

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DE SAAD DAHLEB BLIDA 1



Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département des biotechnologies

Projet de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme en Master académique

Option : Biotechnologies végétales et amélioration

Thème

**EFFET DE LA TECHNIQUE DE « PRIMING » SUR LA
CROISSANCE DE LA PLANTE DE TOMATE (*SOLANUM
LYCOPERSICUM L.*) VARIÉTÉ MARMANDE EN HORS SOL**

Réalisé par

AZIB Chahinez

KECHAD Ibtissem

Devant le jury composé de :

Mr. ZOUAOUI A.	M.C.A	U. Blida 1	Président
Mr. SNOUSSI S.A.	Professeur	U. Blida 1	Promoteur
Mr. ABBAD M.	M.C.B	U. Blida 1	Examineur
Mr. HAMIDI Y.	Docteur	U. Blida 1	Co- Promoteur

Année universitaire : 2019-2020

Remerciements

Tous nos remerciements vont à notre promoteur Monsieur SNOUSSI S.A. qui a accepté de diriger et surtout de corriger avec patience cette thèse. Il avait suivi sans faille tout au long de la réalisation de ce travail. Sa rigueur, son application, ses qualités humaines et scientifiques nous ont fasciné.

Monsieur ZOUAOUI A. qu'il reçoive toute l'expression de notre gratitude pour avoir accepté de faire partie et présider ce jury et pour l'intérêt porté à ce travail. Nous tenons à lui exprimer nos sincères remerciements.

Monsieur ABBAD M. d'avoir accepté de juger ce travail en qualité d'examineur de jury. C'est avec sincérité que nous exprimons notre gratitude et notre profond respect.

Nous sommes extrêmement reconnaissantes particulièrement envers Madame et Monsieur HAMIDI pour toute l'aide technique et morale que nous avons reçu pendant notre partie expérimentale. Un immense merci pour tout le bien qu'ils nous ont entouré. Leurs attentions de tous les instants ces derniers mois nous ont porté plus loin, nous les devons tant.

A toute l'équipe de laboratoire de la recherche des biotechnologies et particulièrement Monsieur BENMALAM A. pour son accueil et sa gentillesse, pour son aide précieuse.

Dédicaces

Pour ma mère, la personne qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ses conseils et sa bénédiction m'ont été un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne serait assez éloquente pour exprimer ce qu'elle mérite.

Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour cher mère.

Pour mon cher père, à qui je dois tout et en qui j'ai l'inspiration. Un papa pas possible ! il est toujours là quand j'en ai besoin et il se met en quatre s'il le faut. Son amour, sa patience, sa compréhension, conseils et son soutien permanent m'ont beaucoup aidé. Il a été toujours un modèle pour moi.

Ce travail est le fruit de tes énormes sacrifices cher père.

A mes sœurs, pour leur soutien et toute la complicité qui nous unit depuis des années partageant ma vie. Je les remercie de leurs encouragements, compréhension et tout simplement... leur amour.

A mon binôme IBTISSEM, je te remercie d'avoir parcouru avec moi tous ces cinq ans. Merci de m'écouter et de me comprendre. Ma vie serait bien vide sans toi ma chérie.

*** CHAHINEZ ***

Dédicaces

A ma chère maman pour tout son amour inconditionnel, pour m'avoir toujours fait confiance, pour l'éducation, les valeurs morales inculquées et les sacrifices consentis pour notre bien-être.

A mon père, aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour lui. Ce travail est le fruit de ses sacrifices qu'il a consentis pour mon éducation et ma formation.

A mes sœurs **MALIKA** et **SOUAD**. A mes frères **BOUDJEMAA**, **ABDOU**, **ZINOUE** et **REDA** pour votre soutien moral, soyez rassurées de ma reconnaissance. Puisse dieu nous bénir et nous combler de sa « baraka »

A mes chères amies **MERIEEM**, **AHLEM** et particulièrement **SAMIRA**. Je vous aime, que dieu vous garde pour moi.

A mon binôme et chère amie **CHAHINEZ**, en souvenir de tout ce qu'on a vécu ensemble, en prévision de tout ce qu'il nous reste à partager si on s'en donne la peine. Merci pour tout ce que tu m'as apporté.

*** IBTISSEM ***

Résumé

Ce travail de recherche a pour objectif d'étudier l'impact des différents types de priming sur le comportement des plantes de tomate (*Solanum lycopersicum*) dans un environnement salin et non salin (nutritif) par le procédé hydroponique.

Les graines ont été prétraitées à dix traitements différents : l'eau de robinet, l'eau distillée, KCl à 1%, KCl à 2%, CaCl₂ à 0,5%, CaCl₂ à 1%, ZnSO₄ à 0,73%, ZnSO₄ à 1,4%, PEG₆₀₀ et l'auxine, à différentes durées (6h, 9h, 12h, 24h) afin d'évaluer les effets de la durée d'amorçage et de comparer l'impact des traitements osmotiques et hydrique par rapport au témoin dont les graines n'ont pas subi de traitement préalable (imbibition avec l'eau de robinet seulement). Des mesures biométriques ou morphologiques ont été mesurés en cours de culture.

A travers les principaux résultats obtenus, nous avons remarqué que le ZnSO₄ a marqué toujours les plus faibles valeurs par rapport aux autres traitements. En parallèle le CaCl₂ avait toujours les valeurs maximales.

Aussi, il est constaté que le poids frais des feuilles chez la série solution saline a été élevé, ceci en raison de l'accumulation des sels dans les tissus foliaires, en revanche, le nombre de feuilles a été diminué, ce qui montre bien que l'inhibition de la croissance foliaire chez les plantes sensibles est la première réponse à l'excès de sel dans le milieu.

Durant les semaines qui suivent l'application de stress salin, la croissance a diminué progressivement avec l'augmentation de la salinité.

Mots clés : amorçage, tomate, culture hors sol, priming, traitement, salinité, poids frais, croissance

Abstract

This research work aims to study the impact of different types of priming on the development and salt stress tolerance of bean plants as tomato (*Solanum Lycopersicon*) in a salty environment as well as in a nutrient medium by the hydroponic process.

The seeds were pretreated with ten different treatments: tap water, distilled water, KCl 1%, KCl 2%, CaCl₂ 0,5%, CaCl₂ 1%, ZnSO₄ 0,73%, ZnSO₄ 1,4%, PEG₆₀₀ and auxine, at different times (6h, 9h, 12h, 24h) in order to evaluate the effects of priming time and compare the impact of osmotic and water treatments compared to the control which haven't undergone any prior treatment (soaking with tap water only). Biometric or morphological measurements were measured during the culture.

Through the main results obtained, we noticed that the ZnSO₄ has always scored the lowest values compared to other treatments. In parallel, CaCl₂ always had the maximum values.

Also, it is found that the fresh weight of the leaves in the solution series was high, this due to the accumulation of salts in the leaf tissues, on the other hand, the number of leaves was reduced, which clearly shows that inhibiting leaf growth in susceptible plants is the first reply to excess salt in the environments.

During the weeks following the application of salt stress, growth gradually decreased with increasing salinity.

Key words : priming, tomato, hydroponic process, cultivation, treatment, salinity, fresh weight, growth.

الملخص

يهدف هذا العمل البحثي الى دراسة نتائج تطبيق العلاجات المختلفة التي خضعت لتقنية التخصيب المائي او الأملاح المعدنية على التنمية وتحمل الاجهاد الملحي لبذور الطماطم في بيئة مألحة وكذلك في وسط المغذيات وتم هذا باستعمال الزراعة المائية.

تمت معالجة البذور مسبقا باستخدام عشرة معالجات مختلفة وهذا في أوقات مختلفة (6سا, 9سا, 12سا, 24سا) من اجل تقييم آثار تقنية التخصيب المائي او الأملاح المعدنية ومقارنة تأثير العلاجات الأخرى مع الشاهد الذي لم تتم معالجته مسبقا (النقع بماء الصنبور فقط). أجريت القياسات المورفولوجية او البيو مترية خلال فترة الزراعة.

من خلال النتائج الرئيسية التي تم الحصول عليها، لاحظنا ان $ZnSO_4$ دائما ما سجل القيمة الأدنى مقارنة بالعلاجات الأخرى، مع الموازة، $CaCl_2$ سجل غالبا القيم القصوى.

أيضا، وجد ان الوزن الطازج للأوراق المعرضة للإجهاد الملحي كان مرتفعا وذلك بسبب تراكم الاملاح المعدنية في انسجة الاوراق، من ناحية أخرى، عدد الاوراق أصبح قليلا وهذا يدل بوضوح ان تثبيط نمو الاوراق في النباتات الحساسة هو الاستجابة الاولى لمواجهة الملح الزائد في الوسط.

خلال الأسابيع التي تلت تطبيق الاجهاد الملحي، انخفضت نسبة النمو تدريجياً مع زيادة الملوحة.

الكلمات المفتاحية: التخصيب المائي، الطماطم، الزراعة المائية، معالجة، ملوحة، وزن طازج، نمو.

Liste des tableaux

Tableau N°1 : Synthèse des principaux travaux sur l'hydropriming des semences de différentes espèces cultivées.....	5
Tableau N°2 : Synthèse des principaux travaux sur l'osmopriming des semences de différentes espèces cultivées.....	6
Tableau N°3 : Composition chimique des fruits de tomate (%)	27
Tableau N°4 : Apport nutritif de la tomate dans 100g de produit consommable.....	28
Tableau N°5 : La classification systématique de <i>Solanum lycopersicum</i> L.....	31
Tableau N°6 : Températures requises pour les différentes phases de développement d'un pied de tomate.....	33
Tableau N°7 : Les principales maladies de la tomate et leurs moyens de lutte préventive et biologique.....	36
Tableau N°8 : Périodes retenues de priming de chaque traitement.....	44
Tableau N°9 : Quantités des sels minéraux de la solution saline préparée.....	48
Tableau N°10 : Besoins en éléments minéraux de la solution nutritive préparée.....	49
Tableau N°11 : Les différentes doses d'irrigation nécessaires pour la culture de tomate.....	50
Tableau N°12 : Périodes des coupes effectuées sur les plantules de tomate.....	51

Liste des figures

Figure N°1 : Diminution du pourcentage de germination avec l'augmentation de la salinité.....	14
Figure N°2 : Production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité.....	16
Figure N°3 : Système aquiculture.....	23
Figure N°4 : le système NFT.....	23
Figure N°5 : Le système aéroponique.....	24
Figure N°6 : Le système goutte à goutte.....	24
Figure N°7 : Description botanique de la tomate.....	30
Figure N°8 : La différence entre les inflorescences (définie et indéfinie).....	32
Figure N°9 : Différentes variétés de tomate.....	32
Figure N°10 : Les stades phénologiques de la tomate.....	35
Figure N°11 : Localisation du lieu de l'expérimentation.....	40
Figure N°12 : Aspect général des conteneurs.....	41
Figure N°13 : Dilution de l'eau de Javel pour le lavage du gravier.....	43
Figure N°14 : Identification des meilleurs temps des traitements.....	44
Figure N°15 : Germination des graines dans l'étuve.....	45
Figure N°16 : Repiquage des germes de tomate.....	46
Figure N°17 : Présentation du dispositif expérimental.....	47
Figure N°18 : Vue générale du dispositif expérimentale.....	48
Figure N°19 : Irrigation des plantules de tomate avec une solution nutritive (20ml).....	50
Figure N°20 : Coupe finale des plantes de tomate (série plantes stressées).....	51
Figure N°21 : Mesure de la longueur des tiges (cm).....	52
Figure N°22 : Mesure de la surface foliaire.....	52

Figure N°23 : Organes des plantes de tomate lors de la pesée.....	53
Figure N°24 : Aspect général des plantes de tomate.....	58
Figure N°25 : Diamètre moyen des tiges des plantes de tomate (mm).....	59
Figure N°26 : Longueur des tiges des plantes de tomate (cm).....	60
Figure N°27 : Nombre de feuilles des plantes de tomate.....	61
Figure N°28 : Biomasse fraîche des feuilles des plantes de tomate (g).....	62
Figure N°29 : Biomasse fraîches des tiges des plantes de tomate (g).....	63

Liste des abréviations

Etc. : Etcétera.

FAO : Organisation internationale de l'alimentation et de l'agriculture.

pH : Potentiel hydrique.

% : Pourcentage.

ha : Hectare.

mg/l : Milli gramme par litre.

mM : Milli molaire.

Atm : Atmosphère.

µg : Micro gramme.

PMG : Poids de mille grains.

t : Tonne.

t/ha : Tonne par hectare.

C° : Degré Celsius.

h : Heure.

min : Minute.

T : Traitement.

P : Répétitions.

So. : Solution.

ml : Milli litre.

l : Litre.

mg : Milli gramme.

g : Gramme.

kg : Kilo gramme.

Km : Kilo mètre.

nm : Nanomètre.

DDI : Degré de liberté.

Mp: Mégapascal.

Kp: Kilo pascal.

ds/m : Degré de salinité par mètre.

g/l : Gramme par litre.

HSP : Protéine de stress.

KDa : Kilo dalton.

ppm : Partie par million.

meq/l : Milli équivalent par litre.

ms : Milli siemens.

Qx : Quintaux.

ITCMI : Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles.

N : Normalité.

M : Molarité.

V : Volume.

DO : Densité optique.

ABA : Acide abscissique.

GA3 : Acide Gibbérellique.

RuBP : Ribulose Biphosphate.

NFT : Technique du film nutritif.

FW : Poids frais.

DW : poids sec.

TW : poids turgescents.

Chl : Chlorophylle.

W : Poids de la matière fraîche de l'échantillon.

RWC : Teneur relative en eau.

EL : Fuite des électrolytes.

PEG 600 : Polyéthylène glycol.

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction.....	1

Partie bibliographique

Chapitre I : la technique de priming

I. Historique et définition de priming.....	4
II. Différents types de priming.....	4
II.1. Technique de l'hydropriming.....	4
II.2. Technique de l'osmopriming ou osmoconditionnement.....	5
II.3. Technique de biopriming.....	7
III. Comportement de quelques espèces vis-à-vis de priming.....	7
IV. Effets de priming.....	8
IV.1. Effet de priming sur la germination.....	8
IV.2. Effet de priming sur la protéine.....	8
a. Les enzymes.....	8
b. Les protéines de stress.....	8
IV.3 Effet de priming sur les osmolytes.....	9
IV.4. Effet de priming sur la longévité des plantes.....	9

Chapitre II : Généralités sur le stress salin

I. Généralités sur le stress.....	11
I.1. Le stress abiotique.....	11
a. Stress hydrique.....	11

b. Stress thermique.....	11
c. Stress salin.....	11
I.2. Le stress biotique.....	11
II. Le stress salin.....	11
III. Origine de la salinisation des sols.....	12
III.1. La salinité primaire.....	12
III.2. La salinité secondaire.....	12
IV. Effet du stress salin sur les végétaux.....	13
IV.1. Effet du stress salin sur la germination.....	13
IV.2. Effet du stress salin sur la morphologie des plantes.....	14
IV.3. Effet du stress salin sur la croissance et le développement.....	14
IV.4. Effet du stress salin sur les échanges gazeux et la photosynthèse.....	14
IV.5. Effet du stress salin sur l'absorption d'eau et la transpiration.....	15
V. Le comportement des plantes vis-à-vis de la salinité.....	15
V.1. Les halophytes vraies.....	15
V.2. Les halophytes facultatives.....	15
V.3. Les non-halophytes résistantes.....	15
V.4. Les lycophytes.....	15
VI. Les mécanismes d'adaptation des plantes.....	16
VI.1. Ajustement osmotique.....	16
VI.2. L'accumulation de la proline.....	16

VI.3. Régulation de la croissance.....	17
VI.4. Exclusion des ions.....	17
VI.5. Inclusion des ions.....	18
VI.6. Les antioxydants.....	18
VI.7. Induction des hormones végétales.....	18
VII. Restauration et aménagement des sols salins.....	19
VII.1. Drainage.....	19
VII.2. Lessivage.....	19
VII.3. Phytoremédiation.....	19

Chapitre III : Généralités sur la technique hydroponique

I. Historique et définition de la technique hydroponique.....	21
II. Espèces cultivées en hors sol.....	22
III. Les différents systèmes hydroponiques.....	22
III.1. Système sans substrat (liquide ou culture).....	22
a. Aquiculture.....	22
b. Technique du film nutritif (NFT).....	23
c. Aéroponie.....	23
III.2. Système avec substrat.....	24
IV. Système goutte à goutte.....	24
V. Avantages et inconvénients de la technique hydroponique.....	25
IV.1. Avantages.....	25

IV.2. Inconvénients.....	25
--------------------------	----

Chapitre IV : Généralités sur la tomate

I. Origine et importance de la tomate.....	27
II. Présentation de la tomate.....	28
II.1. Description botanique de la plante.....	28
a. Système racinaire.....	29
b. Tige.....	29
c. Feuillage.....	29
d. Graine.....	29
e. Fleur.....	29
f. Fruit.....	30
g. Couleur.....	30
II.2. Classification botanique de la plante.....	30
III. Les différentes variétés de tomate.....	31
III.1. Selon la croissance.....	31
a. Variétés à croissance déterminée.....	31
b. Variétés à croissance indéterminée.....	31
III.2. Selon la forme du fruit.....	32
III.3. Selon le caractère génétique.....	33
IV. Exigences de la tomate.....	33
IV.1. Température.....	33

IV.2. Eau.....	33
IV.3. Sol.....	34
V. Cycle végétatif de la tomate.....	34
V.1. Germination.....	34
V.2. Croissance.....	34
V.3. Floraison.....	34
V.4. Pollinisation.....	35
V.5. Fructification et nouaison.....	35
V.6. Maturation de fruit.....	35
VI. Maladies et ravageurs de la tomate.....	36

Partie expérimentale

Chapitre I : Matériels et méthodes

I. Objectif de l'expérience.....	40
II. Matériel végétal utilisé.....	40
III. Conditions de l'expérimentation.....	40
III.1. Lieu de l'expérimentation.....	40
III.2. Substrat.....	41
III.3. Conteneurs.....	41
III.4. Description des traitements.....	41
IV. Lavage du gravier.....	42

V. Essai de la technique de priming.....	43
V.1. Essai de premier priming.....	43
V.2. Choix des temps de priming.....	43
V.3. Paramètres mesurés avant l'application définitive de priming.....	45
a. Taux de germination (%).....	45
b. Poids frais des plantules (g).....	45
c. Poids sec des plantules (g).....	45
V.4. Application de priming.....	45
VI. Mise en germination définitive dans l'étuve.....	45
VII. Repiquage	46
VIII. Dispositif expérimental.....	46
IX. Description de la solution d'irrigation.....	48
IX.1. Préparation de la solution saline.....	48
IX.2. Préparation de la solution nutritive.....	49
X. Différentes opérations d'entretien de la culture.....	49
X.1. Irrigation.....	49
X.2. Lessivage.....	50
XI. Paramètres mesurés.....	50
XI.1. Paramètres morphologiques ou biométriques effectués.....	51
a. Hauteur des plantes.....	51
b. Hauteur finale des plantes et la longueur des racines.....	52

c. Surface foliaire.....	52
d. Diamètre des tiges.....	53
e. Biomasse fraîche produite.....	53
f. Biomasse fraîche sèche.....	53
XI.2. Paramètres physiologiques effectués.....	54
a. Teneur relative en eau.....	54
XI.3. Paramètres biochimiques effectués.....	54
a. Dosage de la chlorophylle a et b.....	54
b. Dosage de la proline.....	55
XII. Analyse des données.....	56

Chapitre II : Résultats et discussion

I. Aspect général des plantes de tomate.....	58
II. Paramètres morphologiques mesurés.....	58
II.1. Diamètre moyen des tiges (mm).....	58
II.2. Hauteur finale des plantes (cm).....	59
II.3. Nombre de feuilles.....	60
II.4. Biomasse fraîche des feuilles des plantes (g).....	62
II.5. Biomasse fraîche des tiges des feuilles (g).....	63
Conclusion	65

Annexe

Références bibliographiques

Introduction

L'agriculture est un processus par lequel les êtres humains aménagent leurs écosystèmes pour produire leurs aliments et subvenir à leurs besoins.

