

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université de Blida
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biotechnologie et Agro-écologie
Laboratoire de Recherche de Biotechnologie des Productions Végétales

THESE

Pour l'obtention du Diplôme de
Doctorat D. LMD

Filière : Sciences Agronomiques
Spécialité : Eau, Environnement et Foresterie

Action combinée de la salinité / Acide salicylique Sur la germination et la croissance De quelques glycophytes cultivées

Présentée par :

Mokhtar BOUABDELLI

Soutenu le 24/02/2024.

Devant le jury composé de :

Président : Pr DJAZOULI ZAHR EDDINE Université de Blida1

Directeur de thèse : Pr SNOUSSI SID AHMED, Université de Blida1

Co-Directeur de thèse : Dr ZOUAOUI AHMED, MCA, Université de Blida1

Examineur : Pr BENCHABANE MESSAOUD Université de Blida1

Examinatrice : Dr ABIDI LILA . MCA. E.N.S.A El Harrach Alger

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

Tout d'abord, un immense merci au Professeur SNOUSSI SID AHMED pour son soutien, sa patience, sa disponibilité et ses précieux conseils. Merci pour le temps accordé aux nombreuses relectures, de m'avoir soutenu, aidé et d'avoir consacré autant de temps à m'expliquer mille et une choses, de m'avoir rassuré tout au long de la réalisation de la thèse, jusqu'à ce que ce travail arrive à son terme. Je ne pouvais avoir meilleur Directeur de thèse pour ce travail de recherche.

Je tiens également à remercier tout particulièrement toute l'équipe du laboratoire de recherche de Biotechnologie des Productions Végétales. Merci pour leur bonne humeur, leurs conseils, et leur positivité.

Merci également aux membres de mon jury, pour la lecture et l'analyse de cette thèse, et qui m'ont honoré de leur présence pour juger mon travail de recherche malgré leurs charges et occupations, qu'ils trouvent ici ma plus profonde gratitude.

Au président du jury : Pr DJAZOULI ZAH EDDINE de l'Université de Blida 1, d'avoir accepté de présider mon jury. A mes rapporteurs, Professeur BENCHABANE MESSAOUD de l'Université de Blida1 ainsi qu'au Dr ABIDI LILA de l'ENSA El Harrach Alger, ainsi qu'à mon Co-Directeur de thèse Dr ZOUZOU AHMED

Merci à mes parents qui m'ont toujours épaulé, écouté et accueilli durant toutes mes années d'étude.

Merci à mon épouse de m'avoir soutenue et rassurée dans mes moments de doute et de stress.

Merci à mon cher ami et cher frère Gouini Abdelkader pour son soutien et de sa présence permanente. Merci de m'avoir écouté parler de tomates, de haricot et de stress salin et de l'acide salicylique durant toutes ces dernières années.

Pour finir, je voudrais remercier tous les membres de ma famille qui m'ont soutenue durant ces longues années consacrées à la réalisation de cette thèse.

Résumé

L'étude a porté dans un premier temps sur la germination des graines de deux espèces à savoir la tomate (*Solanum Lycopersicum*), variété Saint Pierre, espèce moyennement sensible à la salinité, et le haricot (*Phaseolus vulgaris*) variété Contenter soumises à six traitements salins dont quatre renfermant de l'acide salicylique à 0,5 et 0,25mM, en comparaison avec un témoin (eau). Cette première expérience a permis d'apprécier les réponses physiologique et biochimique des graines de deux espèces étudiées à une action combinée de la phytohormone exogène et la salinité.

Nos observations indiquent que la réaction de la tomate à la salinité diffère par rapport au haricot et au temps de germination. La durée dans le temps en condition saline affaiblit beaucoup plus la vitesse de germination des graines de tomate par rapport à celle du haricot tout en retardant le processus de germination des graines des deux espèces, bien que le haricot montre une certaine tolérance par rapport à la tomate. L'effet conjugué salinité/AS agit sur les graines de tomate et de haricot avec des taux de germinations finales élevés, beaucoup plus chez le haricot que la tomate.

Aussi, Il y a lieu de noter que les graines des deux espèces exposées au milieu salin enrichi de NaCl avec acide salicylique à 0.25mM affichent des facultés germinatives les plus élevées avec des valeurs de 82.50% et 85%, notamment chez le haricot où l'on enregistre un accroissement de 41.1% par rapport à la tomate. De ce constat, on peut dire la salinité inhibe la germination des graines des deux espèces étudiées d'une part par la prévention de germination sans perte de viabilité supérieure par rapport à la salinité ; et d'autre part, par le retard de la germination des graines à des salinités qui causent les stress des graines, mais n'empêche pas la germination.

Concernant le second volet de l'étude qui a porté sur le comportement des deux espèces étudiées au stade adulte. Il en ressort que les plantes possèdent, naturellement, la capacité de faire face aux contraintes biotiques et abiotiques, y compris la salinité, qui leur causent des dégâts sur la croissance, le développement et la productivité. En réponse à ces conditions défavorables, beaucoup de réactions biochimiques et systémiques sont déclenchées dès que la menace est signalée.

L'AS exerce son influence sur des processus physiologiques et biochimiques comprenant la photosynthèse, la perméabilité de la membrane, l'activité enzymatique, la floraison, la

croissance et le développement des plantes

Cet impact négatif des eaux salines naturelles étudiées s'est vu améliorer au niveau des paramètres de croissance mesurés par l'introduction de l'acide salicylique notamment à la dose de 0.25Mm. D'autre part, les impacts de la salinité enregistrés révèlent, d'une façon générale, une bonne tolérance manifestée par les deux espèces dans le milieu enrichie en Na₂SO₄ comparativement au milieu enrichie en NaCl. Les résultats obtenus indiquent, en général, que la salinité exerce un effet dépressif considérable sur l'ensemble des paramètres de croissance étudiés, comparativement aux témoins des deux espèces testées. Il est à noter que l'effet conjugué Salinité/ Acide salicylique se traduit par une amélioration de la longueur de la tige chez les deux espèces, néanmoins à la concentration de 0.5mM d'AS du milieu enrichi en Na₂SO₄ semble être moins agressif que celui en NaCl chez les deux espèces.

Cette étude a montré que le stress salin s'est traduit par un allongement de la date d'apparition des premières fleurs et de la nouaison beaucoup plus marquée chez la tomate comparativement au haricot.

La composition chimique des milieux nutritifs ainsi que l'adjonction de l'acide salicylique influencent la vitesse de croissance, la hauteur des plantes, le diamètre des tiges, le nombre de feuilles, et le poids de matière fraîche totale produite.

Mots clés : tomate, haricot, salinité, germination, acide salicylique, valeur germinative , proline, chlorophylle, Indice de résistance à la salinité, contenu relatif en eau

SUMMARY

The study initially focused on the germination of seeds of two species, namely tomato (*Solanum Lycopersicum*), Saint Pierre variety, a species moderately sensitive to salinity, and bean (*Phaseolus vulgaris*), contenter variety, subjected to six treatments. Saline, four of which containing salicylic acid at 0.5 and 0.25 mM, in comparison with a control (water). This first experiment made it possible to assess the physiological and biochemical responses of the seeds of two species studied to a combined action of the exogenous phytohormone and salinity.

