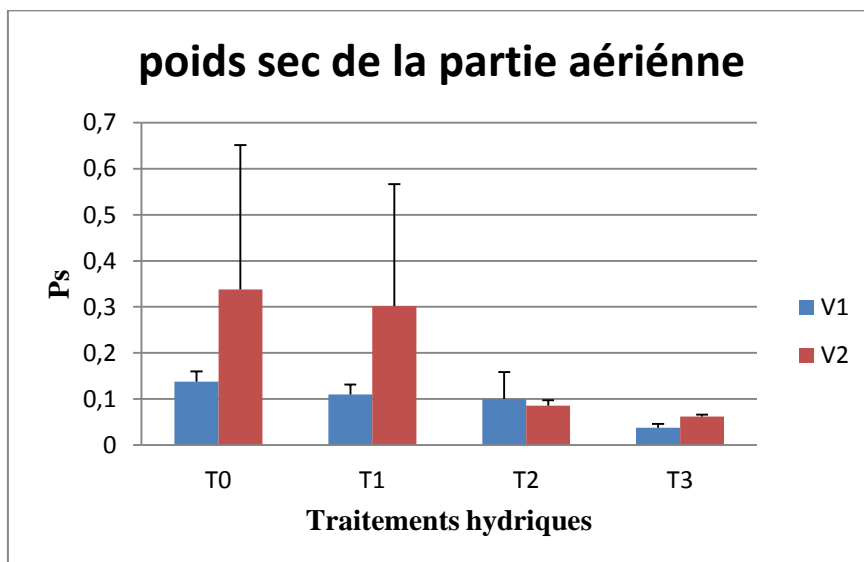
Pour les deux paramètres le poids frais aérienne et racinaire est la résultante de plusieurs autres mécanismes, qui agissent ensemble, pour aboutir à la fin du cycle cultural à l'élaboration du rendement final. Parmi les éléments qui entrent en jeu l'on peut citer :

- La teneur relative en eau des feuilles par plante. (Sarkis.F, 1999).

1.4 .La matière sèche:

- **La partie aérienne**
- **Tableau 10** : Poids sec moyens de la partie aérienne(g) des variétés Guelma et Isma sous différents régimes d'irrigation.

Variété	SDH	ADH1	ADH2	ADH3	
Guelma	0,138±0,02	0,11±0,02	0,1±0,05	0,038±0008	P=0,00172**
Isma	0,338±0,31	0,302±0,26	0,086±0,01	0,062±0,004	P=0,10115



- **Figure 18**: Poids sec de la partie aérienne des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.

Discussion :

D'après le graphe on observe une diminution progressive du poids sec de partie aérienne des plantes aux différents traitements de stress hydrique (ADH1), (ADH2) et (ADH3) par rapports aux témoins (SDH).

Pour les données statistiques, les résultats de la variété Guelma la différence entre les traitements est hautement significative alors que pour la variété Isma il n'y'a pas une différence significative.

La différence de la matière sèche sous l'effet du stress hydrique est due en grande partie, à la réduction de la surface foliaire qui agit directement sur la photosynthèse et, par la suite, sur le bilan du carbone (**Hadj, 1992**).

- **La partie souterraine**

Tableau 11 : Poids sec moyen des racines (g) des variétés Guelma et Isma sous différents régimes hydriques.

Variété	SDH	ADH1	ADH2	ADH3	
Guelma	0,046±0,01	0,034±0,008	0,028±0,07	0,01±0	P=0,00027***
Isma	0,064±0,02	0,048±0,008	0,032±0,008	0,0108±0,002	P=0,00003***

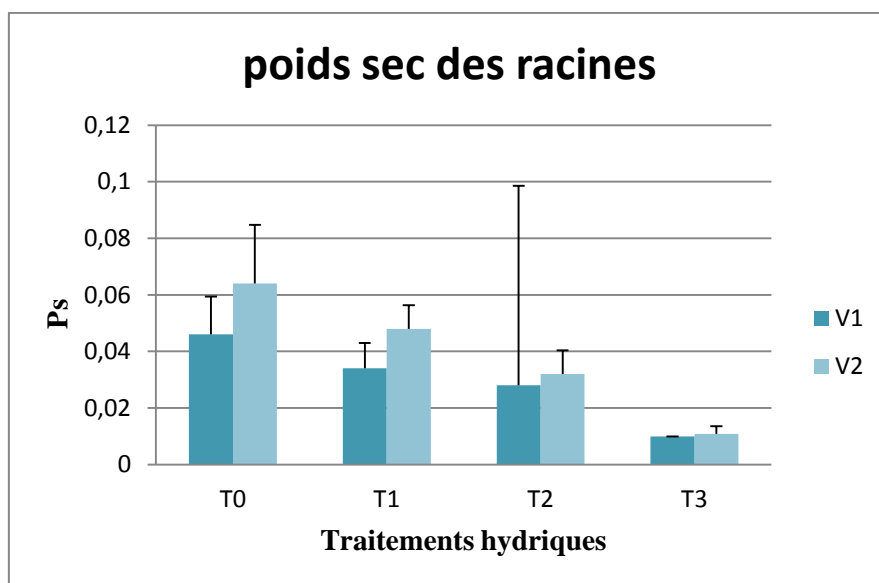


Figure 19: Poids sec des racines chez les variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.

Discussion :

Les résultats obtenus montrent qu'il y a une diminution progressive du poids sec des racines des plantes aux traitements (ADH), (ADH2) et (ADH3) par rapport aux témoins (SDH).

Le traitement statistique des données, révèle une différence très hautement significative chez les différents traitements hydriques par rapport aux témoins chez les deux variétés.

La matière sèche souterraine est réduite sous l'effet du stress hydrique autant bien que la matière sèche aérienne (Sarkis.F, 1999).