L'agriculture peut être pratiquée sur sol ou sur substrat. Aujourd'hui, il est devenu possible de pratiquer l'agriculture en utilisant d'autres substrats, autres que le sol et voire même sans substrat : c'est ce que l'on appelle la culture hors sol (**ESSADAoui, 2013**).

L'hydroponie ou la culture hors sol est une technique où le sol est remplacé par un substrat inerte et stérile (billes d'argiles, vermiculure, gravier...) pour pallier au manque de nutriments habituellement présents dans la terre (**KOUASSI, 2009**). Les plantes sont nourries avec un liquide nutritif contenant de l'engrais et des sels minéraux (**TEXIER, 2013**).

La croissance des plantes est influencée par plusieurs facteurs biotiques et abiotiques (**HOPKINS, 2003**). La salinité est un facteur abiotique où les sels sont accumulés à la surface du sol et dans la zone racinaire, ce qui occasionne des effets nocifs sur la croissance et le développement des végétaux et sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, se traduisant inévitablement par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance et la productivité végétale (**ASHRAF et FOOLAD, 2005**).

Des recherches récentes suggèrent que les plantes peuvent être « primées » pour mieux tolérer différentes contraintes abiotiques. Dans ce domaine, le priming est un traitement pré-germinatif qui présente des méthodes physiologiques pour améliorer la production végétale en modulant les activités métaboliques de la germination avant l'émergence de la radicule (**BRADFORD, 1986**). Ainsi, au cours de la phase réversible de la germination, la semence peut revenir à son état initial sans dommages **KHEDDACHE (2005)**. Les traitements de prégermination permettent la levée de la dormance, une meilleure croissance avec une floraison précoce, amener les semences au même stade physiologique (synchronisation) et améliorer la croissance des plantules et leur tolérance aux stress abiotiques (**BOUCELHA et DJEBBAR, 2019**).

Comme les effets de priming sur les performances de la plante de tomate ne sont pas bien connus, notre contribution a été menée afin de déterminer l'influence de la durée de priming sur les plantes de tomate « *Solanum lycopersicum* » variété Marmande sur la croissance et le développement ainsi que la tolérance à la sécheresse.

Partie
bibliographique

Chapitre I

La technique de priming

I- Historique et définition du priming

Les travaux de **HEYDECKER *et al*, 1973** ont été les premiers à avoir préparé des semences avec des solutions osmotiques pour l'amélioration des performances de germination. A la fin des années 1970, les termes conditionnement osmotiques ou osmo-conditionnements ont été proposés comme solution de rechange à « amorçage ». Ces termes ont évité la confusion avec l'amorçage de fragments d'ADN pour la synthèse (**KHAN *et al*, 1978**).

Malgré le risque de confusion, l'amorçage des semences était devenu un terme largement accepté dans le commerce des semences et aujourd'hui, les termes conditionnement et amorçage osmotique sont utilisés de manière synonyme. « L'amorçage osmotique » est souvent utilisé pour différencier d'autres technologies d'amorçage qui ont été développées depuis l'adoption initiale du terme (**BRADFORD, 1986**).

Le priming est un traitement pré-germinatif. Il présente des méthodes physiologiques qui améliorent la production végétale en modulant les activités métaboliques de la germination avant l'émergence de la racine (**BRADFORD, 1986 ; TAYLOR et HARMAN, 1990**). Ainsi, au cours de la phase réversible de la germination, la semence peut revenir à son état initial sans dommages (**BAYARD, 1991**).

D'après **HEYDECKER (1978)** et **KHEDDACHE (2005)**, les traitements de prégermination permettent :

- La levée de la dormance.
- La synchronisation des semences au même stade physiologique.
- L'Amélioration de la croissance des plantules et leur tolérance aux stress abiotiques.
- Une meilleure croissance avec une floraison précoce.

II- Différents Types de Priming

D'après **TAYLOR (1998)**, les méthodes de Priming sont divisées en deux groupes selon :

- L'absorption d'eau incontrôlée (hydro et hormopriming)
- L'absorption d'eau contrôlée (osmopriming)

II.1- Technique de l'hydropriming

Ce type d'amorçage consiste à tremper les graines dans l'eau avant de les semer et peuvent être suivies d'un séchage à l'air des graines (**PILL et NECKER, 2001**). Les semis à germination rapide peuvent émerger et produire des racines profondes avant que les couches supérieures du sol soient desséchées et en croute. Ce qui permet une bonne implantation et un rendement plus élevé (**SUZUKI et KHAN, 2001**).

Tableau N°1 : Synthèse des principaux travaux sur l’hydropriming des semences de différentes espèces cultivées

Durée d’imbibition	Espèce	Effets	Référence
12h	Pois chiche <i>Cicer arietinum</i>	- Amélioration de la germination des graines ayant subi un vieillissement. - Augmentation de la teneur en eau des feuilles. - Augmentation du rendement.	HOSSEINZADEH MAHOOTCHI <i>et al</i> (2003)
24h	Riz <i>Oryzasativa</i>	- Amélioration de la production du riz en conditions de stress hydrique.	TILAHUN TADESSE <i>et al</i> (2013)
6h, 12h, 18h et 24h	Soja <i>Glycine max</i>	- Amélioration des performances germinatives. - Augmentation de la biomasse et le rendement. - 18h d’imbibition offrent les meilleurs résultats.	MEHRI (2015)

Source : (SUZUKI et KHAN, 2001).

II.2- Technique de l’osmoprimering (osmoconditionnement)

C’est le type d’amorçage le plus utilisé. Il consiste à faire sur les graines un traitement pré-germinatif osmotique seul ou suivi d’une redéshydratation. D’après YARI *et al.*, (2010), cette hydratation est réalisée par des agents osmotiques comme :

- Polyéthylène glycol (PEG).
- Les sels (KNO3, NaCl, KCl).
- Les polyols (mannitol).

NaCl et PEG sont les plus utilisés (efficacité pour l’amélioration des vigueurs des semis).

Tableau N°2 : Synthèse des principaux travaux sur l'osmoprimer des semences de différentes espèces cultivées.

Espèce	Agent osmotique	Concentration	Durée	Effets	Référence
Blé <i>Triticumaestivum</i>	PEG 600	10% - 20%	12, 24 et 36	-PEG 20% et KH ₂ PO ₄ (12h) : meilleure germination. -PEG 20% (24h) : meilleure croissance racinaire. -PEG 10% (24h) : meilleure croissance de la tige. -KCL : affecte la germination et la croissance	YARI et al (2010)
	KCL	2% - 4%			
	KH ₂ PO ₄	0.5 % - 1%			
Mais <i>Zeamays</i>	CaCl ₂	1.25 MPa	24h	Amélioration du développement du système racinaire et du rendement en condition de sécheresse.	BISMILLAH KHAN et al (2015)

Riz <i>Oryzasatia</i>	KNO3	0.7% - 1.5%	24h	KNO3 à 1,5% permet d'avoir une meilleure germination et croissance linéaire et pondérale des racines.	ESMAEIL et HEIDARZA (2012)
	NaCl	3 - 6 dS/m-			

Source : (YARI *et al.*, 2010).

Les facteurs influençant l'osmoprimer se résument comme suit :

- Le type de la semence et son état physiologique.
- La quantité d'eau utilisée pour le traitement (elle peut être suffisante pour déclencher des transformations biochimiques et moléculaires, mais insuffisante pour que la racine perce les téguments).
- La durée du traitement.
- La température à laquelle est conduit le traitement.
- La concentration de la solution osmotique.
- Les conditions de stockage des semences amorcées.

II.3- Technique de Bioprimer

Selon **REDDY (2012)**, le bioprimer est une nouvelle technique de traitement des semences en intégrant d'une part des aspects biologiques, tel que l'inoculation des semences avec un organisme bénéfique pour la protection, et des aspects physiologiques, telle que l'hydratation des semences de l'autre part :

Si les semences sont infectées ou contaminées par des agents pathogènes, la croissance fongique peut être renforcée lors de la préparation, entraînant des effets indésirables sur les plantes. Par conséquent, l'amorçage des semences seul ou en combinaison avec une faible dose de fongicide ou d'agents de lutte biologique a été utilisée pour améliorer la vitesse et l'uniformité de l'émergence des semences et réduire les maladies provoquant la fonte des semis.

III- Comportement de quelques espèces vis-à-vis le priming

L'hydroprimage pour 24h chez le blé fait une augmentation de rendement grainier (**HARRIS *et al.*, 2002**). L'hydroprimage de la culture de maïs a augmenté la vitesse de

l'émergence des semis et amélioré le peuplement et la croissance des plantes (**BASRA et al. 2006**). Aussi, selon **MOOSAVI et al. (2009)**, chez différentes espèces végétales telles que la tomate, le haricot, la lentille, la pastèque, le melon et la carotte, l'endurcissement permet :

- L'accélération et la synchronisation de la germination.
- Une meilleure croissance et une floraison plus précoce
- Une plus grande tolérance aux stress

IV- Effets du Priming

IV.1- Sur la germination

L'amorçage est une méthode efficace pour améliorer les performances germinatives, en donnant des cultures uniformes et homogènes (**GHASSEMI GOLEZANI et al, 2010**). Les travaux de **VARIER et al (2010)** ont expliqué que cette germination rapide est synchronisée par une activation des processus pré-germinatifs en provoquant des modifications biochimiques quantitatives et qualitatives à la semence.

IV.2- Sur les protéines

L'amorçage favorise la synthèse des protéines par l'amélioration de la machinerie de leur synthèse (**VARIER et al, 2010**).

a- Les enzymes

Selon **FU et al., (1988)**, les semences endurcies font une forte synthèse et activation des enzymes dont les produits (éléments nutritifs) seront utilisés au cours de la germination. Ces enzymes sont impliquées dans la dégradation des réserves protéiques (protéase), des réserves glucidiques (α et β amylases) et des réserves lipidiques (isocitrate lyase).

b- Les protéines de stress

À un stress hydrique, l'endurcissement présente des effets bénéfiques qui sont expliqués par l'augmentation de l'expression des protéines de stress. En effet, une augmentation spécifique des protéines moléculaires de choc thermique (HSP) de 17,4 et 17,7 KDa a été observée chez des graines trempées dans le PEG ou le mannitol. Ces chaperons moléculaires agissent en maintenant le bon repliement d'autres protéines au cours de l'osmoprime, empêchant l'agrégation et la liaison aux protéines endommagées (**GALLARDO et al, 2001**).

Ceci explique l'abondance des protéines de choc thermique, qui sont connues pour s'accumuler en grandes quantités au cours de toutes sortes de stress (**KESTER et al, 1997**).

Ces HSPs synthétisées au cours de l'osmoprime en réponse au stress pourraient également protéger les protéines endommagées par le vieillissement naturel (**VARIER et al, 2010**).

IV.3- Sur les osmolytes

Physiologiquement, les traitements pré-germinatifs font l'augmentation de la teneur en proline libre corrélée avec une forte expression de deux gènes et à des niveaux élevés de l'ARNm correspond à l'activité des enzymes impliquées dans la synthèse de la proline (**GELORMINI, 1999**).

IV.4- Sur la longévité des semences

Plusieurs auteurs ont montré un effet négatif de l'hydropriming, où la longévité des semences traitées est souvent réduite (**POWELL et al, 2000 ; VARIER et al, 2010**).

Chapitre II

Généralités sur le stress salin

I- Généralités sur le stress

Selon **VINCENT (2006)**, le stress est un facteur de l'environnement induisant une contrainte potentiellement néfaste sur un organisme vivant.

La notion du stress biologique est le changement plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante ou de l'animal, et la réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de sa physiologie laquelle change sensiblement avec l'adaptation à la nouvelle situation à la limite de dégradation menant à une issue fatale (**LEHMANN et al. 2000**).

On peut distinguer deux types du stress dans la nature :

I.1- Le stress abiotique

Selon **HOPKINS (2003)**, le stress abiotique est dû principalement à des facteurs environnementaux comme la sécheresse, les températures extrêmes, excès d'eau (asphyxie racinaire), la salinité. Les stress abiotiques pouvant affecter les végétaux sont :

- a- Stress hydrique** : il est provoqué par un déficit en eau constituant une menace pour la survie des plantes. Néanmoins, beaucoup d'entre elles produisent des modifications morphologiques et physiologiques qui leurs permettent de survivre (**HOPKINS, 2003**).
- b- Stress thermique** : il est provoqué par la température, c'est l'un des facteurs les plus limitant et qui conditionne la production et la croissance des plantes (**HOPKINS, 2003**).
- c- Stress salin** : il est défini comme une concentration excessive en sel. Il s'applique surtout à un excès des ions, en particulier Na^+ et Cl^- (**HOPKINS, 2003**).

I.2- Le stress biotique

Ce type de stress est dû à une agression par un autre organisme : insectes, animal...Etc. (**ZHU, 2002**).

II- Le stress salin

Selon **HOPKINS (2003)**, le stress salin est un excès d'ions en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- . Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sels. Il réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes (**TREMBLIN, 2000**).

Plus la solution du sol est salée, plus la pression osmotique est élevée et plus il est difficile pour les racines d'extraire l'eau de la réserve du sol car la salinité modifie le potentiel osmotique de la solution du sol, lorsque la teneur en sels croit (**SONG *et al.*, 2005**).

Des concentrations excessives d'ions chlorures et sodium dans la solution du sol peuvent causer une toxicité dans la plante. Ces ions peuvent être absorbés soit par les racines soit par contact direct avec les feuilles. L'accumulation des ions toxiques Na^+ et Cl^- au niveau du mésophile des feuilles, affecte la croissance et le métabolisme de la plantes (**CHINNUSAMY et ZHU, 2004**). La présence de ces ions perturbe l'activité enzymatique cellulaire principalement dans les tissus photosynthétiques (**HASEGAWA *et al.*, 2000**).

La toxicité ionique peut être le résultat du remplacement de K^+ par Na^+ au niveau des sites actifs de protéines induisant aussi un changement des structures protéiques et enzymatiques (**CHINNUSAMY *et al.*, 2005**).

Aussi, Il y a lieu de noter que la forte salinité provoque un déséquilibre nutritionnel. Par exemples, l'utilisation efficace d'éléments nutritifs nécessaires en particulier le (K^+) et le (Ca^{2+}) qui peuvent être affaiblis dans les sols salins, en causant des déséquilibres tels que la réduction du rapport (K^+) / (Na^+) et la déficience des plantules en (Ca^{2+}), peuvent donc affecter plus loin leur croissance et leur productivité (**GREENWAY *et al.*, 2000**).

III- Origine de la salinisation des sols

Selon le processus de salinisation des sols on peut distinguer deux différents types de salinité :

III.1- La salinité primaire

La présence des roches salifères primaires in situ, favorisée par l'altération qui affecte les minéraux sodiques, potassiques et magnésiques, ce qui donne souvent des sels solubles en particulier les carbonatés et les bicarbonatés (**GAUCHER et BURDIN, 1974**).

III.2- La salinité secondaire.

Suite à des actions anthropiques telles que l'irrigation qui peut provoquer ce type de salinité, il y a lieu de signaler que la pratique de l'irrigation dans les régions arides et semi arides où l'eau est le facteur limitant, contribue à la salinité secondaire (**ROBERT, 1996**).

SERVAN et SERVAT (1966) notent que l'origine des sels est la décomposition des roches ignées et l'activité des volcans. Les ions sont ensuite libérés par les processus tels que l'hydratation, l'hydrolyse, l'oxydation et des réductions et échanges. Ces éléments sont :

- Les Anions tels que : le Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++}
- Les Cations tels que : Cl^{-2} , SO^2
- Autres éléments chimiques : Si, B, Se.

Selon **PHILIPPE (2001)**, trois processus sont responsables de la salinisation :

- **La salinisation** : Elle se produit lorsque la minéralisation de la solution du sol dépasse un certain seuil sous l'influence d'un mécanisme physique (évaporation, drainage interne insuffisant, altération de minéraux et accumulation).
- **La sodisation** : Ce processus se produit lorsque le complexe organo- minéral d'échange est progressivement saturé par l'ion Na^+ .
- **L'alcalisation** : C'est la libération de l'ion Na^+ dans la solution du sol, ce qui élève le pH et disperse les feuillets d'argile. Ce processus intervient lorsqu'un sol à complexe saturé en Na^+ se transforme physiquement suite aux réactions d'échange entre l'ion sodium et les protons au moment d'une humectation (**PHILIPPE et al. 2005**).

IV- Effet du stress salin sur les végétaux

IV.1- Effet sur la germination

La germination est régulée par les conditions environnementales et en particulier par la disponibilité de l'eau dans le sol et la présence de sel. Ainsi, la germination des graines est le stade le plus sensible aux stress salins et hydrique (**GRATTAN et al., 1999**).

On peut considérer que la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée. Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence du sel, la variation de l'équilibre hormonal (**DEBEZ et al., 2001**). Plusieurs auteurs ont montré un retard de la germination causé par la salinité chez plusieurs espèces où des travaux effectués sur des halophytes ont montré que l'effet inhibiteur du NaCl sur la germination serait essentiellement de nature osmotique, le sel empêchant l'imbibition de la graine (**GRATTAN et al., 1999**).