Our observations indicate that the response of tomato to salinity differs with respect to the bean and the germination time. The duration in saline condition weakens the germination rate of tomato seeds much more than that of beans while delaying the germination process of seeds of both species, although beans show some tolerance to salt tomato. The combined salinity/AS effect acts on tomato and bean seeds with high final germination rates, much more so in beans than in tomatoes.

Also, it should be noted that the seeds of the two species exposed to the saline medium enriched with NaCl with 0.25 mM salicylic acid display the highest germination capacities with values of 82.50% and 85%, especially in beans where we recorded an increase of 41.1% compared to the tomato. From this observation, we can say that salinity inhibits the germination of seeds of the two species studied on the one hand by preventing germination without loss of higher viability compared to salinity; and on the other hand, by delaying seed germination at salinities that cause seed stress but do not prevent germination.

Concerning the second part of the study, which focused on the behavior of the two species, studied at the adult stage. It appears that plants have, naturally, the ability to cope with biotic and abiotic constraints, including salinity, which cause damage to growth, development and productivity. In response to these adverse conditions, many biochemical and systemic reactions are triggered as soon as the threat is signaled.

SA exerts its influence on physiological and biochemical processes including photosynthesis, membrane permeability, enzyme activity, flowering, plant growth and development

This negative impact of the natural saline waters studied was improved in terms of growth parameters measured by the introduction of salicylic acid, in particular at a dose of 0.25 Mm. On the other hand, the impacts of salinity recorded reveal, in general, a good tolerance shown by the

two species in the medium enriched with Na₂SO₄ compared to the medium enriched with NaCl. The results obtained indicate, in general, that salinity exerts a considerable depressive effect on all the growth parameters studied, compared to the controls of the two species tested. It should be noted that the combined effect Salinity / Salicylic acid results in an improvement in the length of the stem in both species, nevertheless at the concentration of 0.5 mM of SA of the medium enriched with Na₂SO₄ seems to be less aggressive than that in NaCl in both species.

This study showed that salt stress resulted in an extension of the date of appearance of the first flowers and fruit set much more marked in tomato compared to beans.

The chemical composition of the nutrient media as well as the addition of salicylic acid influence the growth rate, plant height, stem diameter, number of leaves, and the weight of total fresh material produced.

Key words: tomato, bean, salinity, germination, salicylic acid, germination value, proline, chlorophyll, salinity resistance index, relative water content

المخلص

ركزت الدراسة في البداية على إنبات بذور نوعين، هما الطماطم (*Solanum Lycopersicum*)، صنف سان بيبير، وهو نوع حساس بدرجة متوسطة للملوحة، والفاصوليا (*Phaseolus vulgaris*)، صنف Contenter، خضعت لست معالجات. ملحي، أربعة من التي تحتوي على حمض الساليسيليك عند 0.5 و 0.25 ملي مول، بالمقارنة مع عنصر تحكم (ماء). أتاحت هذه التجربة الأولى تقييم الاستجابات الفسيولوجية والكيميائية الحيوية لبذور نوعين تمت دراستهما للعمل المشترك للهرمون النباتي الخارجي والملوحة.

تشير ملاحظتنا إلى أن استجابة الطماطم للملوحة تختلف باختلاف الفول ووقت الإنبات. تضعف المدة في حالة الملوحة معدل إنبات بذور الطماطم أكثر بكثير من الفول مع تأخير عملية إنبات البذور لكلا النوعين، على الرغم من أن الفاصوليا تظهر بعض التحمل للملح. الطماطم يؤثر تأثير الملوحة / SA على بذور الطماطم والفاصوليا مع معدلات إنبات نهائية عالية، أكثر بكثير في الفاصوليا منها في الطماطم.

وتجدر الإشارة أيضًا إلى أن بذور النوعين المعرضين لمحلول ملحي غني بكلوريد الصوديوم مع 0.25 ملي مولار من وتجدر الإشارة أيضًا إلى أن بذور النوعين المعرضين لمحلول ملحي غني بكلوريد الصوديوم مع 0.25 ملي مولار من حمض الساليسيليك تظهر أعلى قدرات إنبات بقيم 82.50% و 85%، خاصة في الفول حيث سجلنا ارتفاعًا في نسبة الإنبات. بنسبة 41.1% مقارنة بالطماطم. من خلال هذه الملاحظة يمكننا القول أن الملوحة تمنع إنبات بذور النوعين المدروسين من جهة من خلال منع الإنبات دون فقدان القدرة على البقاء مقارنة بالملوحة. ومن ناحية أخرى، عن طريق تأخير إنبات البذور في الملوحة التي تسبب إجهاد البذور ولكنها لا تمنع الإنبات

فيما يتعلق بالجزء الثاني من الدراسة والذي ركز على سلوك النوعين المدروسين في مرحلة البلوغ، حيث يبدو أن للنباتات، بشكل طبيعي، القدرة على التعامل مع القيود الحيوية وغير الحيوية بما في ذلك الملوحة التي تسبب ضرراً للنمو والتطور. والإنتاجية. استجابة لهذه الظروف المعاكسة، يتم تشغيل العديد من التفاعلات الكيميائية الحيوية والنظامية بمجرد الإشارة إلى التهديد.

تمارس SA تأثيرها على العمليات الفسيولوجية والكيميائية الحيوية بما في ذلك التمثيل الضوئي، نفاذية الغشاء، نشاط الإنزيم، الإزهار، نمو النبات وتطوره

تم تحسين هذا التأثير السلبي للمياه المالحة الطبيعية المدروسة من حيث معايير النمو المقاسة بإدخال حمض الساليسيليك، على وجه الخصوص بجرعة 0.25 مم. من ناحية أخرى، فإن تأثيرات الملوحة المسجلة تكشف بشكل عام عن تفاوت جيد أظهره النوعان في الوسط المخصب بـ Na_2SO_4 مقارنة بالوسط المخصب بـ NaCl. تشير النتائج التي تم الحصول عليها، بشكل عام، إلى أن الملوحة لها تأثير اكتنابي كبير على جميع معاملات النمو المدروسة، مقارنة مع ضوابط النوعين المختبرين. وتجدر الإشارة إلى أن التأثير المشترك للملوحة / حمض الساليسيليك يؤدي إلى تحسن في طول الساق في كلا النوعين، ومع ذلك، عند تركيز 0.5 ملي مولار من SA للوسط المخصب بـ Na_2SO_4 يبدو أنه أقل عدوانية من ذلك في كلوريد الصوديوم في كلا النوعين.

أظهرت هذه الدراسة أن الإجهاد الملحي أدى إلى إطالة تاريخ ظهور الأزهار الأولى وظهور الثمار أكثر بكثير في الطماطم مقارنة بالفاصوليا.

يؤثر التركيب الكيميائي لوسائط المغذيات بالإضافة إلى إضافة حمض الساليسيليك على معدل النمو وارتفاع النبات وقطر الساق وعدد الأوراق ووزن إجمالي المواد الطازجة المنتجة.