2. Paramètres physiologiques

2.1. La teneur relative en eau (TRE) de la feuille

La teneur relative en eau est considérée comme un excellent indicateur de l'état hydrique de la plante. Elle constitue un paramètre influençable pour toutes variations des potentialités absorbantes des plantes.

Tableau 12 : Teneur relative en eau (%) moyenne des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.

Variété	SDH	ADH1	ADH2	ADH3	
Guelma	52,396±4,58	69,806±21,16	66,884±11,91	38,54±2,57	P=0,00388**
Isma	73,908±15,10	72,55±7,53	70,482±11,26	18,254±1,99	P= 0***

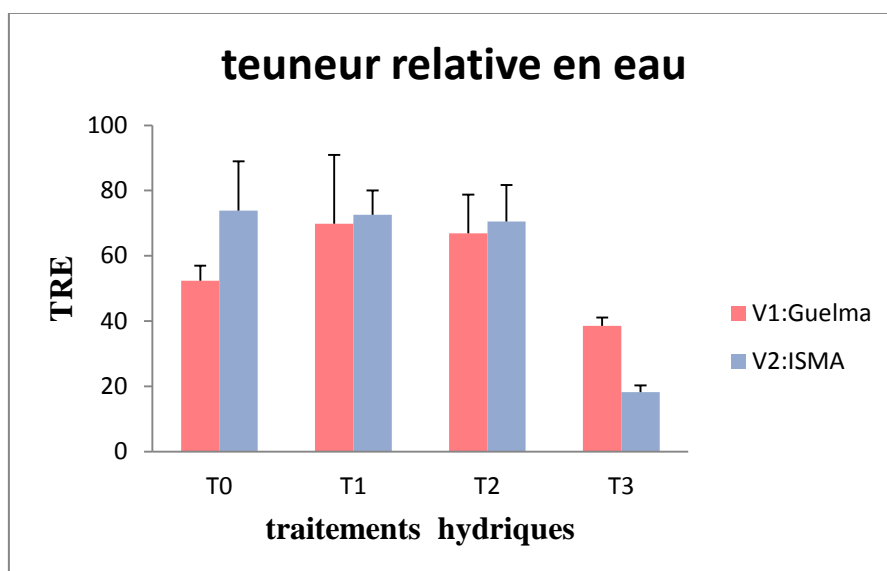


Figure 20: La teneur relative en eau (%) des feuilles des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.

Discussion :

Dans les conditions de notre expérimentation, l'analyse des résultats obtenus pour la variété Guelma et Isma, indiquent que les valeurs de TRE des feuilles des plantes stressées sont différentes pour les deux variétés. Pour la variété Guelma le taux de TRE aux traitements ADH1 et ADH2 (30% et 10%) sont plus hauts que le témoin. Cependant elle diminue progressivement au stress prononcés par rapport aux témoins. Alors que pour la variété Isma le taux de la TRE diminue au fur et à mesure que le stress augmente ADH1, ADH2, puis chuter au traitement ADH3.

Le traitement statistique des données révèle une différence hautement significative pour la variété Guelma, et très hautement significative pour la variété Isma.

L'état de turgescence cellulaire constitue un indice très efficace dans la quantification de l'intensité du déficit hydrique sur le végétale. (Monneveux, 1992)

A l'image des résultats obtenus, il se démontre que les régimes hydriques appliqués présentent des modifications importantes du statut hydrique des deux variétés testées. En effet, nos résultats indiquent que la teneur relative en eau augmente avec les deux premiers traitements de stress pour régresser ensuite dans le dernier traitement avec l'abaissement brusque de l'humidité du substrat, pour une variété et diminue progressivement pour l'autre.

(Khaloun, 1990 ; Ali Dib, 199) Affirment que la dépression du niveau d'alimentation hydrique s'accompagne toujours d'une réduction de la teneur relative en eau des tissus de la plante concernée. Ce qui n'est pas observé ici pour les traitements ADH1 et ADH2 où l'on observe pour la variété Guelma une augmentation de la teneur dans ces traitements. Cela pourrait être expliqué par une adaptation de la plante à ce niveau de stress.

2.2. Taux de déperdition d'eau (RWL) :

L'évaluation de la perte d'eau par la feuille excisée constitue l'une des principales stratégies d'économie d'eau en situation de déficit hydrique.

Tableau 13 : Perte d'eau moyenne des feuilles excisées des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques (exprimé en g/cm²/mm).

Variété	SDH	ADH1	ADH2	ADH3	
Guelma	0,0135±0,01	0,0080±0,008	0,0073±0,005	0,0001±2,35	P=0,07118
Isma	0,0129±0,0005	0,0068±0,002	0,0061±0,008	0,0053±0,002	P=0,07478

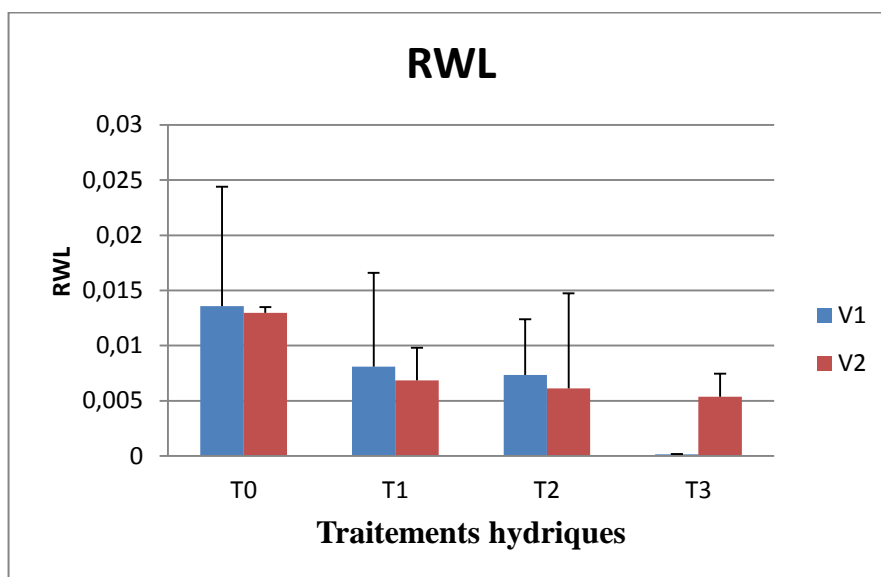


Figure 21: Taux de déperdition d'eau (RWL) des feuilles des plantes de Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.