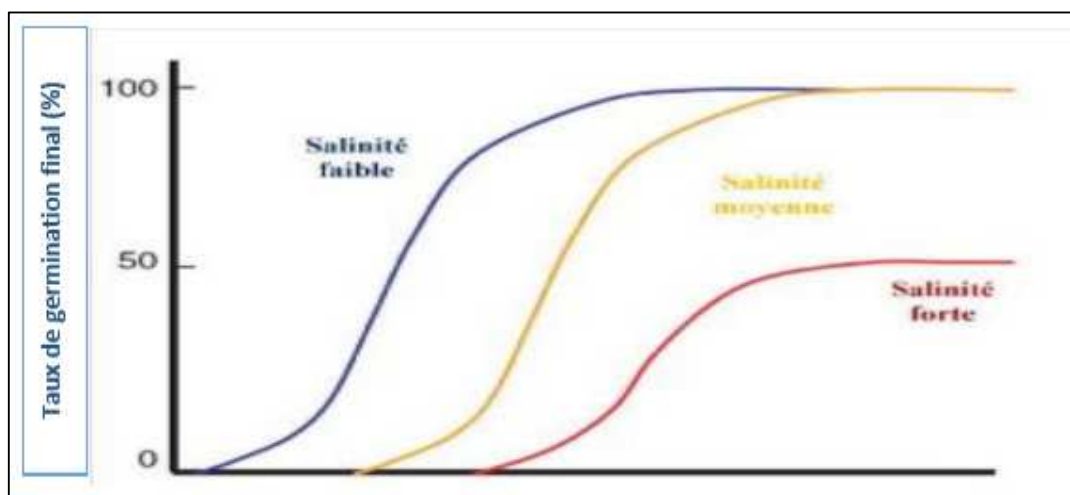


Figure N°1 : Diminution du pourcentage de germination avec l'augmentation de la salinité (GRATTAN et LAUCHLI, 2007).

IV.2- Effet du sel sur la morphologie des plantes

Le stress salin entraîne des modifications morphologiques mais c'est le poids de la matière sèche et la longueur des tiges qui représentent le mieux la tolérance ou la sensibilité des plantes aux sels (PARIDA et DAS, 2005).

La comparaison des plantes vivantes dans un milieu non salé et celles des milieux salés, montre que les fortes concentrations de sels solubles dans l'environnement racinaire provoquent la formation de plantes naines ainsi qu'une germination lente chez certaines espèces végétales (ELMEKKAOUI, 1987).

IV.3- Effet de la salinité sur la croissance et le développement

Les effets de la salinité sur la croissance des plantes varient en fonction du type de salinité, de la concentration du sel, de l'espèce, de la variété, de l'organe de la plante, ainsi que de son stade végétatif (LEVIGNERON et al. 1995). Les effets de la salinité se manifestent principalement par une diminution de la croissance de l'appareil végétatif, caractérisé par la faible ramification, le faible diamètre des organes, le nombre réduit des nœuds et les réductions du nombre de feuilles et de la longueur de la tige et par conséquent l'augmentation du rapport racine/tige (MELONI et al. 2001).

IV.4- Effet Sur les échanges gazeux et la photosynthèse

D'après ALEM *et al.*, (2002), la salinité affecte l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse, qui présente la cause principale de la réduction de la productivité végétale. Aussi, selon MUNNS (2008), la réduction de la photosynthèse est liée

à la diminution du potentiel hydrique foliaire, qui est à l'origine de la fermeture des stomates (ALLEN, 1995), qui cause la réduction de la conductance stomatique la diffusion du CO₂ à l'intérieur des stomates devient alors limitée et sa fixation au niveau des chloroplastes diminue par conséquent la régénération du RuBP (Ribulose Biphosphate) devient limitée

IV.5- Effet sur l'absorption d'eau et la transpiration

La diminution de la transpiration est due à l'augmentation de la résistance stomatique en présence de fortes concentrations de sels qui provoquent la dépendance de l'ABA (acide abscissique), cela implique l'accumulation des solutés organiques tel que la proline, les acides organiques, la glycine...etc. ; ou l'accumulation des ions minéraux (PARIDA et DAS, 2005).

Chez les plantes tolérantes à l'inverse des plantes sensibles, le Na⁺ est bien stocké dans la vacuole (CHEESMAN, 1988). Les plantes adaptées osmotiquement préservent leur turgescence et continuent leur croissance et à puiser l'eau en diminuant leur transpiration dans un sol salé (GALE, 1975 in HAMZA 1982).

V- Le comportement des plantes vis-à-vis de la salinité

Selon NIU *et al.* (2005) in KACI *et al.* (2012), les plantes se comportent comme suit :

V.1- Les halophytes vraies

Dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sels. Ces plantes présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par ces conditions : *Salicornia europaea*, *Sueda maritima*.

V.2- Les halophytes facultatives

Montrant une légère augmentation de la biomasse à des teneurs faibles en sels : *Plantago maritima*, *Aster tripolium*

V.3- Les non-halophytes résistantes

Supportant de faible concentration de sel : *Hordeum sp*

V.4- Les lycophytes

Sensibles à la présence de sel : *Phaseolus vulgaris*, *glycine max*

La figure qui suit montre production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité. Où :

A : Halophytes vraies ; B : Halophytes facultatives ; C : Non halophytes résistantes ;

D : Glycophytes.

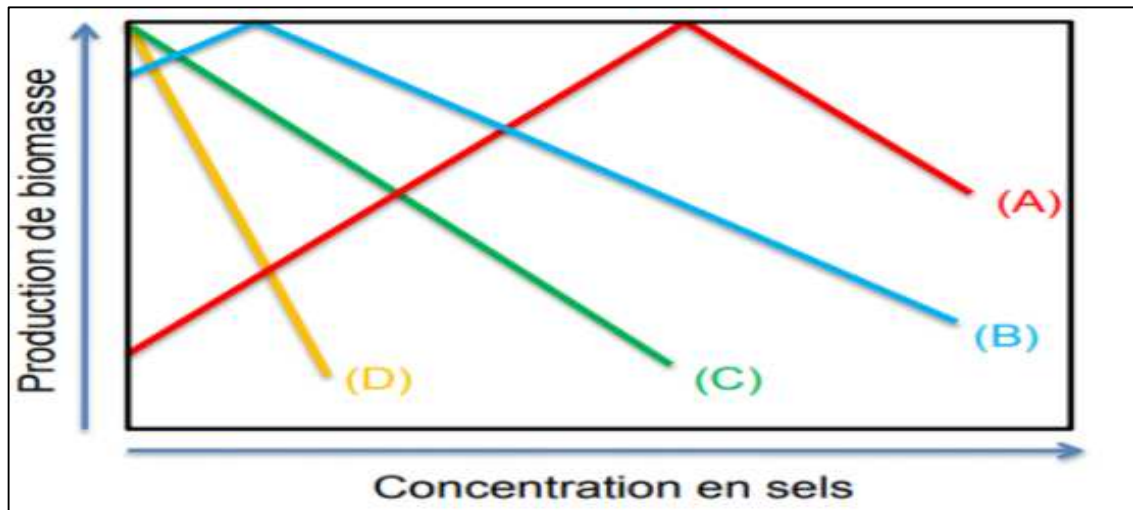


Figure N°2 : production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité

VI- Les Mécanismes d'adaptations des plantes

a. Ajustement osmotique

L'ajustement osmotique consiste à l'une des stratégies les plus importantes d'adaptation au stress salin et hydrique (YEO, 1983). Il se retrouve chez la grande majorité des organismes vivants pour le maintien de l'alimentation hydrique et la pression de turgescence (NIU et al., 1995). Ce processus se fait en modifiant les concentrations des solutés compatibles dans les tissus de façon à maintenir une concentration ionique plus élevée (hypertonique) dans le protoplasme que dans le milieu extérieur (HASEGAWA et al., 2000). Ces solutés compatibles ont une fonction osmoprotectrice et/ou osmorégulatrice, on retrouve parmi eux des éléments minéraux (tel que le K^+), des dérivés quaternaires d'acides aminées (tel que, glutamate, proline, glycine bêtaïne, β -alanine bêtaïne et proline bêtaïne), des composés de sulfonium (tel que, choline O-sulfate, propionate de diméthyle sulfonium), des sucres alcool ou polyols (tel que, glycérol et inositol), des sucres simples (tel que, tréhalose, fructose, glucose et saccharose) et des sucres complexes (tel que, trehalose, raffinose et fructans) (LEVITT et al., 1980).

b. L'accumulation de proline

De nombreuses études, sur les halophytes ont mis en évidence une accumulation d'acides aminés libres notamment la proline (HUBAC et al., 1969). Cette accumulation a été observée chez la pomme de terre, le tabac et le blé. La proline joue un rôle dans la résistance au stress

salin, dont l'accumulation cytoplasmique permet de neutraliser les effets ionique et osmotique de l'accumulation de sel dans la vacuole, Les teneurs en proline s'accroissent rapidement chez de nombreuses mono- ou dicotylédones soumises à un stress salin (**YOSHIBA et al., 1999**).

Cette augmentation de la concentration de proline cytoplasmique est consécutive à la stimulation de sa synthèse, résultant d'une élévation des quantités des messagers codant pour l'enzyme qui convertit le glutamate semi-aldéhyde en proline. Il existe deux voies de biosynthèse de la proline chez les plantes, celle de l'ornithine et celle du glutamate. Cette dernière semble être prédominante sous conditions de stress (**SILVA et al., 2008**).

Il semble que la stimulation de la synthèse de proline soit parallèle à une activation globale d'une voie métabolique partant du glutamate semi-aldéhyde et conduisant à la proline, mais aussi aux polyamines, via l'ornithine et l'arginine (**BARTELS, 2005 ; SUNKAR, 2005**).

c. Régulation de la croissance

D'après **ZHU (2001)**, la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour limiter les effets du stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles.

d. Exclusion des ions

Selon **SENTENAC et BERTHOMIEU (2003)**, la plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne de cellules de la racine. Cependant, cette barrière peut être interrompue, en particulier lors de l'émergence des ramifications de la racine. D'autres mécanismes limitent le passage de sel des racines vers les feuilles mais les gènes qui les gouvernent sont encore largement inconnus.

Il est aussi indiqué que la capacité d'exclusion de (Na⁺) et / ou (Cl⁻) des tiges est bien corrélée au degré de tolérance au sel. Le maintien d'une faible concentration de (Na⁺) dans les feuilles peut être dû à un mécanisme d'exclusion qui provoque une accumulation de (Na⁺) dans les racines, évitant une translocation excessive aux tiges ; mais, il peut être aussi lié à une mobilité élevée de cet élément dans le phloème. Cependant, certaines mesures physiologiques concordent pour suggérer l'existence d'une expulsion active du sodium cytoplasmique vers l'apoplasme ou vers la vacuole, protégeant ainsi les équipements enzymatiques du cytoplasme dans les organes aériens (**GREENWAY et MUNNS, 1980**).

e. Inclusion des ions

La plante retient le sel qui parvient aux feuilles au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de pompes moléculaires. Les vacuoles sont des compartiments fermés au sein de la cellule, le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (BERTHOMIEU *et al.*, 2003), ou excrété par des glandes vers l'extérieur (ALEM *et AMRI*, 2005).

f. Les Antioxydants

Une conséquence des stress environnementaux, comprenant le stress salin, est l'apparition du stress oxydatif (HERNANDEZ *et al.*, 2001), c'est-à-dire l'accumulation d'espèces réactives d'oxygène (ROS) à des concentrations élevées (AZEVEDO *et al.*, 2006), qui endommagent les structures cellulaires (SMIRNOFF, 1999 ; PARENT *et al.*, 2008). Ces derniers sont à l'origine du dysfonctionnement de l'appareil photosynthétique et les autres troubles métaboliques (RAHNAMA *et EBRAHIMZADEH*, 2005). La plupart d'entre eux sont des peroxydes d'hydrogène, des radicaux hydroxyles et des anions super-oxyde (AZEVEDO *et al.*, 2006).

La tolérance des plantes à la contrainte saline est fortement corrélée à leur capacité de synthèse des antioxydants nécessaire pour faire face au ROS et de maintenir leur concentration à faible niveau dans les cellules lors du stress (REDDYAR *et al.*, 2004).

Par ailleurs, DEMIRAL *et TURKAN* (2004), ont montré que les plantes ont développé des systèmes de défense antioxydants enzymatique et non enzymatique contre les radicaux libres en limitant leur génération.

g. Induction des hormones végétales

La concentration élevée du sel déclenche une augmentation dans les taux des hormones végétales, comme l'ABA et les cytokines. L'acide abscissique est responsable de l'altération des gènes induits par le stress salin. Les gènes inductibles de l'ABA sont prévus de jouer un rôle important dans le mécanisme de la tolérance au sel chez le riz. Il s'est avéré que l'ABA vient alléger l'effet inhibiteur du NaCl sur la photosynthèse, la croissance et la translocation des assimilés (PARIDA *et DAS*, 2005).

L'ABA favorise la fermeture des stomates en changeant le flux des ions dans les cellules de gardes sous les conditions de stress salin (CHEN *et al.*, 2001).

VII- Restauration et aménagement des sols salins**VII.1- Drainage**

Selon le **FAO**, le drainage est une technique de suppression naturelle ou artificielle des excès d'eau souterraine et de surface des sels dissous dans les terres afin d'améliorer la production agricole.

- Dans le cas du drainage naturel, l'excès d'eau s'évacue des champs jusqu'aux lacs, fleuves et rivières.
- Dans le système artificiel, l'excès d'eau souterraine ou de surface est éliminé par des canalisations souterraines ou de surface.

VII.2- Lessivage

Le lessivage est une technique à dissoudre les sels accumulés dans le sol par des apports d'eau importants et à les entrainer en dessous de la zone racinaire par le mouvement descendant de l'eau (**ANONYME, 2006**).

VII.3- Phytoremédiation

L'idée des plantes pour extraire les métaux lourds et leurs composants fut introduire en 1990 que le concept de la remédiation (bio et phyto) émerge comme une nouvelle technologie qui utilise les plantes vertes et des microorganismes associés (bactéries, champignons) pour le nettoyage d'un environnement pollué. La phyto-remédiation comprend plusieurs techniques : la phyto-extraction, la phyto-volatilisation, la phyto-stabilisation, la phyto-dégradation et la rhizo-filtration (**ABDELLY,2006**).

Plusieurs études ont identifié des espèces végétales hyper accumulatrices, principalement des halophytes très prometteuses pour le dessalement des sols salins. Cette capacité de dessalement a été principalement estimée par des mesures effectuées en sols salins et des expérimentations du sel par ces plantes. La comparaison de la salure des sols en début et à la fin de l'expérimentation a également montré l'aptitude des halophytes à extraire une quantité appréciable de sel (**ABDELLY,2006**).

Chapitre III

Généralités sur la technique
hydroponique

I. Historique et définition

La technique en hors sol a été introduite en Europe dans les années 70, appliquée à quelques cultures maraichères et florales sous serre. Elle s'est ensuite développée à un rythme rapide (**TITOUNA, 2011**).

La culture en hors sol a été initialement une technique de laboratoire visant à étudier en détail le fonctionnement des plantes.

En Algérie l'initiation à la culture hydroponique sur deux solanacées fruits (tomate, poivron) a pu mettre en évidence par les travaux de **DJOUDI** et **SNOUSSI** en 1979 et 1980 respectivement (**SNOUSSI, 1980**).

MORARD (1995) a défini les cultures hors sol comme des cultures des végétaux effectuant leur cycle de production complet sans que leur système racinaire ait été en contact avec leur environnement naturel, le sol.

Cette technologie de production végétale est caractérisée par une alimentation minérale des racines avec une solution nutritive qui ne nécessite pas de support solide. Si, par contre, un support est utilisé, celui-ci est qualifié du terme général de « substrat » (**TEXIER, 2013**).

En Algérie, la situation des cultures hydroponiques n'évolue guère si ce n'est qu'elle reste au stade expérimental dominé par quelques travaux de recherche. En Algérie, la première expérience de culture hors sol a été la mise en place d'un système hydroponique à Beni-Abbes, au Sahara. Le but de ces travaux portait exclusivement sur l'étude de substrats sableux locaux (**CHOUARD, 1961**).

Un bon support ne doit pas être contaminé par des pathogènes avant l'emploi ou en cours de culture. C'est une condition essentielle pour le réutiliser à la culture suivante. La désinfection du substrat entre deux cycles est de toute façon nécessaire pour se prémunir des attaques fongiques. Les matières actives utilisées pour le traitement de désinfection sont choisies en se référant à la législation en vigueur (**SERGE et JANICE, 2009**).

La nutrition de la plante est constituée par l'apport d'une solution nutritive contenant à l'état dissout tous les éléments minéraux dont la plante a besoin. Ce qui implique que les besoins en eau et les ions minéraux en parallèles.

Il y a un équilibre entre l'eau et chaque un des ions suivants les besoins relatifs de la plante, et aussi une égalité équivalente entre anions et cations (**BOUHADJA, 2008**).

On distingue deux principales catégories de nutriments :

- **Les sels minéraux** : azote (N), Phosphore (P), Potassium (K), Calcium (Ca), Chlore (Cl), Magnésium (Mg), Sodium (Na), Souffre (S), etc.

- **Les oligo-éléments :** fer (Fe), Cuivre (Cu), Brome (Br), Cobalt (Co), Zinc (Zn), Aluminium (Al), Silicium (Si), Manganèse (Mn), Molybdène (Mo), Sélénium, Vanadium, etc.

Des travaux de **LOUE (1986)**, montrent que le pH peut influencer d'une façon très marquée l'assimilabilité et l'absorption des oligo-éléments par les plantes. L'augmentation du pH réduit la solubilité et l'absorption de : Al, Co, Cu, Fe, Zn et plus particulièrement Mn et augmente celle de Mo.

Le pH est universellement reconnu comme un facteur majeur pour la mobilité des éléments traces et leur disponibilité vis-à-vis des êtres vivants. En cas de pH trop bas, d'autres éléments, comme le manganèse, l'aluminium et le fer, sont trop fortement absorbés par les plantes. Pour la plupart d'entre elle un empoisonnement surgit suite à l'absorption exagérée de ces éléments. D'autres plantes, en revanche, désirent une quantité importante de ces éléments (**BAIZE, 2004**).

La salinité d'un sol se caractérise par une conductivité électrique élevée. Cette dernière quantifie de manière indirecte et globale la concentration en sels solubles. La conductivité électrique s'exprime en millisiemens par centimètre (ms/cm) et elle est en fonction de la température (**RICHARD et GOUNY, 1965**).

II. Espèces cultivées en hors sol

Pratiquement, toutes les plantes peuvent être conduites en culture hors sol, mais les cultures légumières et les petits fruits sont principalement concernés. L'espèce majeure est la tomate suivie de la fraise qui a connu un très fort développement, du concombre, du poivron et de l'aubergine (**ALAIN, 2003**).

Aussi, dans un but expérimental, les arbres fruitiers sont conduits de cette manière pour étudier leurs besoins en éléments nutritifs, où les premiers essais remontent au début des années 80, d'abord sur œillets (à cause des fusarioses), puis sur gerberas et roses (**ALAIN, 2003**). Également, les travaux de (**TITOUNA, 2011**), montrent qu'on peut aussi cultiver des choses plus exotiques comme les orangers nains ou même les citrouilles, à condition d'assurer la présence d'un bon milieu et les nutriments nécessaires.