الكلمات المفتاحية: الطماطم، الفول، الملوحة، الإنبات، حمض الساليسيليك، قيمة الإنبات، البرولين، الكلوروفيل، مؤشر مقاومة الملوحة، المحتوى المائي النسبي

TABLE DES MATIERES

REMMERCIEMENRS	P1
RESUMES	P2-7
LISTE DES TABLEAUX	P13
LISTE DES FIGURES	P14
LISTE DES ABREVIATIONS	P15
INTRODUCTION	P16-19
PARTIE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	
Chapitre 1 : SALINITE ET STRESS SALIN	
1.1 Définition de la salinité	P21
1.2 Principaux sels solubles : carbonates, sulfates, chlorures	P21
1.3 Origine de la salinité	P21
1.3.1 salinité primaire	P22
1.3.2 salinité secondaire	P22
1.4 Salinité et stress	P22
1.4.1 Définition du stress	P22
1.4.2 Types de stress	P23
1.4.2.1 Stress biotique	P23
1.4.2.2 Stress abiotique	P23
1.4.2.3 Stress salin	P23
1.5 Effet de la salinité sur la physiologie de la plante.....	P24
1.5.1 Effets de la salinité sur la germination	P24-27
1.5.2 Effet de la salinité sur la croissance et le développement des plantes	P27-29
1.5.3 Effet de la salinité sur la photosynthèse	P29
1.5.4 Effet sur le rendement	P29
1.6 Mécanismes d'adaptation des plantes au stress salin	P29
1.6.1 Adaptation morphologique	P29-30
1.6.2 Adaptation physiologique	P30
1.7 Mécanisme de tolérance au stress salin	P30
1.7.1 Tolérance au stress osmotique	P30-31

1.7.2 Tolérance chez les plantes cultivées	P31-32
--------------------------------------------------	--------

Chapitre II : NOTIONS DE BASE SUR L'ACIDE SALICYLIQUE

2.1 Définition et historique	P32
2.2 Propriétés physico-chimique	P33
2.3 Rôle, biosynthèse et mode d'action de l'acide salicylique	P33-35
2.4 Effets de l'acide salicylique sur la plante	P35
2.4.1. Effets sur la germination	P36
2.4.2 Effets sur la croissance	P36
2.4.3 Effets sur la photosynthèse	P36
2.4.4 Effets sur le métabolisme de nitrate	P37
2.4.5 Effets sur la Floraison	P37

Chapitre III : IMPORTANCE DE LA TOMATE ET LE HARICOT VERT EN ALGERIE

3.1 Généralités sur la tomate maraichère	P38
3.2 Importance de la tomate maraichère en Algérie	P39
3.3 Valeur alimentaire et énergétique de la tomate	P39-41
3.4 Généralités sur le haricot vert	P41
3.5 Importance du haricot vert en Algérie	P42
3.6 Valeur alimentaire et énergétique du haricot vert	P43

PARTIE II : MATERIEL ET METHODES

2.1. Méthodologie du travail	P45
2.2. Matériel végétal utilisé	P45
2.3 Conditions expérimentales	P46
2.3.1 Lieu des expériences, substrat, containers	P46
2.3.2 Dispositifs expérimentaux mis en place pour l'essai plantes entières.....	P47-48
2.4 Expérimentation relative à l'essai germination des graines des deux espèces testées..	P48
2.4.1 Essai de germination des graines de tomate	P48
2.4.2 Essai de germination des graines de haricot	P48
2.4.3 Synthèse des traitements testés.	P48
2.4.3.1 Composition de l'eau saline utilisée	P48

2.4.3.2	Elaboration de deux séries de solutions d'irrigation.....	P49
2.4.3.3	Elaboration des traitements testés	P50
2.4.3.4	Préparation de l'acide salicylique	P50
2.5	Expérimentation relative aux plantes adultes de tomate et de haricot	P50
2.5.1	Traitements testés pour les plantes adultes	P51
2.5.1.1	Caractéristiques de l'eau utilisée pour la préparation des solutions nutritives et correction.	P51
2.5.1.2	Composition des solutions nutritives et techniques de préparation	P52
2.5.1.2.1	Formule de solution nutritive avec une eau naturelle peu chargée en ions : Cas de l'eau de Blida.....	P52-55
2.5.1.2.2	Formule de solution nutritive pour une eau naturelle chargée en ions : Cas de l'eau d'Oued Cheliff	P55-57
2.6	Entretiens des cultures	P57
2.6.1	Cas du Haricot.....	P57
2.6.2	Cas de la Tomate	P57
2.7	Paramètres étudiés	P58
2.7.1	Essai relatif à la germination des graines	P58
2.7.1.1	Taux de germination quotidien et final par traitement :	P58
2.7.1.2	Valeur germinative	P58
2.7.1.3	Cinétique de germination	P58
2.7.1.4	Vitesse de germination :	P58
2.7.2	Essai relatif aux plantes entières	P59
2.7.2.1	Mesures des paramètres biométriques	P59
2.7.2.1.1	Rythme de croissance des plantes :	P59
2.7.2.1.2	Hauteur finale des plantes :	P59
2.7.2.1.3	Diamètre des tiges :	P59
2.7.2.1.4	Nombre de feuilles par plante	P59
2.7.2.1.5	Surface foliaire :	P59
2.7.2.1.6	Biomasse fraîche produite :	P59
2.7.2.1.7	Biomasse sèche produite :	P60
2.7.2.1.8	Estimation de la floraison, et de la nouaison	P60
2.7.2.2	Dosages des paramètres physiologiques	P61

2.7.2.2.1 Contenu relatif en eau (RWC) en milieu non salin et salin	P61
2.7.2.2.2 Indice de tolérance à la salinité	P61
2.7.2.3 Dosage des paramètres biochimiques	P61
2.7.2.3.1 Dosage de la chlorophylle	P61-62
2.7.2.3.2 Dosage de la proline	P62
2.8. Analyse des données.	P63

PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Essai relatif à la germination des graines de tomate et de haricot	P65
3.1.1 Taux de germination quotidien par traitement	P65
3.1.1.1 Taux de germination quotidien de la tomate	P65-66
3.1.1.2 Taux de germination quotidien du haricot	P66-68
3.1.1.3 Valeur germinative	P68
3.1.1.3.1 Valeur germinative des graines de tomate	P68-70
3.1.1.3.2 Valeur germinative des graines de haricot	P71
3.1.1.3.3 Synthèse sur la valeur germinative des graines de tomate et de haricot.....	P71
3.1.1.4 Vitesse de germination :	P72
3.1.1.4.1 Vitesse de germination des graines de tomate	P72-73
3.1.1.4.2 Vitesse de germination des graines de haricot	P73-74
DISCUSSION ET CONCLUSION :	P74-78
3.2 Essai relatif aux plantes entières.....	P78
3.2.1 Mesures des paramètres biométriques	P78
3.2.1.1 Rythme de croissance des plantes de tomate et de haricot	P78
3.2.1.1.1 Rythme de croissance des plantes de tomate	P78-79
3.2.1.1.2 Rythme de croissance des plantes de haricot	P80-81
3.2.1.2 Hauteur finale des plantes de tomate et de haricot (cm)	P81-82
3.2.1.3 Diamètre des tiges (cm)	P82-83
3.2.1.4 Nombre de feuilles par plante	P84-85
3.2.1.5 Surface foliaire	P85-87
3.2.1.6 Biomasse fraîche totale produite : (feuilles + tiges) g	P87-89
3.2.1.7 Impact de la salinité sur l'estimation de la floraison et de la nouaison %..	P89-91
DISCUSSION ET CONCLUSION	P91-93