Discussion :

La comparaison faite entre les traitements (témoins et stressés), a révélé qu'il y a une diminution pour les deux variétés. Alors que chez les plantes à stress prononcées il y'a une chute de la RWL par rapport aux témoins pour la variété Guelma.

Pour les données statistiques, les résultats obtenus ne présentent pas une différence significative pour les deux variétés.

(Hsiao ,1973) a défini le déficit hydrique comme étant la situation dans laquelle le potentiel hydrique et la turgescence de la plante sont assez réduits au point de perturber le déroulement optimal des différentes fonctions.

Plusieurs chercheurs ont montrés que des feuilles qui proviennent de plantes non stressés perdent plus d'eau que des feuilles des plantes stressés (Clarke et Mc Caig, In Boughedah et al, 1999).

Ce qui fait que l'effet du déficit hydrique se traduit par une réduction importante du taux de déperdition d'eau par la feuille (Zahariva et al, 2001).

Selon (Monneveux,1991; Bezzala,2005) le stress hydrique est liée à la réduction des pertes d'eau par l'acquisition de dispositifs morphologiques ou anatomiques et par des modifications métaboliques qui permettent de limiter la transpiration et donc de maintenir un potentiel hydrique élevé dans le tissu pendant la contrainte.

D'après (Blum ,1996) les feuilles très étroites permettent une réduction des pertes en eau.

3. paramétrés biochimiques

3.1. Extraction de la chlorophylle

- Chlorophylle a

Tableau 14 : Teneur moyenne en chlorophylle a des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.

Variété	SDH	ADH1	ADH2	ADH3	
Guelma	17,00±0,0008	15,46±0,26	13,34±0,01	03 ,20±0,11	P= 0***
Isma	14,80±0,31	11,72±0,18	10,49±0,14	04,49±0,77	P= 0***

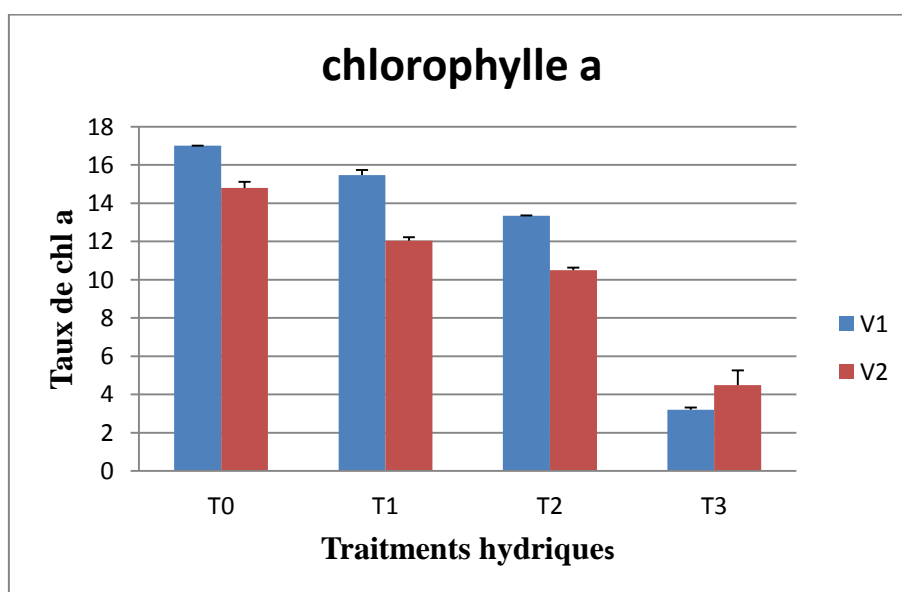


Figure 22: La teneur en chlorophylle a des feuilles des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.

Discussion :

Les résultats obtenus montrent qu'une diminution de la teneur en chlorophylle a des feuilles était enregistrée chez les deux variétés pour les différents traitements.

Pour les deux variétés, la contrainte hydrique influe d'une manière très hautement significative. Ceci prouve que les intensités de stress ont provoqué des fluctuations de la teneur en chlorophylle a.

Selon (Heller, 1998), le déficit hydrique limite l'activité photosynthétique à travers un abaissement des teneurs en pigments chlorophylliens, la réduction de la teneur en chlorophylles est due soit à une dégradation des protéines soit à une inhibition de leur synthèse.

- **Chlorophylle b :**

Tableau 15 : Teneur moyenne en chlorophylle b des variétés de Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.

Variété	SDH	ADH1	ADH2	ADH3	
Guelma	16,74±0,56	11,74±0,03	08,48±0,76	2,43±0,16	P =0***
Isma	11.81±0,35	8.21±0,66	5,33±0,95	5,31±0,005	P =0***