III. Les différents systèmes hydroponiques

III.1- Systèmes sans substrat (liquide de culture)

a- Aquiculture

La solution nutritive est contenue dans un bac. Elle demande une oxygénation complémentaire de la solution nutritive pour éviter l'asphyxie des racines, via l'utilisation

d'un procédé technique complexe. L'aquiculture reste de ce fait un système destiné à la recherche et peu développé dans la pratique (CERVANTES, 2012).



Figure N°3 : Système aquiculture

b- Technique du film nutritif (N.F.T.)

Cette technique a été développée au cours de la fin des années 1960 par le Dr. Allan Cooper à l'Institut de recherche des cultures sous serre à Littlehampton en Angleterre.

La NFT utilise une vaporisation constante d'eau pour fournir l'arrosage des nutriments nécessaires aux racines. En théorie, le fait d'offrir aux racines des conditions optimales permet d'obtenir une croissance plus rapide (TEXIER, 2014).

Un avantage principal du système NFT par rapport aux autres est qu'il nécessite moins de solution nutritive. Il est donc plus facile de chauffer la solution pendant l'hiver pour obtenir les températures optimales pour la croissance des racines et de la refroidir pendant les étés chauds dans les zones arides ou tropicales (TEXIER, 2014).

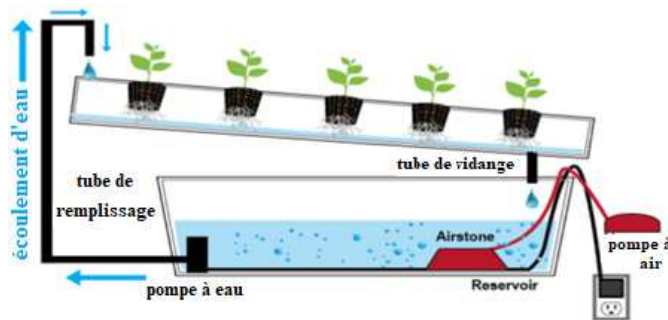


Figure N°4 : Système NFT

c- Aéroponie

Dans une application inhabituelle de la culture hydroponique de système fermé, les plantes sont cultivées dans des trous des panneaux de polystyrène expansé ou d'un autre matériau. Les racines des plantes sont mises en suspension dans l'air sous le panneau et enfermées dans une boîte de pulvérisation. La boîte est scellée afin que les racines soient dans l'obscurité (pour inhiber la croissance des algues) et de la saturation d'humidité (VUTH, 2008).

Un système de brumisation pulvérise la solution nutritive sur les racines périodiquement. Le système est normalement activé pour seulement quelques secondes toutes les 2-3 minutes.

Cela est suffisant pour maintenir les racines humides et la solution nutritive aérée. Ces systèmes ont été développés par Jensen en Arizona pour la laitue, les épinards, même les tomates, bien que ces derniers aient été jugés de n'être pas économiquement viables (JEANNEQUIN, 1987).

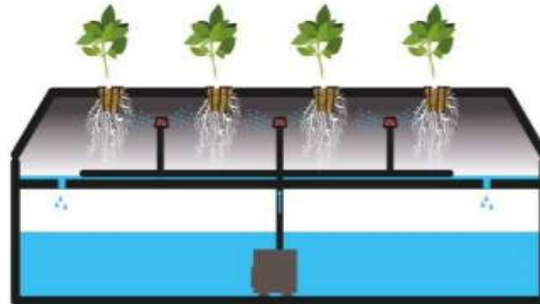


Figure N°5 : Système aéroponique.

III.2- Systèmes avec substrat

a- Système de goutte à goutte

Les systèmes goutte-à-goutte sont faciles à installer. L'eau est pompée dans un réservoir, généralement situé sous l'espace planté, jusqu'aux goutte-à-goutte, un pour chaque plant. Les plants eux-mêmes peuvent être installés dans les pots individuels ou sur un plateau commun. L'eau circule à travers les pots et revient dans le réservoir. La capacité du réservoir doit être d'environ 40 litres au mètre carré de plantation (ANONYME, 2012).

Les marques spécialisées dans l'hydroponie commercialisent un certain nombre de systèmes de goutte-à-goutte ingénieux. Certains d'entre eux réutilisent l'eau de chaque pot, avec un plant par pot. D'autres réutilisent l'eau d'un réservoir central. Les deux systèmes marchent bien. (ANONYME, 2012).

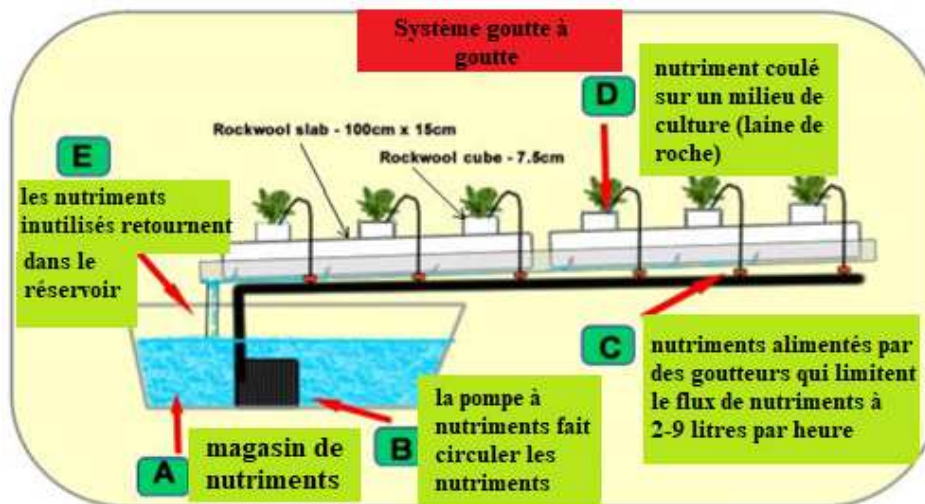


Figure N°6 : Système goutte à goutte

IV. Avantages et inconvénients des cultures hors sol**IV.1- Les Avantages des cultures hors sol**

Selon (ANONYME, 2014), les avantages des cultures hors sol sont classés à un ordre décroissant comme suit :

- Elimination des problèmes liés au sol.
- Economie d'eau et d'engrais minéraux.
- Simplification des techniques culturales.
- Gain en précocité.
- Produit de meilleure qualité.
- Augmentation de rendement.
- Meilleure productivité de la plante.

IV.2- Inconvénients et contraintes des cultures hors sol

- Coût d'installation et d'entretien élevé.
- Maitrise incomplète des déchets (rejet de solution nutritive, certains substrats non recyclables).
- Contraintes liées à l'irrigation et à la fertilisation.
- La limitation du système racinaire
- Les besoins instantanés en irrigation
- Le renouvellement fréquent de la solution fertilisante
- L'absence du pouvoir tampon
- Le niveau élevé des compétences et connaissances requises.

Chapitre IV

Généralités sur la tomate

I- Origine et importance de la tomate

La tomate est appréciée pour sa fraîcheur et constitue la base de toute sorte de plats, qu'elle soit crue ou cuite. Son utilisation en sauces est ancienne, en particulier en Italie. L'industrie de transformation propose des préparations nombreuses et variées, concentré, jus, tomates pelée, tomate concassée, etc. (BLANCARD *et al*, 2009).

La tomate est peu calorique, mais riche en pigments caroténoïdes tel que la provitamine A. Elle contient aussi du lycopène, un pigment naturel qui a des vertus anti oxydantes et donc, qui protège les tissus de la tomate. Elle contient aussi de la vitamine C (GRISSA, 2010).

Tableau N°3 : Composition chimique des fruits de la tomate (%)

Eau					95
Matière sèche totale	Matière sèche soluble	Sucres : glucose, fructose	55	79	5
		Acides : citrique, malique	12		
		Pigments caroténoïdes (pigments jaunes oranges (béta carotène= Provitamine A) ou rouges (lycoptène)	5		
		Composés volatils			
		Vitamines : vitamine C (18-25mg/100g de fruit frais) vitamine B, K, E			
	Matière sèche insoluble	Cellulose, matière pectique		21	

Source : (BLANCARD *et al*, 2009)

Le tableau suivant montre la composition chimique des fruits de la tomate en pourcentage dans 100g de produit consommable.

Tableau N°4: Apport nutritif de la tomate dans 100g de produit consommable.

	Crue	Pelée en conserve	Apports journaliers recommandés
Calories	19 kcal	17 kcal	
Protéines	0.8 g	0.9 g	
Glucides	3.5 g	3 g	
Lipides	0.3 g	0.1 g	
Fibres	1.2 g	1 g	30 g
Sodium	5 mg	101 mg	
Potassium	226 mg	239 mg	2000 mg
Provitamine A	600 µg	300 µg	4 800 µg
Vitamine C	18 mg	13 mg	80 mg
Vitamine B9	20 µg	11 µg	200 µg
Lycoptène	2 573 µg	4 088 µg	
Lutéine Zéaxanthine	123 µg	126 µg	

Source : (BLANCARD *et al*, 2009)

La tomate est (après la pomme de terre) le légume le plus consommé dans le monde. Elle est cultivée sous toutes les latitudes dans des conditions très variées (climats, modes de production...), ce qui démontre une grande plasticité originelle et témoigne l'efficacité du travail des sélectionneurs (DOMINIQUE *et al*, 2009).

En Algérie, la culture de la tomate occupe une place prépondérante dans l'économie agricole algérienne. Près de 33 000 ha sont consacrés annuellement à la culture de la tomate (maraichère et industrielle) ; donnant une production moyenne de 11 millions de quintaux et des rendements moyens d'environ 311 Qx/ha. Ces derniers demeurent faibles et assez éloignés de ceux enregistrés dans d'autres pays du bassin méditerranéen (Tunisie, Maroc, Espagne, France, Italie) producteurs de tomate, où les rendements varient entre 350 Qx/ha (SNOUSSI, 2010)

II- Présentation de la tomate

II.1- Description botanique de la plante

Selon SHANKARA (2005), la plante de tomate est une plante herbacée sensible au froid, vivace en climat chaud, généralement annuelle. C'est une plante à croissance indéterminée, mais il existe des variétés à croissance déterminée, c'est-à-dire dont la fonction

végétative, sur chaque tige, s'arrête précocement, puisque la tige se termine par un bouquet floral. La plante de la tomate comporte :

a. Système racinaire

Chez la tomate, le système racinaire est très puissant et ramifié sur les trente premiers centimètres. On dit que ce système racinaire est pivotant (ZIRI, 2011).

b. Tige

La tige est poilue, épaisse aux entre nœuds. On trouve deux sortes de poils sur la tige et les feuilles : des poils simples et des poils glanduleux qui contiennent une huile essentielle, qui donne l'odeur de la tomate et la coloration verte (CAUSSE *et al*, 2000).

c. Feuillage

Les feuilles sont composées de 5 à 7 folioles et sont alternées sur la tige. Elles sont persistantes. Les vieilles feuilles perdent leur pouvoir photosynthétique deviennent même nuisibles pour la plante, responsables du retard de croissance des fruits.

Les professionnels les coupent, ce qui est problématique en main d'œuvre puisque cette opération doit se renouveler toute les semaines (NAIKA *et al*, 2005).

d. Graine

La graine est petite (250 à 350 graines par gramme) et poilue ; sa germination est épigée. Après le stade cotylédonaire, la plante produit 7 à 14 feuilles composées avant de fleurir. (SHANKARA *et al.*, 2005)

e. Fleur

La fleur est hermaphrodite. Le pistil est entouré d'un cône de 5 à 7 étamines à déhiscence introrse et longitudinale. Les fleurs, à corolles soudées en forme d'étoile à cinq pointes sont jaune vives. Elles sont réunies en cymes et s'épanouissent de fin mai à septembre (NAIKA *et al*, 2005).

Chez les variétés à port indéterminé, chaque bouquet floral est séparé par 3 feuilles et la plante peut croître ainsi indéfiniment. Chez les variétés à port déterminé, les inflorescences sont séparées par deux feuilles, puis une feuille, avant de se retrouver en position terminale sur la tige. Selon NAIKA *et al* (2005), la Formule florale est :

5 sépales+ 5 pétales+ 5 étamines+ 2 carpelles

f. Fruit

Les fruits charnus sont des baies à 2 ou 3 loges, à graines très nombreuses. La taille va de quelques grammes (tomate groseille). La forme est généralement sphérique, plus ou moins aplatie, plus ou moins côtelée, mais il en existe en forme de cœur ou de poire (NAIKA *et al*, 2005).

g. Couleur

La couleur, d'abord verdâtre, vire généralement au rouge à maturité. Il en existe des blanches, des jaunes, des noires, des roses, des bleues, des violettes, des oranges et des bicolores (NAIKA *et al*, 2005).

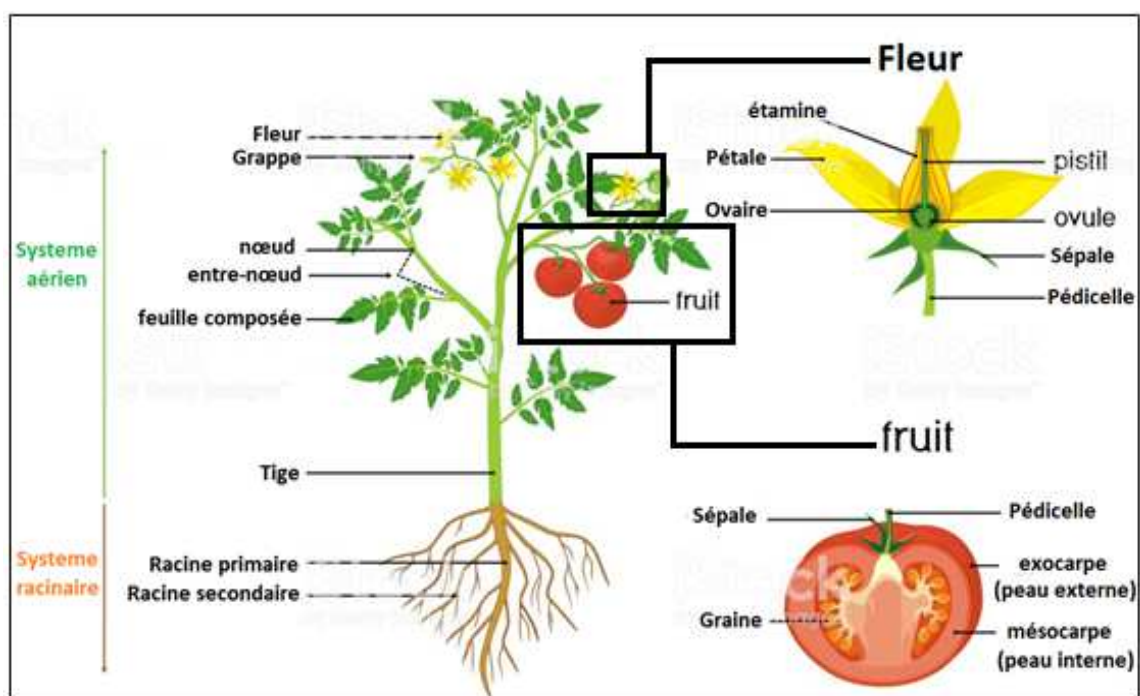


Figure N°7: description botanique de la tomate (BLANCARD *et al*, 2009)

II.2- Classification botanique de la plante

La tomate, dont l'appartenance à la famille des Solanacées avait été reconnue par les botanistes de la renaissance, a été classée scientifiquement dans le genre *Solanum*, avec comme nom binomial *Solanum lycopersicum* (LINNE, 1753).

La tomate *Solanum lycopersicum* est une plante de la famille des solanacées, comme la pomme de terre qui a la même origine géographique (JEAN-MARIE, 2007).

Tableau N°5: La classification systématique de *Solanum lycopersicum L.*

Règne	Plantae
Sous règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous classe	Asteridae
Ordre	Solanales
Famille	Solanaceae
Genre	Solanum
Espèce	<i>Solanum lycopersicum L.</i>

Source : (BENTON, 2008).

III- Les différentes variétés de tomate

Les variétés de la tomate sont très nombreuses. Elles peuvent être classées selon plusieurs critères :

III.1- Selon la croissance

Les différentes variétés de tomates sont classées selon deux types : déterminé et indéterminé, en fonction du développement de leur tige.

a- Variétés à croissance déterminée

Chez les variétés à croissance déterminée, la tige après avoir donné un faible nombre de bouquets, se termine elle-même par une inflorescence. Les pousses latérales se terminent également par une inflorescence. Les plantes ont un port buissonnant. Leur croissance est souvent compacte et la floraison se produit sur une période courte (POLESE, 2007).

b- Variétés à croissance indéterminée

Les variétés à croissance indéterminée présentent un nombre indéfini d'inflorescences sur la tige principale comme sur les tiges latérales. Cette croissance peut cependant être interrompue par des facteurs extérieurs comme le gel ou régulée en taillant les plantes (POLESE, 2007).

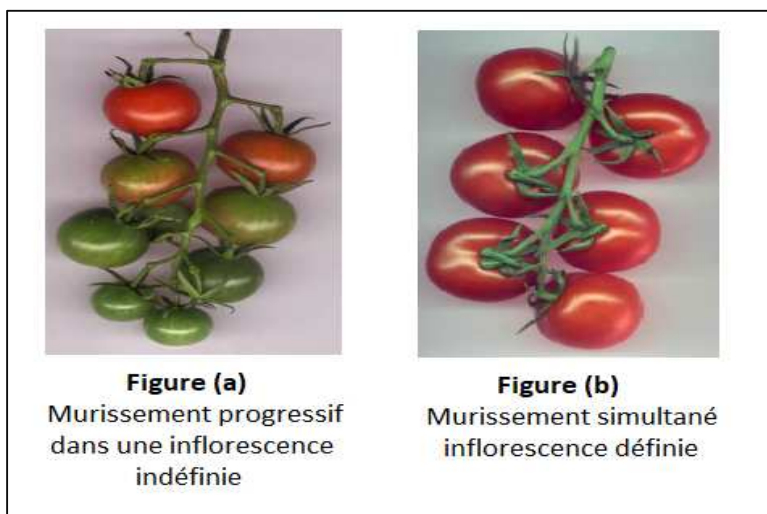


Figure N°8 : La différence entre les inflorescences (définie et indéfinie) (POLESE, 2007).

III.2- Selon la forme du fruit

Selon (LAUMONIER, 1979), Il existe de très nombreuses variétés de tomates, plus ou moins précoces, qui diffèrent par plusieurs critères :

- La taille : tomate cerise, tomate prune ou gros fruits.
- La forme : rond, allongé.
- La couleur : rouge, jaune, rose.
- La texture : plus ou moins charnue et juteuse.
- La fermeté : faible ou bonne tenue.