3.2.2 Paramètres physiologiques	P94
3.2.2.1 Contenu relatif en eau (RWC) en milieu non salin et salin de la tomate en %	P94-95
3.2.2.2 Indice de tolérance à la salinité	P96-97
DISCUSSION ET CONCLUSION	P97-100
3.2.3 Paramètres biochimiques	P100
3.2.3.1 Dosage de la chlorophylle a et b en chez la tomate et le haricot en%	P101-102
3.2.3.2 Teneur en chlorophylle B des deux espèces étudiées.....	P102-103
3.2.3.3. Dosage de la proline dans les feuilles en %	P102-104
DISCUSSION ET CONCLUSION	P104-106
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	P106-109
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	P111-140
ANNEXE	

LISTE DES TABLEAUX

- **Tableau 1** : Production de la tomate maraichère en AlgérieP38
- **Tableau 2** : Valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de tomate crue.....P39
- **Tableau 3** : Composition en vitamines pour 100g de tomate crue P40
- **Tableau 4** : Composition en minéraux pour 100g de tomate crueP40-41
- **Tableau 5** : Production du haricot vert en AlgérieP42
- **Tableau 6** : Dispositifs expérimentaux adoptés P47
- **Tableau 7** : Composition de l'eau saline naturelle (meq /l). P48
- **Tableau 8** : Série 1 où le sodium Na⁺ est lié aux chloruresP49
- **Tableau 9** : Série 2 où le sodium est lié aux sulfatesP49
- **Tableau 10** : Présentation des différents traitements testés pour l'essai de germinationP50
- **Tableau 11** : Traitements testés pour les plantes adultesP51
- **Tableau 12**: Composition eau de Blida en meq/l P52
- **Tableau 13** : Eau de Blida corrigée en meq/l P52
- **Tableau 14** : Composition de la solution nutritive à base d'eau de Blida (meq /l).....P54
- **Tableau 15** : Composition de l'eau saline naturelle testée (meq/l)P55
- **Tableau 16** : Eau d'Oued Cheliff naturelle, reconstituée avec l'eau de BlidaP56
- **Tableau 17** : Taux de germination quotidien de la tomate : en % P65-66
- **Tableau 18** : Taux de germination quotidien du haricot : en %P66
- **Tableau 19** : Estimation de la valeur germinative de la tomate P68
- **Tableau 20** : Estimation de la valeur germinative de haricotP69-70.
- **Tableau 21** : Synthèse des principaux résultats relatifs aux Facultés germinativesP71
- **Tableau 22** : Vitesse de germination des graines de tomateP72
- **Tableau 23** : Vitesse de germination des graines de haricot..... P73-74
- **Tableau 24** : Surface foliaire mesurée le 06/02/2021 P85
- **Tableau 25** : Surface foliaire mesurée le 16/02/2021 P86
- **Tableau 26** : phases de floraison et de nouaison en nombre de jours
après repiquage plantsP90
- **Tableau 27** : Contenu relatif en eau des feuilles de tomateP94

- **Tableau 28:** Indice de résistance à la salinité de la tomate et du haricotP96
- **Tableau 29:** Teneurs en chlorophylle a de la tomate et le haricot P100
- **Tableau 30 :** Teneurs en chlorophylle b de la tomate et le haricotP101
- **Tableau 31 :** Teneurs en proline de la Tomate et du Haricot en $\mu\text{g/g MF}$ P102

LISTE DES FIGURES

- **Figure 1 :** Rythme de croissance de la tomate (cm)P78
- **Figure 2 :** Rythme de croissance de haricot (cm)P80
- **Figure 3 :** Hauteur finale des plantes de tomate et de haricot en cmP81
- **Figure 4 :** Diamètre des tiges des deux espèces testéesP83
- **Figure 5 :** Nombre de feuille de la tomate P84
- **Figure 6 :** Biomasse fraîche totale produite : (feuilles + tiges)P87

LISTE DES ABREVIATIONS

- **Meq/l** : milliéquivalent par litre
- **Mmole** : millimole
- **AS** : acide salicylique
- **BSR** : biomasse sèche des racines
- **ITS** : indice de tolérance à la salinité
- **MS** : matière sèche
- **PS : Poids sec**
- **VG** : valeur germinative
- **PG** : pourcentage de germination
- **VGJ** : vitesse de germination journalière
- **PSR** : poids sec des racines
- **CREf** : contenu relatif en eau foliaire
- **NaCl** : chlorure de sodium
- **Na₂SO₄** : Sulfate de sodium
- **TG** : Taux de germination en %
- **T50** : temps moyen de germination en %
- **µg/g MF**: microgramme /gramme de matière fraîche
- **Chl a** : chlortophylle a
- **Chl b** : chlortophylle a

INTRODUCTION

La salinisation des sols et des eaux est une contrainte environnementale majeure dans le secteur de l'agriculture. Le stress salin affecte négativement les cultures glycophytes en diminuant les rendements et la qualité de ces cultures. L'utilisation d'eau de moindre qualité pour l'irrigation est la principale cause de la salinisation des sols. Le réchauffement climatique est un facteur aggravant dans ce processus de salinisation car il augmente la fréquence des périodes de sécheresse, ne faisant qu'augmenter les besoins en eau pour l'agriculture. Dans les régions arides et semi-arides, les plantes doivent être irriguées afin de garantir les cultures et d'augmenter la production. Ces écosystèmes sont caractérisés par une faible pluviométrie accompagnée d'une forte irrégularité des précipitations associées à une importante évaporation favorisant l'accumulation des sels dans le sol (**Ndène, 2018, Faye, Tine, et al 2019**). La salinité des sols n'est pas fortement liée aux conditions climatiques, mais également aux pratiques culturales mal contrôlées tels que le manque de drainage appropriée et l'utilisation de grandes quantités d'eau souvent saumâtres selon **Escudier, (2019)** conduisant à un processus de salinisation secondaire,.

La salinisation des terres est un phénomène naturel de dégradation chimique des sols se traduisant par un enrichissement excessif du sol en sels solubles dont les sels de sodium (Na^+), de calcium (Ca^{2+}), de magnésium (Mg^{2+}), de potassium (K^+), les chlorures (Cl^-), les sulfates (SO_4^{2-}) et les bicarbonates (HCO_3^-) (**Escudier, 2019, Matty et Diatta, 2018**). L'accélération de ce processus est due à des causes multiples d'ordres naturel (sécheresse récurrente) et anthropique (déforestation, mauvais aménagements des terres), aux pratiques culturales mal contrôlées tels que le manque de drainage appropriée et l'utilisation de grandes quantités d'eau souvent saumâtres. **Ndène, (2018)**, .Les régions les plus durement touchées sont les zones arides et semi-arides (**Faye, Tine, et al 2019**).