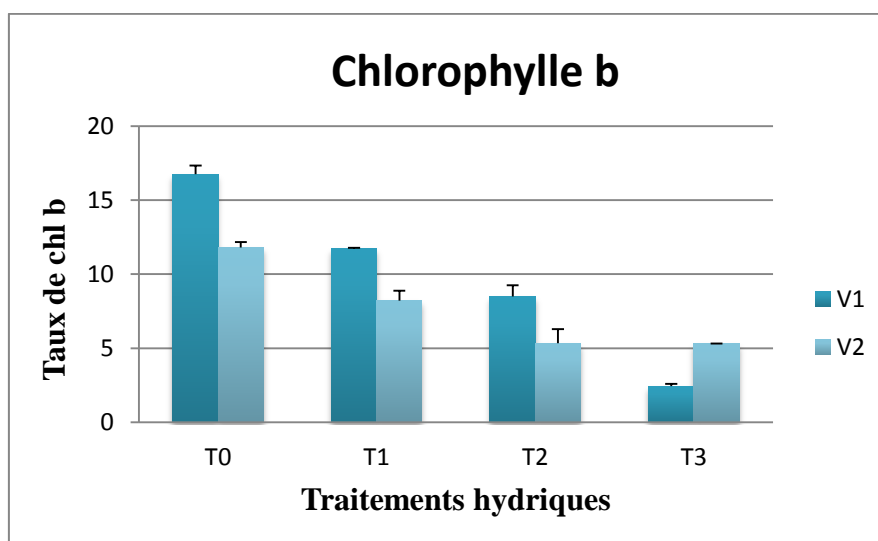


Figure 23: Teneur en chlorophylle b des feuilles des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.

Discussion :

Selon les résultats obtenus dans ce travail, il y a une diminution de la teneur des feuilles en chlorophylle b chez les deux variétés pour les différents traitements ; et on observe que les teneurs en chlorophylle b sont plus basses par rapport à la chlorophylle a.

Pour les deux variétés le traitement statistique révèle la différence est hautement significative.

Le contenu de la chlorophylle a et b diminue à différents taux, ce qui change le rapport des deux pigments. Le plus fréquent, la baisse dans la teneur de la chlorophylle b, est plus observée quand le déficit hydrique est bien prononcé, et est plus considérable que celle de la chlorophylle a ; c'est dû au fait que la chlorophylle b est plus susceptible de la destruction provoquée par le manque d'eau et à l'exposition aux températures élevées (Chernyad'ev, 2005).

- **Chlorophylle a+b**

Tableau 16 : Résultats moyens de la teneur en chlorophylle a et b des plantes de Guelma et Isma. Sous différentes situations hydriques.

Variété	SDH	ADH1	ADH2	ADH3	
Guelma	26,78±0,12	23,97±0,43	13,35±0,05	5,63±0	P =0***
Isma	23,01±0,57	18,87±0,06	15,82±0	7,91±0,19	P =0***

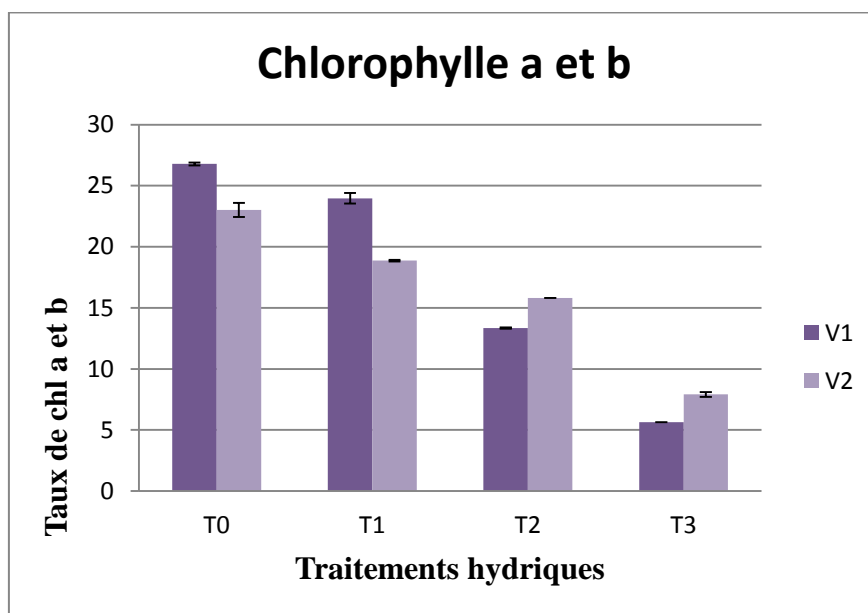


Figure 24: Teneur en chlorophylle totale (a +b) des feuilles des variétés Guelma et Isma sous différents traitements hydriques.

Discussion :

Les résultats obtenus montrent que le taux de la chlorophylle total diminue corrélativement au fil du degré de stress hydrique chez les différentes deux variétés étudiées pour les différents traitements.

Les différences entre résultats des deux variétés sont très hautement significatives.

Selon (Turner et al, 1986), le stress hydrique réduit la taille des feuilles, leur surface verte, la durée du cycle et par conséquent la capacité photosynthétique se déprime.

(Tahri et al 1997), confirment que le stress hydrique provoque un abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (chlorophylle a et b).

3.2. Dosage de proline

Tableau 17 : Résultats moyens de la teneur en proline des plantes de Guelma et Isma. Sous différentes situations hydriques.

Variété	SDH	ADH1	ADH2	ADH3	
Guelma	0,026±0,0005	0,021±0,0005	0,052±0,0005	1,035±0,001	P = 0***
Isma	0,157±0,0005	0,364±0,001	0,378±0,005	0,758±0,005	P = 0***