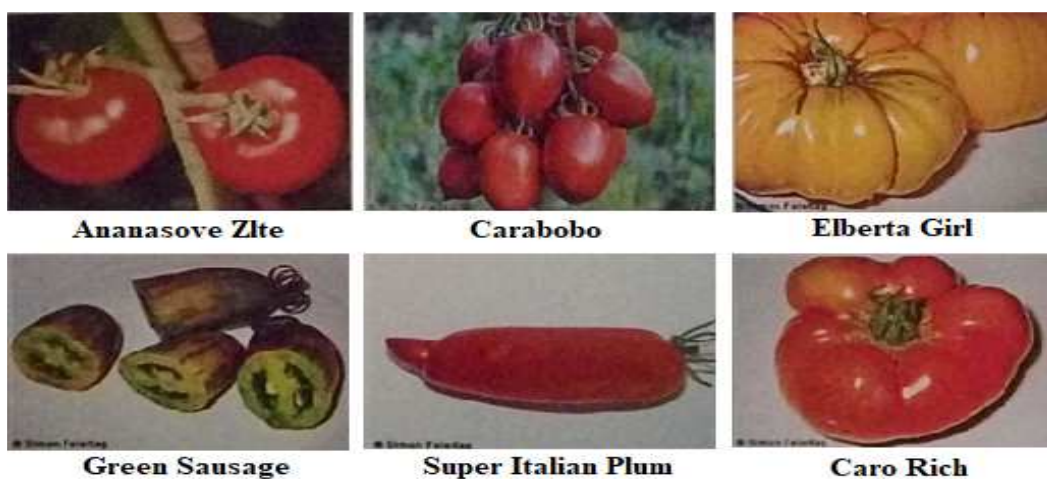


Figure N°9: Différentes variétés de tomate (LAUMONIER, 1979).

III.3- Selon les caractères génétiques

Il existe deux types de variétés (CAUSSE *et al.*, 2000)

- Les variétés fixées : dont les caractères génotypiques se transmettent pour les générations descendantes.
- Les hybrides F1 : du fait de l'effet hétérosis, elles présentent la faculté de réunir plusieurs caractères.

IV- Exigences de la tomate

IV.1- Température

La tomate exige un climat frais et sec où elle s'est adaptée à une grande diversité climatique et elle réagit aux variations de température durant tous sont cycle végétatif (SHANKARA *et al.*, 2005).

Tableau N°6: Températures requises pour les différentes phases de développement d'un pied de tomate.

Phases	Température (°C)		
	Min.	Intervalle optimale	Max.
Germination des graines	11	16-29	34
Croissance des semis	18	21-24	32
Mise à fruits	18	20-24	30
Développement de la couleur rouge	10	20-24	30

Source : (SHANKARA *et al.*, 2005)

IV.2- Eau

Selon ZIRI (2011) :

- L'alimentation hydrique est un facteur important du rendement et de qualité.
- L'alimentation en eau irrégulière entraine une nécrose apicale.
- L'irrigation :
 - Irrigation fréquente et légère suivie par un binage permet d'obtenir des rendements élevés.
 - Irrigations trop copieuses pendant la floraison provoque une chute de fleurs, retard de maturité.

IV.3 – Sol

Selon **SHANKARA *et al.* (2005)**, la tomate pousse bien sur la plupart des sols minéraux ayant une capacité de rétention de l'eau adéquate et sur les sols non salés.

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. Dans les sols d'argile lourde, un labour profond permettra une meilleure pénétration des racines (**ZIRI, 2011**).

V- Cycle végétatif de la tomate

D'après **GALLAIS et BENNERORT (1992)**, le cycle végétatif complet, du semis de la graine à l'obtention du fruit, varie selon les variétés, l'époque et les conditions de culture. Il 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).

Ce cycle comprend six phases qui sont les suivantes :

V.1- Germination

La germination est le stade de levée qui mène la graine jusqu'à la jeune plante capable de croître normalement (**CORBINEAU *et al.*, 2006**). La germination chez la tomate est épigée, à ce moment une température ambiante d'environ 20°C et une humidité relative de 70 à 80% sont nécessaires (**CHAUX et FOURY, 1994**).

V.2- Croissance

Selon **REY et COSTES (1965)**, la croissance d'un végétal est définie par une augmentation irréversible d'une ou de plusieurs de ses dimensions. Cette augmentation des dimensions se traduit par le développement de la plante à travers ses différents stades.

V.3- Floraison

C'est le développement des ébauches florales par transformation du méristème apical de l'état végétatif, à l'état reproducteur. A un certain moment de la croissance de la plante qui dure environ un mois, la tomate entre en parallèle avec la mise à fleur. Ces fleurs étaient auparavant des boutons floraux. La floraison dépend de la photopériode, de la température, celle-ci ne peut fleurir que si elle reçoit la lumière pendant une durée qui lui est propre et d'un apport équilibré en éléments nutritifs. (**GALLAIS et BENNERORT, 1992**).

V.4- Pollinisation

La pollinisation nécessite l'intervention des agents extérieurs, le vent ou certains insectes comme le bourdon qui est capable 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).

V.5- Fructification et nouaison

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).

V.6- Maturation du fruit

La maturation du fruit se caractérise par grossissement du fruit, changement de couleur, du vert ou 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).

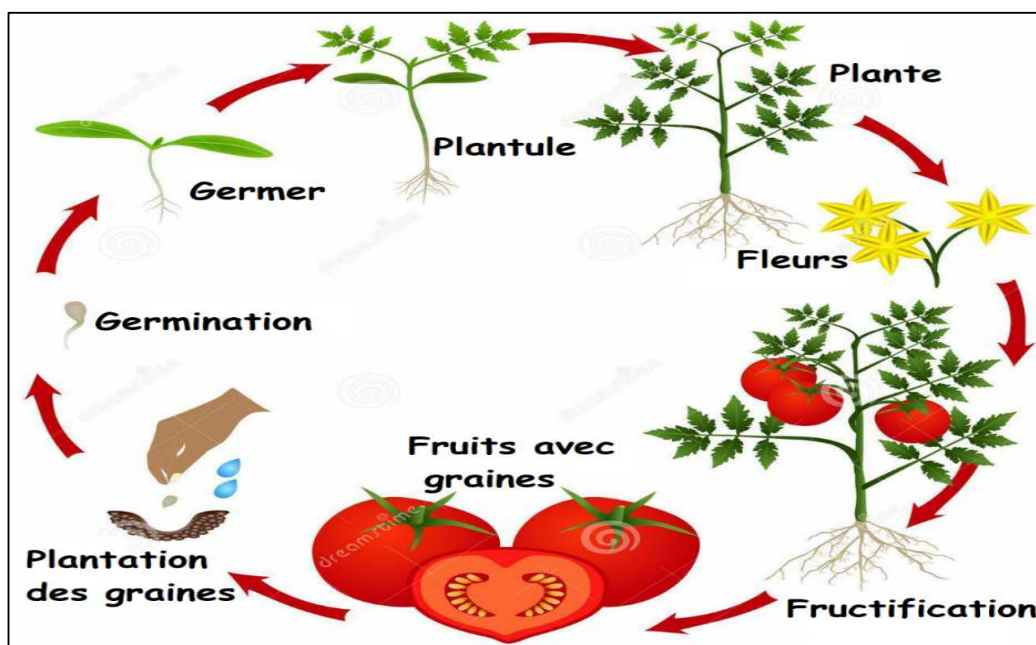


Figure N°10: les stades phénologiques de la tomate (source : <http://www.itcmidz>)

VI- Maladies et ravageurs de la tomate

Selon DOMINQUE *et al* (2009), la tomate peut être affectée par des stress abiotiques (stress hydrique, stress salin...) et des stress biotiques notamment les maladies cryptogamiques le mildiou, l'oïdium, le Botrytis... qui peuvent provoquer des dégâts considérables à la culture.

Le tableau suivant résume les différentes maladies de la tomate et leurs moyens de lutte préventive et biologique.

Tableau N°7 : les principales maladies de la tomate et leurs moyens de lutte préventive et biologique

Maladie	Symptômes	Lutte préventive	Traitement
<ul style="list-style-type: none"> - Mildiou - Phytophthora - Infestant 	<p>Feuilles : taches foliaires nécrotiques, surface inférieure un duvet blanc.</p> <p>Tige : grandes taches brunes.</p> <p>Fruits : plages marbrées brunes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser des plantes saines et variées. - Evités de planter trop serré. 	<p><u>Traiter par :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - 3 Xrin QLrtiIR - La bouillie bordelaise. - La bactérie <i>Bacillus subtilis</i>.
<ul style="list-style-type: none"> - Oïdium - Leveillula taurica 	<p>Feuilles</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Face supérieure :</u> Plages jaunes qui finissent par une nécrose au centre. - <u>Face inférieure :</u> Feutrage blanc. 	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliser des variétés moins sensibles. - Eviter les excès de l'azote. 	<p><u>Traiter par :</u></p> <p>Le mélange de purin de prêle et de tanaïs.</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Mosaïque de la tomate - Tabaco mosaic - Virus 	<p>Feuilles : basales s'enroulent en forme de cuillère.</p> <p>Fruit : taches arrondies jaunes ou</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Eviter de planter la tomate près de champ de tabac. - Lutter contre le Puceron qui transmet ces virus. 	

	oranges.	- Utiliser des semences saines. Ne pas planter la tomate près de champ de concombre.	Pas de lutte contre les virus, la lutte se fait contre l'agent vecteur (puceron).
- Filiformisme - Mosaïque et nécrose de tomate - Cucumber mosaic	Feuilles : elles sont totalement ou partiellement dépourvues de limbe. Elles prennent un aspect filiforme.		

Source : (MARCHAUX *et al*, 2008)

Partie expérimentale

Chapitre I

Matériels et méthodes

I. Objectif de l'expérience

L'objectif de notre travail est d'identifier l'impact du priming sur la croissance et le développement des plantes de tomate (*Solanum lycopersicum*) variété Marmande soumises à deux modes de culture : culture en condition de stress salin et culture en condition optimale et ce par le procédé hydroponique ou culture hors sol.

II. Matériel végétal utilisé

Nous avons entrepris le travail envisagé avec des semences de tomate (*Solanum lycopersicum*) variété Marmande. Les semences ont été ramenées de l'ITCMI- Institut Technique des cultures maraîchères et industrielles- de Staouali.

Notre travail a porté sur cette variété en raison d'une part de sa sensibilité moyenne à la salinité et sa bonne vigueur de l'autre part. La tomate présente un cycle de végétation compris entre 90 et 120 jours. Cette plante possède des feuilles alternes, longues de 10 à 25 cm, composées et comprennent de 5 à 7 folioles aux lobes très découpés.

III. Conditions expérimentales

III.1- lieu de l'expérimentation

Notre expérience s'est déroulée au niveau de la station expérimentale du département de biotechnologies de l'université de Blida1. Notre essai a été réalisé dans une serre en polycarbonate destinée à protéger du froid les plantes et à favoriser la croissance des cultures en créant des conditions climatiques plus favorables que le climat externe. L'orientation de cette serre est Nord-Sud. Elle est aérée grâce à des fenêtres placées latéralement de part et d'autre et chauffée en hiver grâce à des radiateurs à eau chaude.



Figure N°11 : Localisation du lieu de l'expérimentation.

III.2- Substrat

Durant cette expérience, nous avons utilisé un gravier roulé de rivière de diamètre de 3 à 8mm venant de la carrière de Chebli sise à 25Km d'Alger. Ce substrat est qualifié comme étant le meilleur pour assurer une bonne aération aux racines des plantes grâce à sa porosité. Ce gravier a subi une désinfection afin d'éviter tous les risques de contamination et ce par :

- Elimination des particules terreuses et des résidus organiques présents dans le gravier par un lavage à l'eau abondant.
- Remplissage des pots par le gravier lavé.
- Désinfection du gravier avec l'hypochlorite de sodium dilué.
- Rinçage abondant à l'eau afin d'éliminer toute trace d'hypochlorite de sodium jugée est très nuisible pour les jeunes plantules de la tomate.

III.3- conteneurs

Les conteneurs utilisés pour la plantation sont des pots en plastique de couleur marron, sombres évitant ainsi la formation des algues. La section est ronde et de capacité (1litre). Des trous de drainage sont percés dans le fond, afin d'évacuer l'eau d'arrosage excédentaire et d'éviter la pourriture des racines.

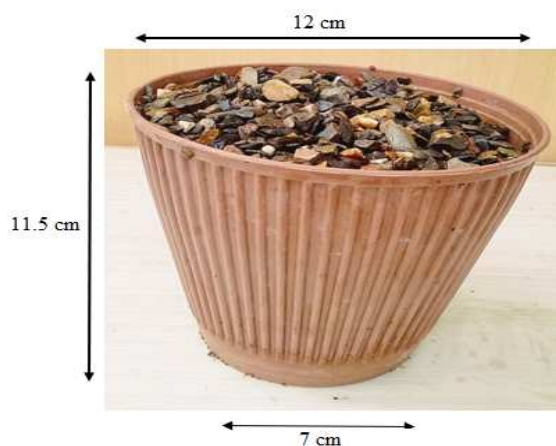


Figure N°12 : Aspect général des conteneurs.

III.4- Description des traitements

En cours de notre essai, nous avons envisagé de tester dix (10 traitements) selon quatre périodes de trempage (6h, 9h, 12h, 24h) dans différents milieux nutritifs (macroéléments et microéléments) respectivement comme suit :

La technique du trempage s'est faite pour tous les traitements mis à part le T0 où les graines ont été imbibées avec de l'eau de robinet et mises à germer directement dans l'étuve à 25°C.

Aussi, il y a lieu de préciser que les lots de graines issues des différents traitements testés de T1 à T10 ont été pesés avant l'opération trempage.

T0 : Témoin : imbibition des graines avec de l'eau de robinet.

T1 : Trempage des graines de tomate dans l'eau de robinet pendant 6h, 9h, 12h, 24h.

T2 : Trempage des graines de tomate dans l'eau distillée pendant 6h, 9h, 12h, 24h.

T3 : Trempage des graines de tomate dans KCl 1% pendant 6h, 9h, 12h, 24h.

T4 : Trempage des graines de tomate dans KCl 2% pendant 6h, 9h, 12h, 24h.

T5 : Trempage des graines de tomate dans CaCl₂ 0,5% pendant 6h, 9h, 12h, 24h.

T6 : Trempage des graines de tomate dans CaCl₂ 1% pendant 6h, 9h, 12h, 24h.

T7 : Trempage des graines de tomate dans ZnSO₄ 0,73% pendant 6h, 9h, 12h, 24h.

T8 : Trempage des graines de tomate dans ZnSO₄ 1,4% pendant 6h, 9h, 12h, 24h.

T9 : Trempage des graines de tomate dans PEG 600 (10Kp) pendant 6h, 9h, 12h, 24h.

T10 : Trempage des graines de tomate dans l'auxine pendant 6h, 9h, 12h, 24h.

IV- Lavage du gravier

Le lavage du gravier a été lavé et désinfecté avant son utilisation. Nous avons procédé comme suit :

- Diluer l'eau de javel : 1L d'eau de javel dans 20L d'eau.
- Lavage abondant du gravier à l'eau de robinet
- Lavage du gravier avec la solution javellisée préparée, laissé agir pendant 3 heures.
- Rincer abondamment à l'eau pour supprimer toutes traces d'eau de javel fortement nocive pour les jeunes plants de tomate



Figure N°13 : Dilution de l'eau de javel pour le lavage du gravier

V- Essai de la technique de priming

V.1- Essai de premier priming

Le priming des graines a été réalisé pour la première fois le 08/12/2019. Ce dernier consiste en un trempage des graines dans dix traitements qui ont été déjà cités précédemment et ce à différentes périodes à savoir (6h, 9h, 12h, 24h). Pour chaque traitement, il y a quatre répétitions où les graines ont été utilisées et mises dans des bocaux en plastique, à l'abri des agents atmosphériques.

Les boîtes de pétri des différents traitements ont été mises à l'abri pour leur séchage et ce jusqu'à l'obtention du poids sec initial avant l'opération trempage.

V.2- Choix des temps de priming

Les graines séchées des différents traitements sont mises en germination dans l'étuve à une température de 25°C.

Après le stade de germination et levée, il a été procédé selon les meilleurs résultats obtenus au niveau des différents traitements aux choix de la période de priming

Les critères de choix ont été basés sur :

- Le taux de germination.
- Poids frais des plantules.
- Le poids sec des jeunes plantules.
- La longueur des racines.

V.3- Paramètres mesurés avant l'application définitive de priming**a- Taux de germination**

Ce paramètre a été mesuré quotidiennement après la mise en germination dans l'étuve à 25°C, en calculant le nombre de graines germées par rapport au nombre total de graines mises dans chaque boîte.

b-Poids frais des plantules (g)

Après la phase de germination, le poids frais de jeunes plantules a été mesuré à l'aide d'une balance de précision en gramme (g).

c- Poids sec des jeunes plantules

Un séchage du poids frais des jeunes plantules était réalisé dans une étuve à 75°C jusqu'à stabilité du poids sec, et ce une balance de précision.

V.4- Application de priming

Après avoir identifié les meilleurs temps pour chaque traitement, on a réalisé le priming définitif le 30/01/2020 à raison de 24 graines pour chaque traitement y compris le témoin et ce pour les deux séries d'expériences, à savoir en condition de stress (culture dans une eau saline) et sans stress (culture dans une solution nutritive).

VI- Mise en germination définitive dans l'étuve

Après que les graines soient bien séchées, et ayant acquis leur poids initial avant trempage, elles ont été mises en germination définitive à l'étuve à 25°C, le 30/01/2020 Les boîtes de pétri tapissées de papier absorbant sont imbibées à l'eau distillée et ce pour tous les traitements testés

L'imbibition des graines dans l'étuve a duré huit jours.



Figure N°15 : Germination des graines dans l'étuve.

VII- Repiquage

Le repiquage des germes en place définitive dans des pots remplis de gravier a été réalisé le 08/02/2020 soit 08 jours après la mise à l'étuve, après que les graines de tomate aient germé et ce à raison de 3 germes par pot.



Figure N°16 : Repiquage des germes de tomate

VIII- Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté est un plan d'expérience à randomisation totale sans contrôle d'hétérogénéité. L'affectation des traitements a été faite de manière aléatoire selon la table de permutation des nombres aléatoire de 1 à 10.

Le plan à randomisation totale avec un seul facteur à étudier (solution nutritive) et à trois niveaux :

- Temps : 6h, 9h, 12h, 24h.
- Stress : avec stress ou sans stress.
- Priming : traitements.