La germination est considérée comme une étape critique dans le cycle de développement de la plante. En effet, elle conditionne l'installation de la plantule, son branchement sur le milieu, et probablement sa productivité ultérieure. **Faye, et al (2019)**. En général, les plantes sont plus sensibles aux stades de germination et d'émergence qu'aux stades de maturité. (**Tremblin ,Binet , 1984, Ashraf , Athar , Harris and Kwon .2008**).

La tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) et le haricot (*Phaseolus vulgaris*) sont cultivés dans des

pays à climat sec et chaud où les sols salés couvrent de grandes surfaces, ce qui pose le problème de leur adaptation à la salinité pour leur extension dans les surfaces cultivées. Dans les régions à climat méditerranéen, le problème de la salinité est accentué par la présence de concentrations élevées en chlorure de sodium dans les eaux d'irrigation.

Destinée à la consommation en frais ou à la transformation industrielle, les deux espèces sont des légumes les plus consommés principalement pour les minéraux et les vitamines qu'elles renferment. **Rajoria ; (2010) , Boumendjel et al ; (2012).**

La réponse au sel des espèces végétales dépend de plusieurs variables, commençant par de l'espèce elle-même, de sa variété, aussi la concentration en sel, des conditions de culture et du stade de développement de la plante. **Naceur et al. (2001) ; Alaoui et al. (2013).** Malheureusement, la plupart des espèces cultivées ayant une valeur économique sont très sensibles aux conditions de salinité. **Hopkins, (2003).** En effet, la tomate est classée parmi les plantes modérément tolérante vis-à-vis le stress salin **Abdesselam, (2012)**, tandis que le haricot figure parmi les espèces sensibles à la salinité.

Cependant, la demande alimentaire en ces deux produits est sans cesse croissante du fait d'une démographie croissante et l'utilisation de terres marginales, dont certains cas présentent une forte salinité. Dans de nombreuses zones de production agricole, l'utilisation de l'eau de qualité médiocre pour l'irrigation et l'application de quantités excessives d'engrais minéraux sont les principales causes du processus de salinisation des sols cultivés.

La salinité du sol est une contrainte abiotique majeure qui affecte négativement les aspects physiologique et biochimique de la plante, entraînant une réduction de son rendement (**Ruiz-Lozano et al. (2012) ; Almeida et al. (2014).** En plus, elle induit un stress osmotique, une sécheresse physiologique et un déséquilibre ionique, désactivant ainsi les fonctions vitales cellulaires de la plante **Djerroudi et al. (2011) ; Taffouo et al. (2013); Gupta and Huang, (2014).** Cette contrainte affecte à la baisse la disponibilité hydrique, réduit le taux de la respiration **Cramer et al. (2013)**, la distribution des sels minéraux **Babu et al. (2012)** et les variations de la pression de turgescence **Shabala and Munns, (2012).** Ainsi, les plantes déclenchent des mécanismes hormonaux, physiologiques et biochimiques soit en tolérant ou en résistant à cette contrainte **Almeida et al. (2014) ; Eraslan et al. (2015).**

De nombreux chercheurs ont axé leurs travaux notamment sur la sélection des variétés adaptées à ces régions, soit par une amélioration génétique qui reste, sans doute le moyen le

plus accessible ou par une étude approfondie des différents mécanismes d'adaptation. L'amélioration de la tolérance à la salinité serait d'une grande valeur pour une culture modérément sensible comme la tomate, quand elle est cultivée sur des sols qui ont des problèmes de salinité. Dans les dernières décennies, des progrès considérables ont abouti à la recherche de plantes tolérantes à la salinité par la sélection conventionnelle et les techniques de sélection **Ashraf, (2002)**

Les stress abiotiques tels que la sécheresse, la salinité, les températures extrêmes, la toxicité chimique et le stress oxydatif sont de graves menaces pour l'agriculture et entraînent une détérioration de l'environnement **Kusvuran et al. (2016) ; Yadav et al. (2020) ; Basu et Kumar et al. (2020)**. Le stress abiotique est la principale cause de pertes de récoltes, réduisant les rendements moyens de la plupart des grandes cultures **Lobell, (2014) ; Wien, (2020)**. En effet, la sécheresse et la salinité se répandent dans de nombreuses régions et peuvent entraîner une sérieuse salinisation de plus de 50% de toutes les terres arables d'ici 2050 **Galford et al. (2010)**.

Le stress abiotique peut entraîner à son tour une série de changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent la croissance et la productivité des plantes **Zandalinas et al. (2018) ; Boscaiu et Fita, (2020)**.

De nombreuses études ont montré que l'application exogène de l'acide salicylique chez les plantes stressées peut potentiellement atténuer les effets toxiques générés par la salinité **Tari et al. (2002 ; 2004) ; Szepssi et al. (2005)**.

Des études récentes ont démontré que l'acide salicylique participe à la signalisation dans les réponses aux stress abiotiques tels que la sécheresse, haute et basse température et la salinité etc. L'application appropriée de l'acide salicylique pourrait fournir une protection contre plusieurs types de contraintes environnementales. Son effet dépend de nombreux facteurs tels que l'espèce et le stade de développement de la plante, le mode d'application et la concentration appliqués **IYUKI et al. (2013)**.

C'est dans cette optique, que nous nous sommes intéressés à l'adjonction de l'acide salicylique aux concentrations de 0,5 et 0,25 mM dans une eau saline enrichie de NaCl, Na₂SO₄, MgCl₂ et MgSO₄ afin d'identifier son impact dans une première étape sur les réponses des graines de deux espèces maraichères (tomate et haricot vert) soumises à un régime hormonal exogène sous salinité.

Dans une seconde étape, nous suivrons par une analyse de la croissance des plantes des deux

espèces étudiées sous contrainte saline enrichie au NaCl et au Na₂SO₄ associée à deux concentrations d'acide salicylique (0,5 et 0,25 mM), cultivées en hydroponie. Cette expérimentation s'achève par un examen des paramètres biométriques, physiologiques et biochimiques pour évaluer la réponse des plantes tomate et de haricot sous ce régime salin.

PARTIE I :
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

PARTIE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : SALINITE ET STRESS SALIN

1.1 Définition de la salinité

Plusieurs auteurs ont défini la salinité des sols comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles dans le sol, ou lorsque les concentrations en sodium(Na^+), Calcium (Ca^{++}), Magnésium (Mg^{++}) sous formes de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées **Asloum ; (1990)**. Elle est fréquente dans les écosystèmes arides et semi-arides et résulte de la forte évaporation d'eau à partir du sol et d'une irrégularité et une insuffisance de pluviométrie **Taji et al ; (2002)**.

1.2 Principaux sels solubles

Les principaux sels solubles qui participent dans la formation des sols salés sont les Carbonates, les sulfates et les chlorures. **Aubert ; (1982)**. En ce qui concerne les carbonates les plus rencontrés sont le carbonate de sodium(Na_2CO_3), bicarbonate de sodium (NaHCO_3), carbonate de calcium (CaCO_3) et le carbonate de magnésium (MgCO_3) **Aubert ; (1982)**.