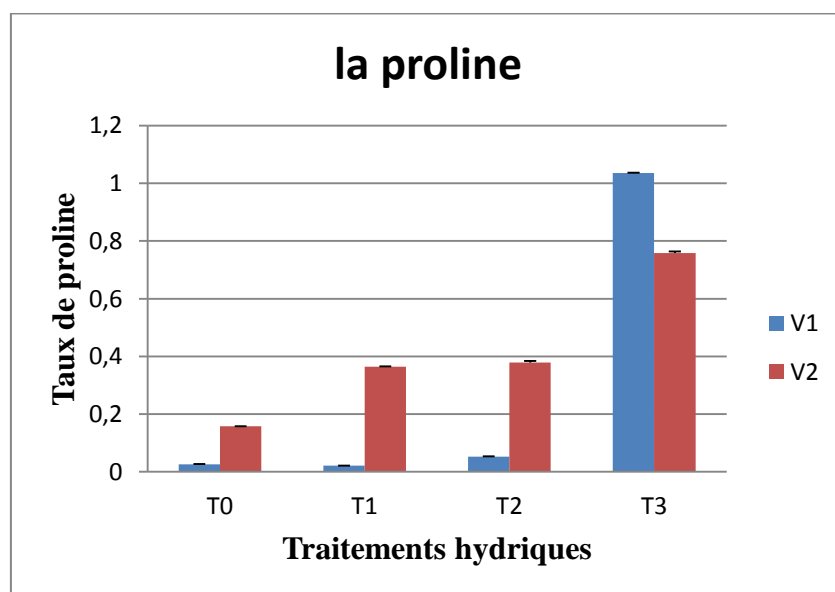


Figure 25: La proline des feuilles des plantes de Guelma et Isma sous différentes situations hydriques.

Discussion :

Les niveaux de stress hydrique appliqués ont induit une augmentation notable des teneurs en proline dans les feuilles pour les deux variétés chez les différents traitements.

En effet, plus le niveau de la contrainte hydrique appliqué augmente plus les teneurs en proline deviennent marquées.

Le traitement de la variance indique les différences sont très hautement significatives entre les témoins et les autres traitements hydriques.

(**Jones et al, 1980**) rapportent que l'accumulation des acides aminés dont la proline représente l'une des manifestations les plus remarquées du stress hydrique.

(**Tahri et al 1997**), affirment que sous l'effet du stress on a une augmentation de la teneur en proline foliaire suivie de l'abaissement dans les teneurs en pigments chlorophylliens totaux (chlorophylle a et b), au fait ces deux paramètres sont liées (**Heller, 1998**),

En effet le stress hydrique augmente considérablement la teneur en proline. Ces résultats se confirment par plusieurs chercheurs sur différents types de plantes, tel que le blé dur et tendre (**El Jaafari, 1993**) et la fève (**Bousaba, 2001**) expliquant ainsi que l'une des causes d'accumulation serait une protéolyse membranaire.

Cependant (**Claussen ,2005**) en travaillant sur la tomate en condition de stress salin et hydrique suggère que l'accumulation de proline serait due soit à une induction ou activation de l'enzyme impliquée dans la biosynthèse de la proline, ou à un abaissement de son oxydation en glutamate et une amélioration du turnover (renouvellement) des protéines.

L'accumulation de proline constitue ainsi un véritable mécanisme de tolérance à la sécheresse (**Slama et Bensalem, 2004**).

Conclusion

Dans ce travail nous avons étudié l'adaptation de tomate au stress hydrique chez deux variétés (Guelma, Isma) par analyse de quelques paramètres morpho physiologiques et biochimiques.

A la lumière des résultats obtenue il en ressort que, d'une manière générale les deux variétés étudiées ont montré une réponse négative au stress hydrique avec une petite résistance au deux premiers traitements , ceci a été bien illustré par le biais des tests sur la croissance, la longueur, la taille, le cycle de développement, la photosynthèse.....

Tout d'abord, nous avons trouvé que l'effet du stress hydrique sur la croissance s'est traduit par une réduction de la longueur de la partie aérienne, de la surface foliaire, ainsi qu'une diminution du poids frais et sec et des deux parties racinaires et aériennes, par contre on a observé une augmentation de la partie souterraine (longueur des racines) pour les deux variétés.

L'enroulement des feuilles, chez les deux variétés considéré comme indicateur de perte de turgescence et en même temps un caractère d'évitement de la déshydratation.

Cette dernière est réduite sous l'effet du stress hydrique chez les deux variétés de manière cohérente avec les traitements les plus prononcés.

De son côté, la RWL a montré une diminution chez les deux variétés avec les différents traitements.

Et ce qui concerne la chlorophylle a, b ou a et b, les deux variétés montrent qu'il y a une diminution de la teneur des feuilles en chlorophylle enregistrée pour les différents traitements (T1, T2, et T3).

Le taux de la proline aussi a été affecté avec une augmentation de sa teneur qui est prépondérante avec son les niveaux de stress appliqués.

Les résultats ont montré que les deux variétés étudiés ont utilisé les mêmes stratégies de réponse au stress hydrique mais avec des fréquences différentes et permettent aussi de conclure que ces variétés locales de la tomate (Guelma et Isma) peuvent s'adapter aux conditions de stress hydrique non prononcé mais pas au stress très accentués des régions arides et semi-arides. Ces critères peuvent être utilisés comme paramètres de sélection dans les régions sèches.

- Abdsselam .A, 2012** : contribution à l'étude de l'impact d'un boom a cyanobactérie toxiques sur la croissance de la tomate industrielle lycopersicum esculentum L (variété 61.08).Mémoire de magister. « Agriculture et fonctionnement des écosystèmes ».centre universitaire d'El Taref .p :50.51.64.
- Adda. A, 2006** : Étude des mécanismes d'adaptation à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse doctorat, Université Es-senia Oran Algérie.*Aegilops geniculata* Roth and identification of potential sources for useful traits. Edit.96p.
- Aidaoui .A, 1994** : Etude du déficit hydrique séquentiel sur les rendements, application au cas du sorgho-grain. *Sorghum tricol* (1) Moench. Thèse de doctorat en science de l'eau. Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts ; Montpellier, France.123p
- Aissani .S, 2013** : Effets du stress hydrique sur une variété du blé dur (*triticum durum* DESF). Mémoire de Master. Université De 08 Mai 1945 Guelma.38p.
- Ali Dib, 1992** : Adaptation à la sécheresse et notion d'idéotype chez le blé dur. II. Caractères physiologiques d'adaptation. Edit. Agron, **Vol.12**, 381p.
- Amenas. Y, 2007** : Caractérisation de la réponse physiologique d'*Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescens* sous l'effet du stress hydrique. Mémoire de magister en biologie. Université D'oran Es Senia.73p.
- Anonyme, 2003** : Cultures horticoles. Programme National de Transfert et Technologies en Agriculture (PNTTA). 9p.
- Anonyme, 2009** : Nouveau prédateur de la tomate. Etats des lieux et programme d'action. Note de l'Institut National de Production des Végétaux (INPV).
- Anonyme, 2010** : Caractéristiques et importance de la tomate. INRA. P : 2-8.
- Atherton .D.G et Harris .G.P. 1986**: Flowering in the tomato crop. A scientific basis for improvement. Ed. ATHERTON J.G and RUDICH J.London, New York. P:167-200.
- Azzouz.F, 2009** : Les réponses morpho physiologiques et biochimiques chez l'haricot (*Phaseolus vulgaris* L) soumis à un stress hydrique ». Mémoire de magister. Université D'oran Es Senia.60p.
- Baci .L, 1993** : Les contraintes du développement de la tomate industrielle et de sa transformation. Communications journées d'étude et de réflexion sur la tomate industrielle. (26 et 27 avril 1993). Wilaya de Jijel.