L'ensemble du dispositif expérimental est composé de dix (10) traitements selon quatre périodes différentes (6h, 9h, 12h, 24h) dont un témoin (To), n'ayant pas subi de priming. Pour chaque traitement, nous avons six observations pour chacune des deux séries (série eau saline, série solution nutritive), soit 11 traitements (y compris To sans priming x 6 observations par traitement = 66 plantes par série, et 132 plantes au total pour les deux séries expérimentées.



Figure N°17 : Présentation du dispositif expérimental

To, T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9 et T10 : traitements.

P1, P2, P3, P4, P5, P6 : nombre de répétitions.



Figure N°18 : Vue générale du dispositif expérimental

IX- Description de la solution d'irrigation

L'irrigation des plantules de tomate a été réalisée selon les deux séries d'expérience retenues à savoir l'irrigation par une solution saline et l'irrigation par une solution nutritive.

IX.1- Préparation de la solution saline

Pour la préparation de la solution saline, on a reconstitué l'eau d'Oued Cheliff qui est naturellement saline avec l'eau de Blida et qui renferme des teneurs supérieures aux besoins de certaines espèces cultivées. On a ajouté des éléments manquants afin d'avoir un total anion et cation le plus proche possible de l'analyse initiale, tout en prenant en compte les éléments minéraux déjà présents dans l'eau de Blida.

Tableau N°9 : Quantité des sels minéraux de la solution saline préparée.

Solution saline	
Élément	Quantité (mg/l)
Na ₂ SO ₄	305.38
NaCl	251.29
CaCl ₂	474.14
MgSO ₄	529.93
MgCl ₂	315.11

IX.2- Préparation de la solution nutritive

Tableau N°10 : Besoins en éléments minéraux de la solution nutritive préparée.

Eléments	Concentration de la solution mère g/l	½ Strength Hoagland So ml. So mère/L
Macro- éléments		
KNO3	101.10	3
Ca (NO3) ₂	236.16	2
NH ₂ H3PO ₄	115.08	1
MgSO4	246.48	0.5
Micro-éléments		
H ₃ Bo3	0.773	1
MnSO4	0.169	1
ZnSO4	0.288	1
CuSO4	0.062	1
H2MoO ₄	0.04	1
Fe-EDTA	22.74	3
KCl	1.864	1

X- Différentes opérations d'entretien de la culture**X.1- Irrigation**

L'irrigation des jeunes plantules de tomate a commencé à la même date que le repiquage à savoir le 08/02/2020. Le système utilisé est celui de la percolation à circuit ouvert dont le but d'évacuation l'eau en excès. La fréquence d'irrigation s'est faite en fonction du cycle végétatif de la plante et les conditions microclimatiques ambiantes notamment la température. Les doses d'irrigation administrées étaient de 20 ml à 150 ml à raison de 2 à 4 fois par jours.

Le tableau suivant montre les différentes doses d'irrigation nécessaires pour la culture des tomates aux différents stades végétatifs (de la germination jusqu'au stade floraison).

Tableau N°11 : les différentes doses d'irrigation nécessaires pour la culture de tomate.

Dates	Différents stades	Dose d'irrigation	Fréquence	Apport journalier
08/02/2020 01/03/2020	De la germination au stade six feuilles	20 ml	2fois/ jour	40 ml/ jour
01/03/2020 21/03/2020	Du stade six feuilles au stade floraison	60 ml	3fois/ jour	180 ml/ jour



Figure N°19 : Irrigation des plantules de tomates avec une solution nutritive (20ml)

X.2- Lessivage

Lors de notre expérimentation, un lessivage abondant avec l'eau du robinet a été pratiqué chaque fin de semaine pour chacun des pots, et ce afin d'éviter l'accumulation des sels au fond des pots et d'éviter ainsi donc les concentrations initiales de départ.

XI- paramètres mesurés

Tout au long de l'expérimentation des paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques ont été mesurés lors des deux stades de coupes effectuées.

Tableau N°12 : Périodes de coupes effectuées sur les plantules de tomate.

Dates	Différentes coupes effectuées
<p>16/03/2020 37 jours après repiquage</p>	<p>Première coupe : Elimination de deux plantes de chaque traitement pour tout le dispositif expérimental</p>
<p>21/03/2020 42 jours après repiquage.</p>	<p>Deuxième coupe ou coupe finale : Elimination des tous les plantes</p>



Figure N°20 : coupe finale des plants de tomate (série plantes stressés).

XI.1- Paramètres morphologiques ou biométriques mesurés

a-La hauteur des plants

La mesure de la longueur des tiges a été réalisée tous le 3 jours à l'aide d'une règle graduée en centimètre (cm) du collet jusqu'à l'apex et ce dès l'apparition des vraies feuilles, c'est-à-dire à compter du 27/02/2020. Les mesures ont été faites sur tous les plants expérimentés (stressés ou non stressés) afin de voir le rythme de croissance des plantules.



Figure N°21 : Mesure de la longueur des tiges (cm).

b- Hauteur finale des plants et longueur des racines

Les mesures des hauteurs finales des tiges et des racines ont été mesurées au moment de chaque coupe à l'aide d'une règle graduée. Il est important de rappeler que les racines ont été soigneusement dégagées du substrat où elles étaient bien accrochées, afin de se rapprocher plus ou moins de la valeur réelle.

c- Surface foliaire

La surface foliaire a été mesurée à l'aide d'un logiciel Digimizer au moment de chaque coupe. Une feuille par plant a été prise, et ce à raison de trois répétitions pour chacun des traitements.

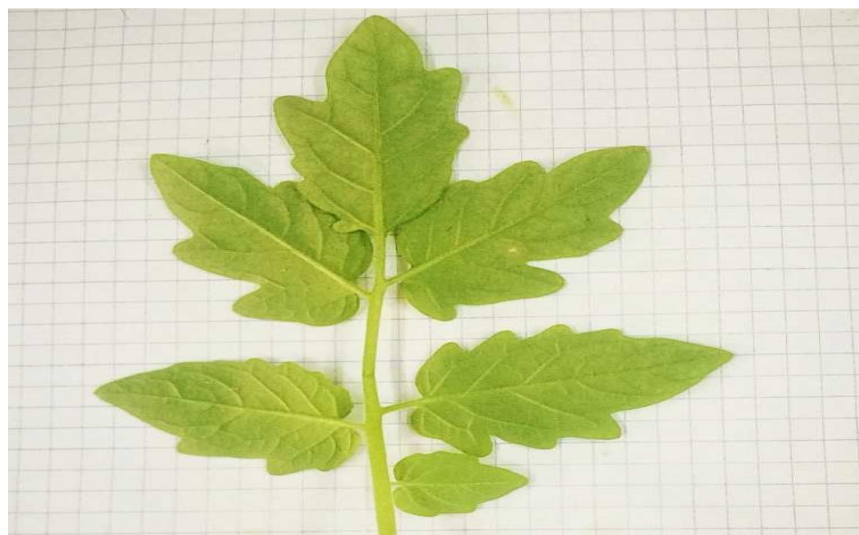


Figure N°22 : Mesure de la surface foliaire

d- Diamètre des tiges (cm)

Lors de chaque coupe, le diamètre des tiges a été mesuré grâce à un pied à coulisse en centimètre (cm) pour chaque traitement et ce au niveau de tous les plants expérimentés.

e- Biomasse fraîche produite (g)

La biomasse fraîche produite consiste à peser les différents organes de la plante en gramme au niveau de chaque traitement et ce pour tous les plants stressés et non stressés, à l'aide d'une balance. Les pesées ont porté sur le poids frais des feuilles, des tiges et des racines au moment de chaque coupe.

- Poids frais des feuilles en g.
- Poids frais des tiges en g.
- Poids frais des racines en g.



Figure N°23 : Organes des plants de tomate lors de la pesée

f- Biomasse sèche produite

La biomasse sèche a été mesurée après le dessèchement dans une étuve à 75°C jusqu'à stabilité du poids sec des feuilles, des tiges et des racines à l'aide d'une balance de précision en gramme (g). Le paramètre mesuré a été fait au niveau de chaque traitement et pour la totalité des plantes

- Poids sec des feuilles en g.
- Poids sec des tiges en g.
- Poids sec des racines en g.

XI.2- Paramètres physiologiques effectués

a- Teneur relative en eau

La teneur relative en eau a été mesurée au niveau des plants stressés et non stressés durant le stade végétatif sur les feuilles de tomate, en utilisant 3 répétitions pour chaque traitement afin d'évaluer l'état de l'eau de la plante. Le principe consiste à :

- Couper 0,1 g d'échantillon de feuille en morceaux.
- Ajouter à l'échantillon de feuille 5 ml d'eau distillée pendant 5 heures.
- Peser pour la détermination du poids complètement turgescents.
- Laisser sécher l'échantillon de feuille à l'étuve à 80°C jusqu'à stabilité du poids sec (le poids sec est mesuré à l'aide d'une balance de précision).
- La teneur relative en eau (RWC) a été déterminée à l'aide de la formule suivante (TURNER 1981) :

$$RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100$$

- FW : Poids frais.
- DW : poids sec.
- TW : poids turgescents.

XI.3- Paramètres biochimiques

a- Dosage de la chlorophylle a et b

La chlorophylle a et b a été déterminée durant les différents stades végétatifs pour les plants stressés et non stressés. Le principe consiste à :

- Extraire 0,1 g d'échantillon de feuille de chaque traitement.
- Plonger les échantillons de feuille dans 10 ml d'acétone (40%) pendant 48h.
- Laisser au réfrigérateur.

Les tubes à essai utilisés doivent être couverts pour éviter tout contact avec la lumière.

La teneur totale en chlorophylle a été déterminée par spectrophotométrie à 645 et 663nm (ARNON, 1949). La détermination des teneurs est réalisée selon les formules :

$$\text{Chl a } (\mu\text{g/g MF}) = 17,7 \times \text{DO}_{(663)} - 2,59 \times \text{DO}_{(645)} \text{ V} / (1000 \times \text{W}).$$

$$\text{Chl b } (\mu\text{g/g MF}) = 22,9 \times \text{DO}_{(645)} - 4,68 \times \text{DO}_{(663)} \text{ V} / (1000 \times \text{W}).$$

Où : V : volume de la solution extraite. W : poids de la matière fraîche de l'échantillon.

b-Dosage de la proline

La proline a été dosée selon la technique utilisée par **TROLL** et **LINDSLE** et simplifiée par **MONNEVEUX** et **NEMMAR (1986)**.

Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon, la méthode consiste à :

- Mettre 100mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai.
- Ajouter 2 ml de méthanol à 40%.
- Les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) sont portés à l'ébullition au bain-marie à 85°C pendant 60min.

Après refroidissement

- Prélever 1 ml de la solution de chaque tube.
- Mettre dans des nouveaux tubes.
- Ajouter 1 ml d'acide acétique + 25 mg de ninhydrine + 1 ml d'un mélange contenant : 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide orthophosphorique.
- Porter les tubes à essai à l'ébullition au bain-marie durant 30 min.

Après refroidissement des solutions

- Ajouter 5ml de toluène dans chaque tube.
- Après agitation au vortex deux phases apparaissent.
- Prélever la phase supérieure.
- Ajouter 5 mg de sulfate de sodium, laisser au repos pendant 48h.
- Procéder à la lecture de la densité optique des échantillons avec le spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528nm.

La détermination de la teneur de la proline est réalisée selon la formule :

$$\text{Proline } (\mu\text{g/ g MF}) = \text{DO } 528 \times 0,62$$

XII- Analyse des données

Les résultats obtenus ont été traités par analyse de la variance à deux facteurs avec le logiciel Statgraphics-Centurion XVI (version 16.1.18) et moyennes significativement différentes ont été séparées par le test de Fisher (LSD) au seuil de probabilité de 5%.

Chapitre II

Résultats et discussions

I- Aspect général des plantes de tomate

L'effet du priming et des différents traitements dans les deux milieux (solution saline et solution nutritive) sur les plantes de tomate *Solanum lycopersicum*, variété Marmande était bien remarquable durant notre expérimentation.



Figure N°24 : Aspect général des plantes de tomate.

La différence entre les deux séries a été bien distinguée, une observation globale des plantes nous a permis de tirer les résultats suivants :

- Les plantes n'ayant pas subi de stress salin et dont les graines ont été prétraitées par le T1, T2 et T5 sont les plus vigoureuses.
- Les plantes irriguées par la solution saline dont les graines ont été prétraitées par le T7 ainsi que le témoin To, sont moins vigoureuses.

II- Paramètres morphologiques mesurés

II.1- Diamètre moyen des tiges (mm)

Les résultats relatifs au diamètre des tiges des plantes de tomate sont représentés dans la figure 25.

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas une différence significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré pour les deux séries solution saline et nutritive ($p < 0,05$).

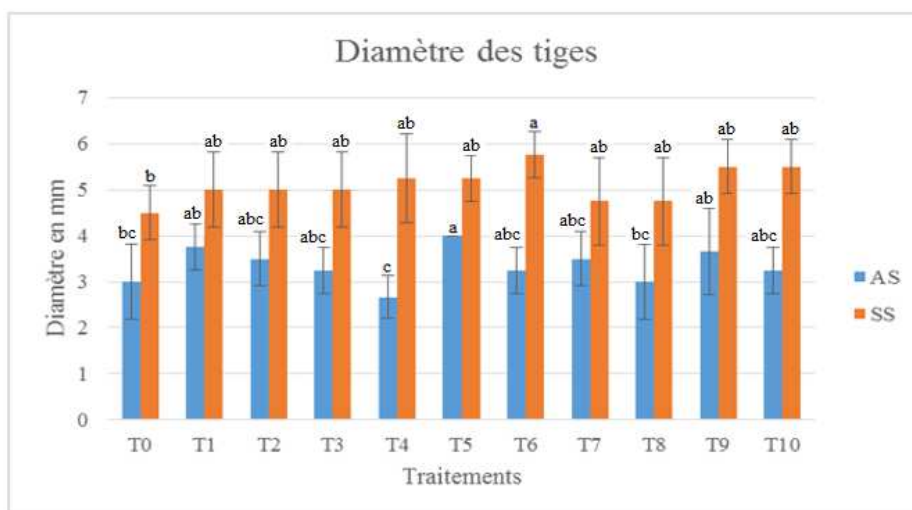


Figure N°25 : diamètre moyen des tiges des plantes de tomate en (mm).

Selon la méthode de LSD (95.0%) :

Pour le milieu sans stress (solution nutritive), les résultats montrent que le diamètre du T6 appartenant au groupe homogène (a) présente la valeur maximale de (5,75mm) suivi des traitements T1, T2, T3, T4, T5, T7, T8, T9 et T10 du groupe homogène (ab) avec une valeur comprise entre (5,5- 4,75mm), enfin le To (témoin) du groupe homogène (b) présente le diamètre minimal de (4,5mm).

Pour la solution saline (milieu avec stress), les résultats montrent que le diamètre du traitement T5 appartenant au groupe homogène (a) présente la valeur maximale (4,0mm) suivi des traitements To, T1, T2, T3, T6, T7, T8, T9, T10 appartenant aux trois groupes homogènes (ab), (abc), (bc) avec une valeur comprise entre (3,75- 3,0mm), enfin le traitement T4 du groupe homogène (c) a un diamètre de 2,66mm.

II.2- Hauteur finale des plantes (cm)

Les résultats relatifs à la hauteur finale des plantes de tomate sont représentés dans la figure 26.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0.05$) pour la solution nutritive seulement, par contre chez la solution saline il n'y a pas de différence significative.

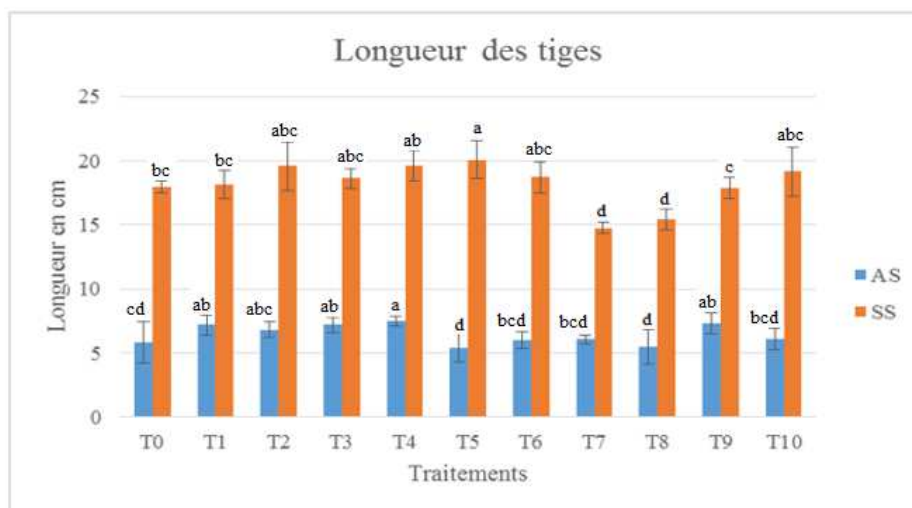


Figure N°26 : Longueur des tiges des plantes de tomate (cm).

Chez la solution nutritive, selon la méthode LSD (95.0%), les traitements testés sont classés en 6 groupes homogènes (a), (ab), (abc), (bc), (c) et (d). Le traitement T5 du groupe homogène (a) présente la valeur la plus élevée avec (20,05cm), suivi par les autres traitements qui ont des valeurs qui varient entre (19,60-15,425cm), enfin les traitements T7 et T8 appartenant au groupe homogène (d) présentent la valeur minimale de (14,75 et 15,425cm respectivement).

Chez la solution saline, selon la méthode LSD (95.0%), les traitements testés sont classés en 6 groupes homogènes (a), (ab), (abc), (bcd), (cd) et (d). Le traitement T4 du groupe homogène (a) présente la valeur maximale avec (7,5cm), suivi des autres traitements qui ont des valeurs qui varient entre (7,30-5,50cm) et une valeur minimale des traitements T5 et T8 du groupe homogène (d) de (5,36-5,5cm respectivement).

HUQ et LARTHER (1984) ont montré qu'en présence d'une concentration de 50mM de sel à une conductivité électrique de moins de 2Ds/m, la croissance est réduite à 50%.

Dans une autre étude **ZRIBI *et al.*, (1990)** ont précisé que durant les trois semaines qui suivent l'application de stress salin, la croissance, la conductance stomatique et le potentiel hydrique ont diminué progressivement avec l'augmentation de la salinité.

II.3- Nombre de feuilles

Les résultats relatifs au nombre de feuilles des plantes de tomate sont représentés dans la figure 27.