Pour ce qui est des sulfates, les plus fréquents sont, le sulfate de magnésium (MgSO_4), le sulfate de sodium (NaSO_4) et le sulfate de calcium (CaSO_4) **Aubert ; (1982)**.

Enfin pour les chlorures, ce sont les plus solubles et les fortement toxiques, principalement le chlorure de sodium (NaCl), le chlorure de calcium (CaCl_2) et chlorure de magnésium (MgCl_2) **Aubert ; (1982)**.

1.3 Origine de la salinité

La salinisation des terres est à 80% d'origine naturelle. On parle alors de salinisation «primaire», due aux sels se formant lors de l'altération des roches ou à des apports naturels externes **Bryssine, (1961)**. Alors que 20% des terres salinisées ont une origine "anthropique" .On parle alors de la salinisation "secondaire", induite par l'activité humaine, liée aux pratiques agricoles, et en en particulier à l'irrigation **FAO ; (2008)**.

1.3.1 Salinisation primaire

On parle d'une salinisation naturelle **Chamekh ; (2010)** , lorsqu'elle est le résultat de l'accumulation des sels sur une longue période de temps, dans le sol ou dans les eaux souterraines **Antipolis ; (2003)**. provenant de l'altération de la roche mère saline par les facteurs d'érosion, la dissolution par les eaux de ruissellement des roches sédimentaires qui sont riches en chlorures, sulfate et carbonate , ainsi que provoquée par l'eau de pluie souvent acide (H_2CO_3), mais aussi par des agents physiques **Hammou ; (2010)**.

1.3.2 Salinisation secondaires

C'est le résultat des activités agricoles sur un sol déjà formé **Maniguet, (2003)** qui modifient l'équilibre du sol entre l'eau appliquée (irrigation ou de pluie) et de l'eau utilisée par les cultures (transpiration) **Noomene, (2011)**. Les causes les plus communes sont le défrichement et le remplacement de végétation pérenne par les cultures annuelles ainsi que les systèmes d'irrigation utilisant l'eau riche en sels ou ayant un drainage insuffisant **Antipolis, (2003)**.

1.4 Salinité et stress

1.4.1 Définition du stress

La plante dans son environnement est exposée aux différentes contraintes biotiques et abiotiques. La contrainte abiotique est le résultat des différentes conditions environnementales que ce soit climatique et édaphiques défavorables à la croissance des plantes (**Munne-bosch et Alegre, 2004**). La plante du fait qu'elle ne peut se déplacer, elle doit s'adapter à ces conditions stressantes de manière à réduire leurs impacts sur son bon fonctionnement **Lexer, (2005)**. Un stress abiotique est toute condition environnementale défavorable empêchant la plante de se développer normalement et de se reproduire **Kotchouni et al. (2006)**.

Ce stress peut être induit par une forte salinité **Parker et al.,(2006)**, des hautes températures **Majoul et al.,(2003)**, des basses températures **Renauld et al., (2003)** de la lumière **Phee et al., (2004)**, des métaux **Sarry et al., (2006)**, d'un stress oxydatif **Couee et al. (2006)**, de la pollution et du déficit nutritionnel **Munne-bosch et Alegre., (2004)** ou d'une combinaison entre eux **Langridge et al. (2006)**.

1.4.2 Types de stress

1.4.2.1 Stress biotique

Il est imposé par des organismes (insectes, herbivores). Ils sont nombreux et ont pour origine les virus, les organismes phytophages et les pathogènes. Afin d'y faire face, la plante met en place un système de défense qui fait intervenir une chaîne de réactions. Les protéines végétales défensives produites font office de rempart contre les agents nuisibles **Shilpi et Narendra., (2005)**.

1.4.2.2 Stress abiotique

Il est provoqué par un défaut ou un excès de l'environnement physico-chimique comme la sécheresse, les températures extrêmes et la salinité. Parmi les conditions environnementales qui peuvent causer un stress abiotique, on distingue : les inondations, la sécheresse, les basses ou hautes températures, la salinité excessive des sols ou des eaux, la présence d'un minéral inadéquat dans le sol, cas des métaux lourds, l'excès de lumière qui stimule la photo inhibition, le cas de faible éclaircissement, les radiations U.V, les composés phyto-toxiques comme l'ozone qui est un haut réacteur oxydant, la pollution de l'air, les produits oxydés formés à partir des réactions de pesticides. La sécheresse, le froid et la salinité sont les stress les plus fréquents et les plus étudiés. Ils peuvent imposer aux plantes des modifications métaboliques, physiologiques et phénologiques. Le stress peut déclencher plusieurs réponses à plusieurs niveaux de la plante (**Shilpa et Narendra., 2005**).

1.4.2.3 Stress salin

Le stress salin est un excès d'ions, en particulier mais pas exclusivement les ions Na^+ et Cl^- **Hopkins, (2003)**. La présence d'une importante quantité de sels réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes. On parle alors de milieu "physiologiquement sec" (**Tremblin, 2000**). Les conséquences d'un stress salin peuvent résulter de quatre types d'effets que le sel provoque chez les plantes :

- Stress hydrique : Une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique adapté, afin que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extra cellulaire et à celui du sol (**Alam, 1994**).

- Stress ionique : En dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus, perturbe l'activité métabolique (**Alam, 1994**).

- Stress nutritionnel : Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale, en particulier vis-à-vis des transporteurs ioniques cellulaires. Le sodium Na^+ entre en compétition avec le potassium K^+ , et le calcium Ca^+ , et le chlore Cl^- avec le

nitrate NO_3^- , le phosphate P^+ avec le sulfate SO_4 (Alam, 1994).

- Stress oxydatif : 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, (1993), qui sont à l'origine des fonctionnements 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).

1.5 Effet de la salinité sur la physiologie de la plante

1.5.1 Effets de la salinité sur la germination

La germination des graines est une étape importante et vulnérable pour le cycle de développement des angiospermes terrestres et de déterminer l'établissement du semis et la croissance des plantes. Malgré l'importance de la germination des graines sous stress salin (Zhang *et al.* 2014), le mécanisme de la tolérance à la salinité chez les graines est relativement mal compris, en particulier en comparaison avec la quantité d'information actuellement disponible sur la physiologie et la biochimie des végétaux de la tolérance à la salinité (Rivero *et a* ; 2014 ; Parihar *et al* ; 2015).

Bien que, la salinité des sols constitue un facteur limitant en agriculture, car elle inhibe la germination et le développement de la plantule. Le chlorure de sodium présent dans le sol retarde la germination des graines Siddikee *et al.* ; (2015). La présence de NaCl dans la solution nutritive freine la germination d'autant plus que la concentration saline est élevée Saeed *et al* ; (2014). Selon les mêmes auteurs, la présence de chlorure de sodium entraîne une augmentation de la durée du processus de la germination et retarde par conséquent la levée, car, les stress salin et osmotique sont responsables à la fois de l'inhibition ou un retard de germination et de la levée des graines.