- Bamouh .A, 2000** : Gestion de la contrainte pluviométrique pour l'amélioration de la production végétale et de l'efficacité d'utilisation de l'eau. Bulletin de liaison du programme national de transfert de technologie en agriculture.p : 85-90.
- Barrs. H.D et Weatherley. P.E, 1962**: A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. Aust. J. Biol. Sci. **Vol.15**, p : 413-428.
- Belkhodja. M, Bidai. Y, 2004** : La réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. Edit. Sécheresse, **Vol.15**, N°4.P: 331-335.
- Benchalaal, 1983** : Généralités sur la tomate, production végétale, production céréalière et fourragère. Aurès agronome. P : 2-6.
- Benlaribi. M, 1990** : Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) études des caractères morphologiques et physiologiques, Thèse doctorat d'état. Université de Constantine, 164p.
- Bentvelsen .C.L.M, 1980** : Réponse des rendements à l'eau. Ed. Dunod. 235p.
- Bethenod. T, 1980** : L'eau et les hormones .Edit. INRA, Paris. P : 150-152.
- 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 de magister. Université El Hadj Lakhdar..143p.
- Blum.A, 1999**:Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. Edit. Plant Growth Regul, **Vol. 20**, p: 135 – 148.
- Boughedah. N, 1999** : Contribution à l'étude de l'interaction grosseurs des graines stress hydrique pour quelques paramètres physiologiques chez le blé dur (*Triticum durum*), 35P.
- Bousba. R ,2001** : Effets d'une contrainte abiotique (stress hydrique) sur la plante et les composants de la graine de *Vicia faba* L. Mémoire de magister : Les bases biologiques de la production végétale .p :43-44.
- Boyer.J.S, 1985** : Water transport. Annual Review of Plant Physiology, Vol. 36. P : 473-516.
- Chaux. C.L et Foury .C.L, 1994** : Cultures légumières et maraichères. Tome III : légumineuses potagères, légumes fruit .Ed Tec et Doc Lavoisier. Paris. 563p.
- Chernyad'ev .I.I, 2005**: Effect of Water Stress on the Photosynthetic Apparatus of Plants and the Protective Role of Cytokinins: A Review. Bach Institute of Biochemistry and Microbiology, Vol. 41, No.2. 2005, p: 115–128.

Chougar. S, 2011 : Bioécologie de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae) sur trois variétés de tomate sous serre (Zahra, Dawson et Tavira) dans la wilaya de tizi-ouzou. Mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou.98p.

Clarke. J.M, Romagosa .I, Jana .S, Srivastava. J.P, M.c,Caig .T.N,1989: Relationship of excised-leaf loss rate and yield of durum wheat in diverse environments. Edit. Can. J. Plant. Sci, Vol. 69, p: 1075-1081.

CLAUSSEN .W, 2005 : Proline as a measure of stress in tomato plants .Plant Science .p :168-241-248.

Corbineau .F et Core. A, 2006 : Dictionnaire de la biologie des semences et des plantules. Ed .Tec et Doc. Lavoisier. 226 p.

Cronquist.1981: An integrated system of classification of following plants. Mémoire de Magister. Columbia University.125 p.

Debaeke. P, Cabelguenne .M, Casals. M.L, Puech. J, 1996 : Elaboration du rendement du blé d'hiver en conditions de déficit hydrique .ll. Mise au point et test d'un modèle de simulation de la culture de blé d'hiver en conditions d'alimentation hydrique et azotée variées : E picphase-blé. Agronomie, Vol.16, p : 25-46.

Doorenbos . J, 1975 : Bulletin FAO d'irrigation et de drainage. Station Agro-météorologie. 20p.

Dore. C et Varoqaux. F, 2006 : Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Ed. INRA. Paris. 698p.

Dubois. J, 2007 : Les chocs thermiques et leurs applications. Edit. Station d'amélioration des plantes. p : 55 -57.

Dubos .C, 2001 : Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse de doctorat. Université. Henri Poincaré, Nancy-I. France.88p.

Duchaufour .P.h, 1995 : Pédologie : sol, végétation, environnement. Masson. Paris, Milan, Barcelone. Edit. De Boeck, p : 38-58; 451- 458.

EL JAAFARI, 1993 : Résistance à la sécheresse et réponses à l'acide abscissique, analyse d'une approche synthétique. Edit.Cahier agriculture. P : 256-263.

Enixon.J.M, 2004 : Étude de l'impact de différents types d'entretien du sol sur l'alimentation hydrique de la vigne, effet sur son développement végétatif et la maturation des raisins. Mémoire d'Ingénieur, l'École supérieure d'agriculture, PURPAN. 89P.

Erchidi. A, Benbella. M, Talouizte. A, 2000 : Relation entre certains paramètres contrôlant les pertes en eau et le rendement en grain chez neuf variétés de blé dur soumises au stress hydrique. Options méditerranéennes, Vol.40, p : 279-82.