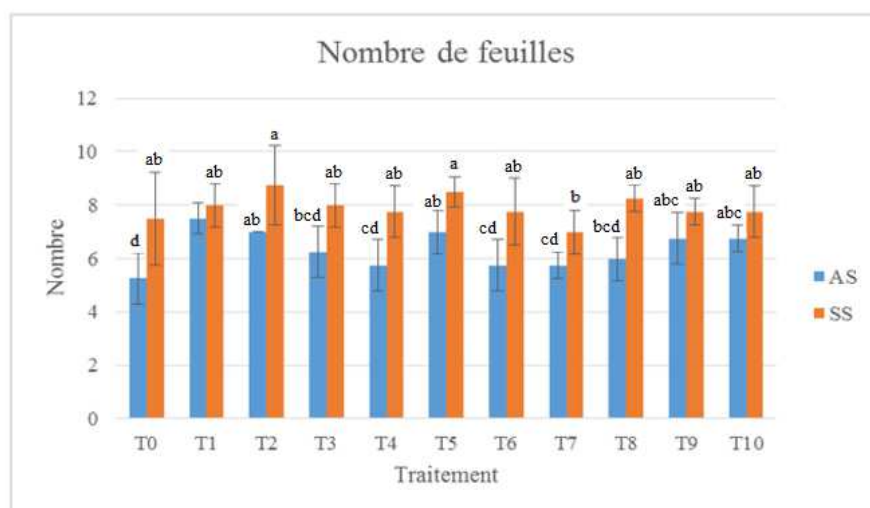


Figure N°27 : Nombre de feuilles des plantes de tomate.

Chez la solution saline

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré chez les plantes stressées ($p < 0.05$).

Selon la méthode de LSD (95.0%), les traitements testés sont classés en 6 groupes homogènes (a), (ab), (abc), (bcd), (cd) et (d) respectivement, le traitement T1 du groupe homogène (a) avec une valeur maximale de (7,5 feuilles) et le traitement T0 du groupe homogène (d) avec une valeur minimale de (5,25 feuilles). On a enregistré des valeurs comprises entre (5,75 et 7,0 feuilles) chez les autres traitements.

Chez la solution nutritive

L'analyse de la variance montre qu'il n'y a pas une différence significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré chez les plantes non stressées ($p < 0.05$).

Selon la méthode de LSD (95.0%), nous avons enregistré une valeur maximale de (8,75 et 8,5 feuilles) des traitements T2 et T5 appartenant au groupe homogène (a) et une valeur minimale de (7 feuilles) du traitement T7 du groupe homogène (b). Les autres traitements appartenant au groupe homogène (ab) ont donné des valeurs comprises entre (7,5- 8,25 feuilles).

L'inhibition de la croissance foliaire chez les plantes sensibles est la première réponse à l'excès de sel dans le milieu selon les travaux de **MUNNUS (2008)**.

II.4- Biomasse fraîche des feuilles des plantes

Les résultats relatifs à la hauteur finale des plantes de tomate sont représentés dans la figure 28.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré pour les deux milieux (solution saline et solution nutritive), ($p < 0.05$)

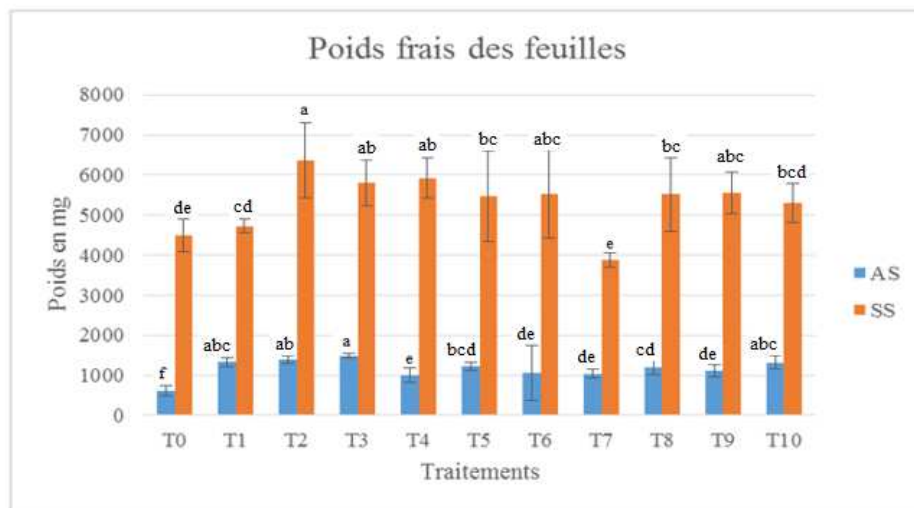


Figure N°28 : Biomasse fraîche des feuilles des plantes de tomate (g).

Chez la solution nutritive, on note que selon la méthode de LSD (95.0%), les traitements testés sont classés en 8 groupes homogènes (a), (ab), (abc), (bc), (bcd), (cd), (de) et (e) respectivement. On a enregistré une valeur maximale de (6,363 g) au niveau du traitement T2 du groupe homogène (a) et une valeur minimale de (3,870 g) au niveau du traitement T7 du groupe homogène (e). Les autres traitements ont donné des valeurs comprises entre (5,920 et 4,490 g).

Concernant la solution saline, selon la méthode de LSD (95.0%), les traitements testés sont classés en 8 groupes homogènes (a), (ab), (abc), (bcd), (cd), (de), (e) et (f) respectivement, une nette performance est enregistrée au niveau du traitement T3 avec (1,483 g), suivi des autres traitements où la valeur varie entre (0,996-1,400 g). Enfin, le témoin (To) présente la valeur minimale de (0,615 g).

Les résultats obtenus chez les plantes stressées ont été moins performants que ceux des plantes irriguées par la solution nutritive. Ceci à cause de l'effet du stress salin sur le développement des plantes de tomate.

En cas de stress induit par la salinité et lorsque les niveaux des sels augmentent dans les tissus foliaires, les performances photosynthétiques diminuent simultanément (MUNNUS, 2008).

II.5- Biomasse fraîche des tiges des plantes (g)

Les résultats relatifs à la biomasse fraîche des tiges des plantes de tomate sont représentés dans la figure 29.

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré pour les deux milieux (solution saline et solution nutritive), ($p < 0.05$).

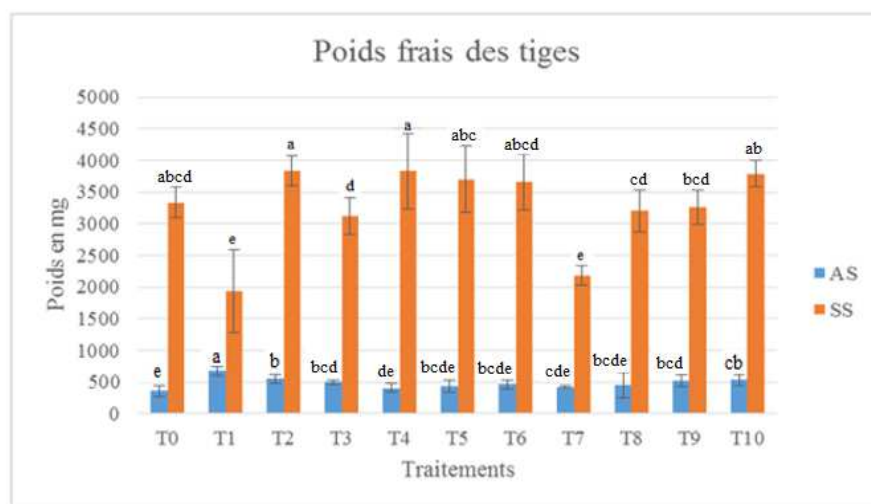


Figure N°29 : Biomasse fraîche des tiges des plantes de tomate (g).

La biomasse fraîche des tiges des plantes de tomate montre une différence nettement visible entre les résultats obtenus par la solution nutritive et ceux obtenus par la solution saline, dont les valeurs sont basses par rapport aux plantes n'ayant pas subi un stress salin.

Chez la solution nutritive et selon la méthode LSD (95.0%), les traitements testés sont classés en 8 groupes homogènes (a), (ab), (abc), (abcd), (bcd), (cd), (d) et (e). Les traitements T2 et T4 présentent les valeurs les plus élevées avec (3,837 et 3,830 g), suivis par les autres traitements qui ont des valeurs qui varient entre (3,791 et 3,120 g) et une valeur minimale des traitements T1 et T7 avec (2,185 et 1,940 g respectivement).

Lorsque les plantes sont stressées, selon la méthode de LSD (95.0%), les traitements testés sont classés en 8 groupes (a), (b), (bc), (bcd), (bcde), (cde), (de) et (e). Le traitement T1 présente la valeur maximale de (0,673), suivi des autres traitements qui ont des valeurs comprises entre (0,550 et 0,406 g) et une valeur minimale du témoin (T0) avec (0,375 g).

Conclusion

Selon les principaux résultats issus de notre travail de recherche, on peut conclure que la technique de priming des semences demeure une méthode physiologique qui améliore la production végétale en modulant les activités métaboliques de la germination avant l'émergence de la racine et pourrait représenter une méthode performante notamment chez (*Solanum lycopersicum*) et en particulier dans des conditions de stress salin.

Les paramètres morphologiques mesurés en cours de notre expérimentation ont révélé que les techniques de priming des semences effectuées avaient un rôle prépondérant au point de vue croissance et développement des plantes de tomate cultivées en hydroponie.

En ce qui concerne la hauteur finale des plantes de tomate en milieu salin, elle était plus faible par rapport aux plantes non stressées, se traduisant ainsi par une réduction de la hauteur de plantes due à l'effet néfaste du sel sur la croissance des plantes de tomate.

Il y a lieu de noter que les plantes issues du milieu nutritif enrichi de $ZnSO_4$ manifestent la croissance et le développement les plus perturbés et par conséquent les plus faibles.

Enfin, il a été constaté également que les plantes traitées par le $CaCl_2$ présentaient une croissance et un développement maximal, et de ce fait elles étaient les plus vigoureuses.

Il est souhaitable de confirmer ces résultats par d'autres essais complémentaires et dans les mêmes conditions (traitements, durées d'imbibition et périodes d'incubations dans l'étuve à 25°C).

Annexe

Annexe 1 : paramètres biométriques

Série solution nutritive (sans stress)

Tableau 1 : Analyse de la variance pour le diamètre moyen des tiges par traits AS (ANOVA)

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>CV %</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	5,87879	10	0,587879	1,57		0,1585
Intra-groupes	12,3333	33	0,373737			
Total (Corr.)	18,2121	43			19,4356	

Tableau 1.1 : Tests des étendues multiples de diamètre moyen des tiges par traits AS

Méthode : 95.0% LSD

<i>Trait AS</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T4	4	2,66667	c
T0	4	3,0	cb
T8	4	3,0	cb
T10	4	3,25	cba
T3	4	3,25	cba
T6	4	3,25	cba
T7	4	3,5	cba
T2	4	3,5	cba
T9	4	3,66667	ba
T1	4	3,75	ba
T5	4	4,0	a

Tableau 2 : analyse de la variance pour la hauteur finale des plantes par traits AS (ANOVA)

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>CV %</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	22,8834	10	2,28834	2,80		0,0130
Intra-groupes	26,115	32	0,816095			
Total (Corr.)	48,9985	42			16,6893	

Tableau 2.1 : tests des étendues multiples de la hauteur finale des plantes par traits AS

Méthode : LSD 95.0%

<i>Trait AS</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T5	3	5,36667	d
T8	4	5,5	d
T0	4	5,825	dc

T6	4	6,0	dcb
T7	4	6,065	dcb
T10	4	6,125	dcb
T2	4	6,8325	cba
T1	4	7,2	ba
T3	4	7,2	ba
T9	4	7,3	ba
T4	4	7,5	a

Tableau 3 : Analyse de la variance du nombre des feuilles des plantes par traits AS (ANOVA)

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>CV%</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	19,6364	10	1,96364	3,20		0,0056
Intra-groupes	20,25	33	0,613636			
Total (Corr.)	39,8864	43			15,1889	

Tableau 3.1 : Tests des étendues multiples du nombre de feuilles des plantes par traits AS

Méthode : LSD 95.0%

<i>Trait AS</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	4	5,25	d
T4	4	5,75	dc
T6	4	5,75	dc
T7	4	5,75	dc
T8	4	6,0	dcb
T3	4	6,25	dcb
T10	4	6,75	cba
T9	4	6,75	cba
T5	4	7,0	ba
T2	4	7,0	ba
T1	4	7,5	a

Tableau 4 : Analyse de la variance pour la biomasse fraîche des feuilles des plantes par traits AS (ANOVA)

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>CV%</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	2,27626E6	10	227626,	13,45		0,0000
Intra-groupes	558551,	33	16925,8			
Total (Corr.)	2,83481E6	43			22,1328	

Tableau 4.1 : Test des étendues multiples de la biomasse fraîche des feuilles des plantes par traits AS

Méthode : LSD 95.0%

<i>Trait AS</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	4	615,0	f
T4	4	996,5	e
T7	4	1035,0	ed
T6	4	1060,0	ed
T9	4	1118,25	ed
T8	4	1193,25	dc
T5	4	1220,0	dcb
T10	4	1316,5	cba
T1	4	1323,25	cba
T2	4	1400,0	ba
T3	4	1483,25	a

Tableau 5 : Analyse de la variance pour la biomasse fraîche des tiges des plantes par traits AS (ANOVA)

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	293748,	10	29374,8	4,28	0,0007
Intra-groupes	226561,	33	6865,47		
Total (Corr.)	520309,	43			

Tableau 5.1 : Tests des étendues multiples pour la biomasse fraîche des tiges des plantes par traits AS

Méthode : LSD 95.0%

<i>Trait AS</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	4	357,5	e
T4	4	406,25	ed
T7	4	420,0	edc
T5	4	440,0	edcb
T8	4	450,0	edcb
T6	4	462,5	edcb
T3	4	497,5	dcb
T9	4	520,0	dcb
T10	4	530,0	cb
T2	4	550,0	b
T1	4	673,25	a

Série solution saline

Tableau 6 : Analyse de la variance pour le diamètre moyen des tiges des plantes par traits SS (ANOVA)

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>CV%</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	5,68182	10	0,568182	1,12		0,3776
Intra-groupes	16,75	33	0,507576			
Total (Corr.)	22,4318	43			14,1243	

Tableau 6.1 : Tests des étendues multiples pour le diamètre moyen des tiges des plantes par traits SS

Méthode : LSD 95.0%

<i>Trait SS</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T0	4	4,5	b
T8	4	4,75	ba
T7	4	4,75	ba
T3	4	5,0	ba
T2	4	5,0	ba
T1	4	5,0	ba
T5	4	5,25	ba
T4	4	5,25	ba
T10	4	5,5	ba
T9	4	5,5	ba
T6	4	5,75	a

Tableau 7 : Analyse de la variance pour la hauteur finale des plantes par traits SS (ANOVA)

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>CV%</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	113,573	10	11,3573	7,77		0,0000
Intra-groupes	48,2528	33	1,46221			
Total (Corr.)	161,826	43			10,6815	

Tableau 7.1 : Test des étendues multiples pour la hauteur finale des plantes par traits SS

Méthode : LSD 95.0%

<i>Trait SS</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T7	4	14,75	d
T8	4	15,425	d

T9	4	17,85	c
T0	4	17,95	cb
T1	4	18,1	cb
T3	4	18,625	cba
T6	4	18,705	cba
T10	4	19,15	cba
T2	4	19,575	cba
T4	4	19,6	ba
T5	4	20,05	a

Tableau 8 : Analyse de la variance pour le nombre des feuilles des plantes par Trait SS (ANOVA)

	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>CV%</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	9,13636	10	0,913636	0,87		0,5657
Intra-groupes	34,5	33	1,04545			
Total (Corr.)	43,6364	43			12,7369	

Tableau 8.1 : Tests des étendues multiples pour le nombre des feuilles des plantes par Trait SS

Méthode : 95,0 % LSD

<i>Trait SS</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T7	4	7,0	b
T0	4	7,5	ba
T9	4	7,75	ba
T6	4	7,75	ba
T4	4	7,75	ba
T10	4	7,75	ba
T3	4	8,0	ba
T1	4	8,0	ba
T8	4	8,25	ba
T5	4	8,5	a
T2	4	8,75	a

Tableau 9 : Analyse de la variance pour la biomasse fraîche des feuilles des plantes par Trait SS de (ANOVA)

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>CV%</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	1,99618E7	10	1,99618E6	5,97		0,0000
Intra-groupes	1,10279E7	33	334179,			
Total (Corr.)	3,09897E7	43			15,955	

Tableau 9.1 : Tests des étendues multiples pour la biomasse fraîche des feuilles des plantes par Trait SS

Méthode : 95,0 % LSD

<i>Trait SS</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T7	4	3870,0	e
T0	4	4490,0	ed
T1	4	4720,0	dc
T10	4	5306,75	dcb
T5	4	5465,0	cb
T8	4	5510,0	cb
T6	4	5532,5	cba
T9	4	5543,25	cba
T3	4	5808,25	ba
T4	4	5920,0	ba
T2	4	6363,25	a

Tableau 10 : Analyse de la variance pour la biomasse fraîche des tiges des plantes par Trait SS (ANOVA)

<i>Source</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Ddl</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>CV%</i>	<i>Probabilité</i>
Inter-groupes	1,68957E7	10	1,68957E6	11,00		0,0000
Intra-groupes	5,07051E6	33	153652,			
Total (Corr.)	2,19662E7	43			21,9254	

Tableau 10.1 : Tests des étendues multiples pour la biomasse fraîche des tiges des plantes par Trait SS

Méthode : 95,0 % LSD

<i>Trait SS</i>	<i>Effectif</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Groupe homogène</i>
T1	4	1940,0	e
T7	4	2185,0	e
T3	4	3120,0	d
T8	4	3200,0	dc
T9	4	3257,5	dcb
T0	4	3333,5	dcba
T6	4	3660,0	dcba
T5	4	3703,75	cba
T10	4	3791,0	ba
T4	4	3830,0	a
T2	4	3837,5	a

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **ABDELLY C., 2006.** Caractérisation des halophytes pour le dessalement des sols salins et le traitement des eaux salines. Rapport d'activités 2007. Centre de biotechnologie à la techno pole de Bordj-Cedria, Tunisie, pp.28-31.
2. **ALAIN V, 2003.** Fondements et principes du hors sol : Doc V 3.1 HRS 12 Ind. 10p.
3. **ALEM C., et AMRI A., 2005.** Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Reviews in Biology and Biotechnology*, Vol.4, N°1, pp : 20-31.
4. **ALLEN R., 1995.** Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. *Plant Physiol.* 107 : 1049-1054.
5. **ANONYME, 2003.** Institut technique de grande culture « ITGC ». Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie, pp : 121-129.
6. **ANONYME, 2012.** Hydroponics manual, Abu Dhabi farmer's services centre. Technical development section, Protected Agriculture unit. 55P.
7. **ANONYME, 2014.** L'agriculture hors sol. Pour une agriculture saine, rentable et respectueuse de l'environnement. *Coco sol.* 64P.
8. **ASHRAF M., FOOLAD M R., 2007.** Pre-sowing seed treatment- a shotgun approach to improve germination, plant growth and crop yield under saliny and nutritif conditions. *Adv. Agron.*, 88 : 223-227.
9. **AZEVEDONETO A.D., PRICO J.T., ENEAS-FILHO J., BRAGA DE ABREU C.E., GOMES-FILHO E. (2006).** Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. *Environ. Exp. Bot.*, 56: 235–241.
10. **BAIZE D., 2004.** Guide des analyses en pédologie. 2ème édition. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris : 206- 207
11. **BASRA S.M.A., AFZAL I., ANWAR S., ANWAR-UL-HAQ M., SHAFQ M., MAJEED K., 2006.** Alleviation of salinity stress by seed invigoration technics in wheat (*Triticumaestivum L.*), *Seed Technology.*, 28 :36-46.
12. **BARTELS, D., AND SUNKAR, R. 2005.** Drought and salt tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* 24(1) : 23–58.