D'autres travaux montrent que l'effet du stress salin sur la germination peut être attribué soit à un effet osmotique et/ou une toxicité des ions spécifiques à l'émergence de la racine ou le développement des semis (Abdelkader *et al* ; 2015). Ainsi, la germination, la levée et la survie précoce sont particulièrement sensibles à la salinité du substrat, cependant, la réussite du semis dépend de la fréquence et la quantité des précipitations ainsi que sur la capacité de la semence à germer et de lever, tandis qu'il y a une diminution de l'humidité du sol et du potentiel osmotique (Cha-um *et al.* 2013).

Le stress salin peut affecter la germination de deux façons :

- En diminuant la vitesse d'entrée et la quantité d'eau absorbée par les graines
- En augmentant la pénétration d'ions qui peuvent s'accumuler dans les graines à des doses

qui deviennent toxiques.

La germination de la graine commence avec son imbibition dans l'eau suivie de l'activation des systèmes biochimiques conduisant à la rupture de la couche de recouvrement et culmine avec l'émergence de la radicule (**Khan et al. 2009**). Ce processus est inhibée par la salinité du substrat en raison de l'imbibition inadéquate, la toxicité ionique, l'interférence avec le métabolisme, la destruction des enzymes et le déséquilibre des régulateurs de croissance (**Ungar, 1995**).

La survie des plantes, dans un milieu donné, dépend en grande partie de leur réaction au stade de germination et aussi à l'intra-spécificité variétale. Dans une étude comparative entre le blé dur et l'orge, le blé dur s'avère plus sensible au NaCl au stade percée de la radicule et l'émergence du coléoptile que l'orge, qui, lui, a montré une résistance (Garthwaite *et al.* 2005). Chez *Atriplex halimus* L., la vitesse de germination est ralentie à partir de 9 g.l⁻¹ de NaCl ; est davantage inhibée à des concentrations plus élevées, cette inhibition est de nature osmotique (**Khan et al. 2009**).

Cela pourrait expliquer le fait que les graines obtenues à partir de plantes cultivées dans des milieux salins peuvent être plus tolérantes à la salinité que ceux des milieux non salins, mais une telle augmentation de la tolérance n'a pas toujours été observée (**Bewley, et Black, 2012**).

La germination des graines est le stade le plus sensible aux stress salin et hydrique (**Boulaghlagh et al ; 2006**). Le stade germination est souvent limité par la salinité du sol et se montre le plus sensible que les autres stades (**Bouda et Haddioui, 2011**). Selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique (**Ismail, 1990**).

- **Effet osmotique** : La salinité inhibe l'absorption de l'eau, la mobilisation des réserves et leur transport vers l'embryon. Cependant, il existe un seuil critique d'hydratation que l'embryon doit atteindre avant le démarrage des processus germinatifs **Rejiliet al. (2006)**.

- **Effet toxique** : Les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination (**Rejiliet al ; 2006**).

Il est probable que l'effet dépressif de la salinité sur la germination pourrait être lié à une baisse des niveaux d'hormones endogènes (**Peleg et al ; 2011**). Toutefois, l'intégration des régulateurs de croissance végétale chez de nombreuses cultures légumières améliore la performance des graines. Par

ailleurs, les différentes hormones telles que, l'ABA, la GA3, l'acide salicylique, l'acide jasmonique et l'éthylène jouent un rôle important dans la réponse des plantes aux conditions de stress. Les traitements physiologiques afin d'améliorer la germination des graines sous diverses conditions de stress sont intensivement étudiés dans les deux dernières décennies. Ainsi, des efforts concertés sont entrepris pour atténuer les effets néfastes de la salinité en application des régulateurs de croissance végétale (**Shabala et al ; 2012**). Ainsi, les effets néfastes des sels élevés sur la germination des graines de tomate, peuvent être réduits dans une certaine mesure par des apports exogènes avec la bonne concentration d'une hormone appropriée. Toutefois, l'hormone végétale, acide abscissique (ABA), est impliquée dans le contrôle des processus de développement, telle que la dormance des graines et des bourgeons (**Gavassi et al ; 2014**). Elle supprime la croissance et favorise la sénescence (**Yamburenko et al ; 2013**). Sa biosynthèse est stimulée par le stress, en particulier les contraintes associées à la déshydratation (sécheresse, salinité, froid), ainsi, son rôle majeur dans la réponse des plantes aux facteurs de stress abiotiques et la défense contre les pathogènes (**Qin et al ; 2011**). Par ailleurs, l'analyse de l'impact de l'ABA, un puissant inhibiteur de la germination des graines chez *Brassica napus*, montre que ni le potentiel osmotique de l'axe de la cellule de l'embryon, ni leur capacité d'absorption de l'eau ne sont affectés par la présence de l'ABA, mais plutôt le relâchement de la paroi cellulaire est empêché, ce qui entraîne l'inhibition de la germination (Gimeno-Gilles et al. 2009). L'effet inhibiteur du stress salin sur la germination des graines est atténué par des phytohormones, y compris l'acide gibbérellique (GA3) (**Gavassiet al ; 2014**), l'éthylène (**Chang et al ; 2010**), la cytokinine (**Ismail ; 2003**) et les molécules messagères tels que l'oxyde nitrique (NO) (**Zhao et al ; 2007**). Toutefois, (**Kaur et al ; 1998**) rapportent que l'application de la GA3 augmente le pourcentage de germination, la croissance des racines et aide à surmonter les effets préventifs du stress salin sur la germination, en plus améliore la mobilisation des réserves d'amidon et l'augmentation de l'activité de l'amylase dans les cotylédons, ce qui conduit finalement à une meilleure croissance des plants. Une autre phytohormone, l'acide salicylique est un composé phénolique. Il joue un rôle important dans le mécanisme de défense comme un régulateur contre les contraintes biotiques et abiotiques (**Shahba et al ; 2014**). Il semble aussi, qu'il provoque la diminution de l'effet toxique et néfaste du stress salin et augmente la germination (**Echi et al. 2013**). En outre, il est largement rapporté que l'acide salicylique inhibe la germination des graines par une dose-dépendante chez de nombreuses espèces (**Jayakannan et al ; 2015**), bien que, l'effet inverse a également été rapporté dans des conditions de stress salin (**Lee et al ; 2010**)

En revanche, les plantes produisent des protéines en réponse aux stress abiotiques et biotiques et beaucoup de ces protéines sont induites par des phytohormones telles que l'ABA et l'acide salicylique (**Shahba et al ; 2014**), en même temps, l'acide salicylique est impliqué dans la synthèse de la kinase, c'est une protéine connue, qui joue un rôle important dans la régulation et la différenciation de la division cellulaire.