FAO ,2007 :L'actualité agricole en Méditerranée.Ed.CIHEAM ,33p.

Favier .J.C, Ireland-Ripert. J,Toque .C et Feinberg .M, 1997 : Répertoire Général des Aliments : Table de composition. 2^{ème} édition. Ed. Tec et Doc - Lavoisier, INRA. 900 p.

Gallais. A, et Bannerot .H, 1992 : Amélioration des espèces végétales cultivées objectif et critères de sélection. INRA, Paris. 765p.

Gate. P , 1995 : Écophysiologie du blé de la plante à la culture. Ed Tech et Doc. Lavoisier, Paris, France. P : 223-226.

Gausсен. H,Lefoy .J Et Ozenda .P,1982 : Précis de Botanique. Deuxième Ed. Masson, Paris. 172p.

Gauthier .J, 1991 : Notions d'agriculture, le sol, les cultures, les élevages, l'économie et la gestion. Ed. Tech et Doc. 575p.

Gobat. J.M, Aragno . M, Matthey. W, 2003: Le sol vivant .bases de pédologie, biologie des sols. 568p.

Heller .R, 1981 : Physiologie végétale. Tome I : nutrition. 2^{ème} Edition Masson.346p.

Heller. R, Esnault. R Et Lance . C, 1998 : Physiologie végétale, Tome 1 Nutrition. Ed. DUNOD, France .323p.

Heller. R, Esnault. R, Lance .C, 2004 : Physiologie végétale .Tome1. Nutrition. Paris:DUNOD, 323p.

Heller. R,Esnault .R Et Lance .C,2000 : Physiologie végétale. II développement. 6 éditions. Edit. Dunod. 366 p.

Hermez .F, 1996 : Etude du comportement de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf) et l'orge (*Hordeum vulgare* L) vis-à-vis du stress hydrique. INA.El Harrach, Alger. P : 5-21.

Holden .M ,1975 :chlorophylls in chemistry and biochemistry of plant pigments .2ed .t.w.goodwin , edition,academic press,new yprk .p :1-37.

- Hopkins. W.G, 2003** : Physiologie Végétale, Traduction de la 2e édition par Serge RAMBOUR, révision scientifique de Charle-Marie EVRARD. Ed. DEBOEK Université, Bruxelles.514p.
- Jones .M.M, Osmonde .B, Turner. N.C, 1980** : Accumulation of solutes in leaves of sorghum and sun flower in response to water deficit on photosynthetic capacity. *Plantphysiol*,**Vol. 71**, p : 142-149.
- Khaldoun. A, Chery .J, Monneveux .P, 1990** : Etude des caractères d'enracinement et de leur rôle dans l'adaptation au déficit hydrique chez l'orge (*Hordeum vulgare L*).Edit. Agro, **Vol. 10**, p : 369-379.
- Khorsi .B, 1993** : Influence de quelques facteurs pédologiques et des équilibres ioniques sur la production et la composition de la tomate. Thèse de Doctorat d'Etat. Université de Tizi-Ouzou. 158p.
- Kinet .B, 1985** : Contrôle du développement de l'inflorescence de la tomate par les facteurs de l'environnement et les régulateurs de croissance. *Rev, Hort*, n°200. P : 30-36.
- Kolev.N. 1976** : Les cultures maraichères en Algérie .Tome I .Légumes fruits .Ed. Ministre de l'Agriculture et des Reformes Agricoles. 52p.
- Kotchi . S.O, 2004** : Détection du stress hydrique par thermographie infrarouge. Application à la culture de la pomme de terre. Université Laval, Canada, Faculté de foresterie et géomantique, Maîtrise en sciences géomantiques.130 p.
- Kramer .P.J, 1983**: Drought stress and origin of adaptations. In adaptation of post plants to water (Turner N.C.A et Kramer P J.Eds.) Willey, New York. p : 7-29.
- Latigui .A, 1984** : Effets des différents niveaux de fertilisation potassique sur la fructification de la tomate cultivée en hiver sous serre non chauffée. Mémoire de magister. INA El-Harrach.79p.
- Laumonnier .R, 1979** : Cultures légumières et maraichère. Tome III. Ed. Bailliere, Paris. 279p.
- Laurent .B,Ahmed. B, 1991** : La germination des semences en conditions sèches. Science et changements planétaires/Sécheresse, **Vol.2**, p : 239-49.
- Madr ,2009** : Ministère de l'agriculture et le Développement Rural direction des statistiques.
- MARTRE. P, 1999** : Architecture Hydraulique d'une Talle de Fétuque Élevée (*Festuca arundinacea Schreb.*). Implications pour les Relations entre la Transpiration et l'Expansion Foliaire. Thèse doctorat. Université De Poitiers, Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées.131p.
- Mazliak. P, 1981** : Physiologie végétale. Nutrition et métabolisme. 530 p.
- Mazliak. P, 1995** : Physiologie végétale, nutrition et métabolisme. Ed. HERMAN, Paris,

France.539 p.

Monneveux .P, 1992 : Amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver. Doc. Chaire de phytotechnie ENSA-INRA Montpellier.

Monneveux. P, 1991 : Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique chez les céréales d'hiver ? In L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides (Chalbi N. And Demarly Y. eds.) Aupelfuref, Edit. John Libbey Eurotext Montrouge. p : 165-186.

Mouhouche. B, 1983 : Essai des rationnements de l'eau sur tomate, recherche de production optimale et valorisation de l'eau. Thèse de magistère INA, Alger .170p.

Munro .B, et Small. E, 1997 : Les légumes du Canada. Ed. Val. Morin, Québec, Canada. 436p.

Naika .S, De Jeud .J.V.L,De Jeffau ,M. Hilmi. M Et Vandam .B, 2005 : La culture de tomate, production, transformation et commercialisation. Ed. Wageningen, Pays-Bas. 105p.