13. **BAYARD P., 1991.** Etude de la germination des semences de six espèces herbacées en fonction du régime hydrique, DEA d'agrochimie, Université de Grenoble I, 28p.
14. **BENTON J. (2008).** Tomato plant culture: In the field, Greenhouse, and home garden, deuxième édition. Edition: Taylor et Francis Group. New York. 399p.
15. **BISMILLAH KHAN M., HUSSAIN M., RAZA., FAROOQ S., JABRAN K., 2015.** Seed priming with CaCl₂ and ridge planting for improve drought resistance in maize. Turk J Agric For., 39 : 1405-1416.
16. **BLANCARD. D, LATERROT. H, MARCHOUX. G, 2009.** Les maladies de la tomate : identifier, connaître, maîtriser. Ed Quane, 690p.
17. **BOUCELHA L. et DJEBBAR R., 2019.** Synthèse sur le priming des graines. Université Des Sciences Et De Technologie Houari Boumediene (USTHB). Algérie, 6p.
18. **BOUHADJA H., 2008.** Amélioration et stimulation de la croissance végétative par le procédé fert-irrigation en arido-culture. Thèse de magistère INA (El Harrach), Alger, 40P.
19. **BRADFORD K.J., 1986.** Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. Hort Science., 21 : 1105-1112.
20. **CAUSSE, M., CARANTA, C., SALIBA-COLOMBANI, V., MORETTI, A., DAMIDAUX, R., ROUSSELLE, 2000.** Valorisation des ressources génétique de la tomate par l'utilisation de marqueurs moléculaires. Cahiers Agricultures 9: 197-210
21. **CERVANTES J., (2012).** Culture en intérieur. Mama Edition, 1 rue Pétion 75011 (France). P : 199-203.
22. **CHAUX C., et FOURY Y C., 1994.** Production légumière. Ed. JB. Baillière. 414P.
23. **CHEESEMAN J 1982.** Pump-leak sodium fluxes in low salt corn roots. J Membr Biol 70: 157-164.
24. **CHEN, S; LI, J; WANG, S; HUTTERMANN, A; ALTMAN, A. (2001).** Salt, nutrient uptake and transport, and ABA of *Populus euphratica*; a hybrid in response to increasing soil NaCl. Trees-Struct. Funct. 15:186-194.
25. **CHINNUSAMY V , 2004.** Molecular genetics perspectives on cross-talk and specificity in abiotic stress signalling in plants. J of Experimental Botany. pp225-236.
26. **CHOUARD P., 1952.** Les cultures sans sol. Ed maison rustique. Paris 200P.
27. **CORBINEAU F., OZBINGOL N., VINELAND D., COME D., 2000.** Improvement of tomato seed germination by osmopriming as related to energy metabolism. In Black M, Bradford KJ, Vasquez-Ramos J (Eds). Seed Biology Advances and Applications : Proceedings of the Sixth International Workshop on Seeds, Mérida, Mexico, 1999. New York, NY : CABI. 467-474.

28. **DEBEZ A., CHAIBI W., BOUZID S., 2001.** Effet du NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d'*Atriplexhalimus* L. Cahiers d'Etudes et de Recherches Francophones/Agricultures, Vol. 10, No. 2 : 135- 138.
29. **DEMIRAL T., TÜRKAN I. (2004).** Comparative lipid per- oxidation, antioxidant defence systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. Environ. Exp. Bot., 53: 247–257.
30. **DOMINQUE B, LATERRO H, MARCHOUX G, CANDRESS T, 2009.** Les maladies de la tomate : identifier, connaitre, maitriser. Ed. Que, p690.
31. **EL MEKKAOUI M., 1987.** Contribution à l'étude de la tolé- rance à la salinité chez le blé dur (*Triticumdurum* Desf.) et l'orge (*Hordeumvulgare* L.). Diplôme de DEA, Montpellier, p.55
32. **ESMAILI M.A., HEIDARZADE A., 2012.** Investigation of different osmopriming technics on seed and seedling properties of rice (*Oryza sativa*) genotypes. Int. Res. J. Appl. Basic Sci., 3(2) : 242-246.
33. **ESSADAOUI M, 2013.** Industrie agroalimentaire, bulletin édité par l'Institut Marocain de l'Information Scientifique et Technique IMIST, N°25. 34p.
34. **FAO., 2005.** Utilisation des engrais par culture en Algérie. FAO Rome, 61 p.
35. **FU J.R., LU X.H., CHEN R.Z., ZHANG B.Z., LIU Z.S., CAI D.Y., 1988.** Osmoconditioning of peanut (*Arachishypogaea* L.) seeds with PEG to imrove vigour and some biochemical activities. SeedSci. Technol., 16 : 197-212.
36. **GALLAIS A., BENNERORT H., 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées. Objectifs et critères de la sélection. INRA Editions, Versailles, 768p.
37. **GALLARDO K., JOB C., GROOT S.P.C., PUYPE M., DEMOL H., VANDEKERCKHOVE J., JOB D., 2001.** Proteomicanalysis of Arabidopsis seed germination and priming. Plant Physiol., 126 : 835-848.
38. **GAUCHER F., BURDIN S., 1974.** Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. Paris : PUF ; 234 p.
39. **GELORMINI G., 1995.** Optimisation des propriétés germinatives des graines de colza par initalisation : aspects méthodologiques et fondamentaux, Thèse nouveau doctorat, 171p.
40. **GHASSEMI-GOLEZANI K., CHADORDOOZ-JEDDI A., NASRULLAH ZADEH S., MOGHADDAM M., 2010.** Influence of hydropriming duration on fielded performance of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. African Journal of Agricultural Researc., 5(9) : 893-897.

41. **GRATTAN S. R. and GRIEVE C. M., 1999.** Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Sci. Hort.*, 78: 127-157.
42. **GREENWAY H., MUNNS R., 1980.** Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. *Ann. Rev. Plant Physiol* 31, p. 149–190.
43. **Grissa K., 2010.** Etude de base sur les cultures d'agrumes et de tomates en Tunisie, Regional Integrated Pest Management Program in the Near East GTFS /REM/ 070/ ITA, juillet – septembre 2010-92p.
44. **HAMZA M., 1982.** Adaptations physiologiques à la salinité des plantes cultivées *Bull.Soc. Ecophysiolo.* 7-2.169-184
45. **HASEGAWA P.M., BRESSAN., R.A., ZHU, J.-K. AND BOHNERT, H.J., 2000.** Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 51, 463-499.
46. **HARRIS D., RASHID A., HOLLINGTON PA., JASHI L., RICHES C., 2002.** Prospects of improving maize yields with « on farm » seed priming : In : Rajbhandari, N.P., Ransom J.K., ADIKHARI K., PALMER A.F.E (Eds.). Sustainable Maize production systems for Nepal. NARC and CIMMYT, Kathmandu. 180-185.
47. **HERNANDEZ JA, TALAVERA JM, MARTINEZ-GOMEZ P, DICENTA F, SEVILLA F., 2001.** Response of antioxidant enzymes to plum pox virus in two apricot cultivars. *Physiol Plant.* 2001;111:313– 321.
48. **HEYDECKER W., HIGGINS J., GULLIVER R. L., 1973.** Accelerated germination by osmotic seed treatment. *Natur.*, 246 : 42-44.
49. **HOPKIN W.G., 2003.** *Physiologie végétale – traduction de la 2ed.américane par serge rambour révision scientifique de Charles-Marie Evradr Boeck univ. Bruxelles.* p 445-460 49.
50. **HOSSEINZADEH-MAHOOTCHI A., GHASEMI-GOLEZANI K., ZEHTAB-SALMASI S., TOURCHI M., 2013.** Influence of seditivation and water supply on morpho-physiological traits of chickpea. *Int. J. Agron. Plant. Prod.*, 4(4) : 782-786.
51. **HUBAC C., GUERRIER D., FERRAN J., 1969.** Résistance à la sécheresse du *Carex pachystylis* J. Gay, plante du désert du Neguev. *Oecol. Plant.*, 4, 325-346.
52. **JEAN-MARIE P, 2007.** Culture des tomates. Ed. Arte, p92
53. **JEANNEQUIN, 1987.** Les cultures hors sol. Ed J.B INRA. 20P.
54. **KESTER S.T., GENEVE R.L., HOUTZ R.L., 1997.** Priming and accelerated ageing affect Lisoaspartylmethyl transferase activity in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seed. *J. Exp. Bot.*, 48(309) : 948-949.

55. **KHAN. AA., TAOKL., KNYPL JS., BORKOWSKA B., POWELL LE., 1978.**
Osmotic conditioning of seed : physiological and biochemical changes. *Acta Horticulturae* 83 : 267-278.
56. **KHEDDACHE A., 2005.** Endurcissement des graines de (*Cedrusaltantica Manetti*) en vue de sa régénération par semis en conditions de stress hydrique. Thèse de magister, Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 85p.
57. **KOUASSI S, 2009.** Culture hydroponique de la tomate, Fiche technico-économique. Génie Agro. BEREPA. 11p.
58. **LAUMONNIER R, 1979.** Cultures légumières et maraichère. Tome III. Ed. Bailliere, Paris. 279p.
59. **LEHMAN M., KOTREWA D., WYSS M., BRUGGER R., DARCY A., PASAMONTES L et VAN LOON A.P.G.M., 2000.** From DNA sequence to improved functionality : using protein sequence comparaisons to rapidly design a thermostable consensus phytase. *Protein Eng.*, 13, 49-57.
60. **LEVINGNERON A, LOPEZ F, VANSUYT G, BERTHOMIEU P, POUREROY P, CASSE-DELBART F, 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahier agricultures*, vol n° 4, pp. 263-273.
61. **LEVITT J., 1980.** Responses of Plant to Environmental Stress Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses, Academic Press, NewYork, 606p.
62. **LOUE. A., 1986.** Les oligo-éléments en agriculture. Ed. Agri-Nathan International. Paris. 339P.
63. **Marchaux G., Gogmalons P., Gebre K. et Coord. (2008).** Virus des solanacées : du génome viral à la protection des cultures. Edition : Quae. Paris. 896p.
64. **MEHRI S., 2015.** Effect of seed priming on Yield and Yield Components of Soybean. *Am-Euras. J. Agric. Environ. Sci.*, 15(3) : 399-403.
65. **MELONI. D.A., OLIVA. M.A., RUIZ. H.A., MARTINEZ. C.A., 2001.** Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *J. Plant Nutr.* 24, 599-612.
66. **MOOSAVI A., TAVAKKOL-AFSHARI R., SHARIF-ZADEH F., AYNEHABAND A., 2009.** Effect of seed priming on germination characteristics, polyphenoloxidase, and peroxidase activities of four amaranth cultivars. *Journal of Food, Agriculture and Environment.*, 7(3-4) : 353-358.
67. **MORARD., (1995).** Principles of Plant Nutrition- Dordrecht ; Boston : Kluwer Academic Publishers.

68. **MUNNUS R., 2008.** Sodium excluding genes from wheat and sea barley grass improves sodium exclusion of bread wheat. 2nd International Salinity Forum Salinity, water and society-global issues.
69. **NAIKA SH, GOFFO M, HILIMI M, 2005.** La culture des tomates : production, transformation et commercialisation, sponsorisé par PROTA, p105.
70. **NIU X., 1995.** Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant physiology*. 735-742.
71. **NIU X., RSESSAN R A., HASEGAWA P.M., PARDO J.M., 1995.** Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant physiology*. 109(3) : 735-742.
72. **PARIDA, A.K; DAS, A.B. (2005).** Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 60: 324-349.
73. **PARENT C.,2008.** Formes réactives de l'oxygène, stress et mort cellulaire chez les plantes. *C. R. Biologies* pp 255-261. polytechnique fédérale de Lausanne, 23 p.
74. **PESSON P et LOUVEAUX J, 1984.** Pollinisation et production végétales. Ed. INRA. 663p.
75. **PHELIPPE. D., 2001.** Introduction à la science du sol. Dunod, Paris, Pp: 263; 264; 265.
76. **PHILLIPS, J.R; OLIVER, M.J; BARTELS, D. (2005).** Molecular genetics of desiccation and tolerant systems. Dans *Desiccation and survival in plants: Drying without dying*. Sous la direction de M. Black et H. Pritchard. CAB International, Mol. Gen. Genet. 319-341.
77. **PILL WG., NECKER AD., 2001.** The effects of seed treatments on germination and establishment of Kentucky bluegrass (*Poa pratensis* L.). *Seed Sci. Technol.* 29 : 65-72.
78. **POLESE J-M. (2007).** La culture des tomates. Edition : Artémis. Chine, 95p.
79. **POWELL A.A., YULE L.J., JING H., GROOT S.P.C., BINO R.J., PRITCHARD H.W., 2000.** The influence of aerated hydration seed treatment on seed longevity as assessed by the viability equations. *Journal of Experimental Botany.*, 51 : 2031-2043.
80. **RAHNAMA H., EBRAHIMZADEH H. (2005).** The effect of NaCl on antioxidant enzyme activities.
81. **REDDY P., 2012.,** Biopriming of seeds. In : *Recent advances in crop protection*. Springer, New Delhi. 978-81-322-0723-8.
82. **REDDYAR et al., 2004.** Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J Plant Physiol* p161-1189-1202.
83. **Rey Y. et Costes C. (1965).** La physiologie de la tomate, étude bibliographique. Edition INRA.111p.

84. **RICHARD M. et COUNY P., 1965.** Contrôle de la salinité des sols, Ann. Agron., 16, 625-635.
85. **ROBERT M., 1996.** Le sol : interface dans l'environnement ressource pour le développement. Ed. Masson. Paris. 244p.
86. **SENTENAC H., BERTHOMIEU P., CONEJERO G., NUBLAT A., BRACKENBURY W.J., LAMBERT C., SAVIO C., UOZUMIN., OIKI S., YAMADA K., CELLIER F., GOSTI F., SIMONNEAU T., ESSAH P.A., TESTER M., VERY A.A., CASSE F., (2003).** Functional analysis of ATHKT1 in Arabidopsis shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. Embo Journal. 22 : 2004-2014. Biotechnology. 16 :123-132.
87. **SERGE S. et JANICE M., 2009.** Guide de la tomate hors sol à la réunion, CIRAD. France. 188P : www.cirad.fr/reunion.
88. **SERVANT (J.), SERVAT (E.), 1966.** Introduction à l'étude des sols salés du littoral du Languedoc-Roussillon. Annales Agronomiques ~01.17, no 1 : 53-73.
89. **Shankara, J., 2005.** Recombinant glutathione -S- transterase a major allergen form alternaria clinical use allergy patients. Molecular Immunology .43 (12) : 1927-1932.
90. **SILVA-ORTEGA, C.O; OCHOA-ALFARO, A.E REYES-AGUERO, J.A; AGUADO-SANTACRUZ, G.A; JIMENEZ-BREMONT, J.F. (2007).** Salt stress increases the expression of p5cs gene and induces proline accumulation in cactus pear. Plant Physiol. Biochem. 46(1): 82-92.
91. **SMIRNOFF N.,1995.** Tansley Review No. 52. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. New Phytol. 125 :27-58.
92. **SNOUSSI S A., HALITIM A., 1998.** Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. Etude et Gestion des sols. PP 289-298.
93. **SNOUSSI S A., 2011.** Valorisation des eaux salines pour la nutrition des plantes cultivées. Thèse de doctorat. INA El-Harrach. 152p.
94. **SONG J et al., 2005.** Strategies for Adaptation of Suaedaphysophora, Haloxylonammodendron and Haloxylonpersicum to a Saline Environment during Seed-Germination Stage. Annals of Botany.pp399-405.
95. **SUZUKI H., KHAN AA., 2001.** Effective temperatures and duration for seed humidification in snapbean (*Phaseolus vulgaris* L.). Seed Sci. Technol. 28 : 381-389.
96. **TAYLORA. G., HARMAN G.E. 1990.,** Concepts and technologies ef selected seed treatments. Ann. Rev. Phytopathol., 28 : 321-339.

97. **TEXIER W., (2013).** L'hydroponie pour tous. Mama éditions, 7 rue Pétion, 75011 Paris France. 13-20.
98. **TILAHUN-TADESSE F., NIGUSSIE-DECHASSA R., BAYU W., GEBEYEHU S., 2013.** Effect of hydropriming and pregerminating rice seed on the yield and terminal moisture stress mitigation of rain-fed lowland rice. Agriculture, Forestry and Fisheries., 2 : 89-97.
99. **TITOUNA D, 2011.** Etude numérique de la solution nutritive dans un milieu poreux : cas de la laine de roche floriculture et expert. Thèse de doctorat ès Sci ; Univ El HADJ LAKHDAR BATNA. 106p.
100. **TREMBLING G. ET COUDRET A., 1986.** Salinité, transpiration et échanges de CO₂ chez *Halopeplisamplexicaulis* (Vahl.). Ung. Plant. 7 (21) : 417-431.
101. **VARIER A., VARI A.K., DADLANI M., 2010.** The subcellular basis of seed priming. The authors are in the Indian Agricultural Research Institute. Current Science., 99(4-25) : 450-456.
102. **VINCENT G., 2008.** Adaptation des techniques hors-sol pour la production de fruits et légumes sur substrat en Valais. Office maraicher valaisan-Château neuf.16P.
103. **VUTH D, 2008.** Effets de l'environnement sur la croissance et l'accumulation de métabolites secondaires chez *DATURA INNOXIA MILL.* Cultivé en condition hors sol ; impact des facteurs biotiques et abiotiques. Thèse doctorat de l'INPL, science agronomie. Univ Iorraine. 237P.
104. **YARI L., AGHAALIKANI M., KHAZAEI G., 2010.,** Effect of seed priming duration and temperature on seed germination behavior of bread wheat (*Triticum aestivum L.*). Journal of Agricultural and Biological science., 5(1) : 1-6.
105. **ZIRI S, 2011.** Contribution à la lutte intégrée contre *tuta absoluta* sur tomate en plein champ. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de magistère en science agronomique, Ecole nationale supérieure agronomique El-harrach. 92p.