Ober et Sharp, 1994 : polyphasic chlorophyll fluorescence transients in plants and cyanobacteria .phytosynthesis research, **Vol.29, p** : 147-150.

Paul.M.H, Planchton.C, Ecochard.R, 1979 : Etude des relations entre le développement foliaire, le cycle de développement et la productivité chez le soja. Ann Amélio plants, **Vol.29, p** : 49-492.

Pesson. P et Louveaux .J, 1984 : Pollinisation et production végétales. Ed. INRA. 663p.

Polese J.M .2007.La culture de la tomate. Ed Artémis .95p.

Priault.P, 2006 : Interactions mitochondries/chloroplastes au cours de la photosynthèse et de la réponse au stress chez *Nicotiana sylvestris*. Thèse de Doctorat, en Science, Université. Paris-Sud, Orsay, 174 p.

Publishers. B, 2004 : Ressources végétales de l'Afrique tropicale. Tome 2 : Légumes. Ed. Dunod. 736p.

Raemaekers. R, 2001 : Agriculture en Afrique tropicale. Direction Générale de la Coopération Internationale (D-2001/02/0218/1).

Rey. Y, et Costes .C, 1965 : La physiologie de la tomate, étude bibliographique.INRA.111p.

Richards.R, Rebtzke.G, Van Herwaardlen.A, Dugganb.B, 1997: Improving yield in rainfed environments through physiological plantbreeding. Edit. Revue Dryland Agriculture; **Vol. 36, p**: 254-266.

Riou C, 1993 – L'eau et la production végétale .Sécheresse, **Vol.2, p** : 75-83.

- Sarkis.F, 1999** : Etude de l'effet d'un stress hydrique appliqué à différents niveaux sur le bilan d'azote, la croissance et le rendement d'une culture de laitue (*lactuca sativa*).Mémoire de Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA). Institut national agronomique paris-grignon.45p.
- Slama .A, 2002** : Étude comparative de la contribution des différentes parties du plant du blé dur dans la contribution du rendement en grains en irrigué et en conditions de déficit hydrique. Thèse de doctorat en biologie, faculté des sciences de Tunis.79p.
- Slama .A, Ben Salem. M, Ben Naceur. M, Zid .E, 2005**: Les céréales en Tunisie: production, effet de la sécheresse et mécanismes de résistance. Université Elmanar Tunisie, **Vol.16**, p : 225-229.
- Slama. A, 1996** : Effet d'une contrainte hydrique édaphique sur le développement du système racinaire de deux variétés de blé dur. DEA de physiologie végétale, faculté des sciences de Tunis.250p.
- Slama. A, Ben Salem. M, 2004** : La proline est-elle un osmorégulateur chez le blé dur? Communication aux 15 journées biologiques ,18-21 mars 2004, forum des sciences biologiques, Association tunisienne des sciences biologiques.
- Soualmi .N ,2008** : Caractérisations physiologique, biochimique, anatomique et morphologique chez *Atriplex halimus* L. stressée à la salinité. Mémoire de magister. Université D'oran Es Senia.79p.
- TAHRI. E, BELABED. A, et SADKI. K.H, 1998** : Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum* L.). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, **Vol.21**, p : 81-87.
- Thakur et Rai, 1982** : effect of water stress on protein content in two maize cultivars differing in drought resistance .*biologia plant (praha)*, **Vol.24,p** :96-100.
- Thomas. F.M, Gausling. T, 2000**: Morphological and physiological responses of oak seedlings (*Quercus petraea* and *Q. robur*) to moderate drought. *Ann. For Sci*, **Vol.57**, p: 325-33.
- Trichpoulou. A et Lagio .P, 1997** : Healthy traditional Mediterranean diet : an expression of culture, history and lifestyle.65p.
- Turner. N.C, 1979** :Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plant" in "stress physiology in crop plants", (H.W. Mussel and R.C Staples, Ed, Wiley, (interscience) New York, p : 343-372.
- Turner. N.C, 1986** : Adaptation to water deficits : a changing perspective. *Aust. J. Plant Physiol*, **Vol.13**, p : 175-190.
- Zaharieva. M, Monneveu. P, Henry .X, Rivoal R, Valkoun. J,Nachit .M.M, 2001** : Evaluation of a collection of wild wheat relative *Aegilops geniculata* Roth and identification of potential sources for useful traits. *Edit.Euphytica*, **Vol. 119**, p : 33 - 38.

Les sites électroniques :

(1)https://www.google.com/search?q=plant+de+tomate&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=HxxiVfjpM8LWUaSugogM&ved=0CAcQ_AUoAQ&biw=1366&bih=634#imgrc=c6bTvisMHppiM%253A%3BOwZS1kLzzofkpM%3Bhttp%253A%252F%252Fupload.wikimedia.org%252Fwikipedia%252Fcommons%252F4%252F4c%252FTomato_scanned.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fen.wikipedia.org%252Fwiki%252FTomato%3B1280%3B916

(2)https://www.google.com/search?q=plant+de+tomate&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=HxxiVfjpM8LWUaSugogM&ved=0CAcQ_AUoAQ&biw=1366&bih=634#imgrc=zMeUpBm3V2UXsM%253A%3Bw98h8q5ErJPh-M%3Bhttp%253A%252F%252Fimworld.aufeminin.com%252Fstory%252F20140729%252Fplanter-des-tomates-351401_w1000.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.aufeminin.com%252Fjardins%252Fplanter-des-tomates-mode-d-emploi-ou-quand-comment-planter-des-tomates-et-les-entretenir-s716633.html%3B1000%3B908

Annexe



Semis manuel



Germination sous tunnel



Chaine de semis



plantule 1 jour



Plantule 4 jours



plantule 8 jours



Plantule 11 jours



Plantule 14 jours



Plantule 17 jours



système d'irrigation

22 Jours après