1.5.2 Effet de la salinité sur la croissance et le développement des plantes

L'exposition des plantes au stress salin débute habituellement avec l'exposition des racines à ce stress. Etant donné, que la salinité dans le sol affecte la disponibilité des éléments nutritifs et de l'eau, en créant un stress osmotique, c'est la sécheresse physiologique, en provoquant la réduction générale de la croissance et de la photosynthèse des plantes (**Munns and Tester ; 2008**). Cependant, le phénomène de l'inhibition de la croissance est d'après (**Munns et al., 2006**) due à deux raisons, tout d'abord, la présence de sel dans la solution du sol qui réduit la capacité de la plante à absorber l'eau, et cela conduit à une croissance plus lente, par effet osmotique ou un déficit hydrique, et ensuite à la présence de quantités excessives de sel dans le flux de transpiration qui endommagent les cellules foliaires responsables de la transpiration qui réduit encore la croissance. En conséquence, la salinité affecte fortement la croissance des racines et la morphologie. Les différentes réponses aux niveaux physiologiques, biochimiques et moléculaires sont détectées, même dans les différentes zones racinaires (**Sharp et al ; 2004**). Ces changements dans le système racinaire vont causer un changement dans le bilan hydrique, ionique et la production de signaux (hormones) qui communiquent des informations à la tige (**Munns et al ; 2000**). La plante entière est alors affectée lorsque les racines se développent dans un milieu salin ; la biomasse racinaire est affectée négativement (**Saboora et al ; 2006**).

Des expériences ont confirmé que la salinité réduit la capacité des plantes à utiliser l'eau, et elle entraîne une réduction du taux de croissance, ainsi que des changements dans les processus métaboliques de la tomate (**Cramer et al ; 1995**). Les travaux de (**Cuartero and Fernandez-Munöz ; 1998**), (**Gama et al ; 2007**), expliquent que chez les plantes qui poussent dans des conditions salines sont stressées essentiellement de trois manières:

- 1° La réduction de leur potentiel hydrique dans la zone racinaire provoquant un déficit en eau ;
- 2° Une phytotoxicité de ces ions tels que le Na⁺ et le Cl⁻ ;
- 3° Un déséquilibre des éléments nutritifs par la dépression dans l'absorption et/ou le transport.

La salinité affecte les plantes physiologiquement, leurs réponses varient considérablement selon

l'espèce, et la variété (**Ashraf *et al* ; 2008**) et peuvent changer en fonction des facteurs tels que l'âge de la plante, le climat, le régime de l'humidité du sol, la fertilité des sols et les pratiques culturelles (**Munns and Tester ; 2008**). Selon le degré de salinité, cet effet réduit la capacité de croissance des cultures et diminue les rendements annuels (**Flowers and Colmer ; 2008**).

La salinité affecte négativement le développement de la plante, notamment en réduisant la croissance de la partie aérienne chez les glycophytes. Un retard de croissance important est signalé chez la plupart des glycophytes dès 50mM dans la solution du sol (**Zhang *et al* ; 2011**)

La réduction de la croissance due à la salinité est également attribuée à la toxicité d'ions et au déséquilibre nutritionnel, ce qui provoque non seulement une accumulation élevée de sodium (Na^+) et de chlorure (Cl^-) dans les plantes, mais aussi affecte l'absorption des éléments nutritifs antagonistes essentiels tels que le potassium (K^+), le calcium (Ca^{2+}) et le magnésium (Mg^{2+}) en concurrence avec le Na^+ et les nitrates (NO_3^-) en contraste avec le Cl^- (**Zörb *et al.*, 2005**). Le Stress salin en plus des composants connus du stress osmotique et à la toxicité d'ions se manifeste aussi comme un stress oxydatif (**Esfandiari *et al* ; 2007**).

En milieu salin, les plantes absorbent des quantités importantes de sodium et de chlore, mais le transport et l'accumulation de ces éléments semblent souvent dépendre du degré de tolérance de l'espèce considérée (**Munns *et al* ; 2006**). L'augmentation de la teneur de solutés dans les cellules des plantes traitées à la salinité provoque une sortie d'eau, un RWC faible sous l'effet de NaCl. Ceci est prouvé dans les mesures de la relation hydrique chez le blé dur, lorsque la pression de turgescence (calculée à partir de la différence entre le potentiel hydrique total et le potentiel osmotique) demeure inchangée par la salinité, mais le RWC significativement diminue (**Rampino *et al* ; 2012**).

L'exposition des plantes au stress salin débute habituellement avec l'exposition des racines à ce stress. Etant donné, que la salinité dans le sol affecte la disponibilité des éléments nutritifs et de l'eau, en créant un stress osmotique, c'est la sécheresse physiologique, en provoquant la réduction générale de la croissance des plantes (**Munns and Tester ; 2008**).

Selon Munns et al., (2006), l'inhibition de la croissance est due à deux raisons, tout d'abord, la présence de sel dans la solution du sol qui réduit la capacité de la plante à absorber l'eau, et cela conduit à une croissance plus lente, par effet osmotique et à des quantités de sel dans le flux de transpiration qui endommagent les cellules foliaires responsables de la transpiration qui réduit encore la croissance. Le ralentissement de la croissance peut résulter de plusieurs facteurs, à savoir :

- La concentration élevée en Na^+ et Cl^- diminue l'absorption de Ca^{2+} , l'augmentation de la

concentration en Na^+ s'accompagne également d'une réduction de la concentration en Mg^{2+} , K^+ et PO_4^- dans la plante (**Levitt ; 1980**).

- La perte de turgescence des cellules due au stress osmotique, induit par les solutés externes (**Serrano et Gaxiola ; 1994**).

- L'utilisation des composées carbonées et azotées à des fins de protection et d'osmorégulation aux dépens de leurs implications dans la production de biomasse (**Alarcon et al ; 1994**).

- Le déséquilibre nutritionnel causé par l'absorption réduite des ions essentiels, comme le K^+ , Ca^{2+} ou NO_3^- en liaison avec cette accumulation excessive (**Haoualla et al ; 2007**).

1.5.3 Effet de la salinité sur la photosynthèse

La présence du sel en forte concentration inhibe principalement le métabolisme cellulaire et la photosynthèse (**Tremblin et Coudret ; 1986**) par l'imposition d'un stress osmotique (**Hayashi et Murata ; 1998**). La salinité réduit la vitesse photosynthétique suite à une diminution de la conduction stomatique de CO_2 (**Santiago et al ; 2000**). En effet, la déshydratation des membranes cellulaires réduit leur perméabilité au CO_2 ce qui réduit l'approvisionnement en CO_2 des cellules, à la sénescence accrue induit par la salinité et au changement dans l'activité des enzymes photosynthétiques (**Parida et Das ; 2004**).

1.5.4 Effet de la salinité sur le rendement

L'effet de la salinisation sur les végétaux est semblable à celui de la sécheresse, à mesure que la concentration des sels dissous augmente, la capacité des racines d'absorber à fois l'eau et les éléments nutritifs diminuent. A des concentrations élevées de sels, la croissance normale des plantes cultivées est limitée et le rendement des cultures est réduit (**Wiebe et al ; 2001**).

1.6 Mécanisme d'adaptation des plantes au stress salin

La résistance d'une plante à la salinité s'exprime par sa capacité à survivre et à produire dans des conditions de stress salin (**Piri et al ; 1994**). Les plantes développent plusieurs stratégies pour limiter le stress salin qui diffèrent selon la catégorie de la plante (**Berthomeu et al ; 2003**).

1.6.1 Adaptation morphologique

La salinité est connue pour affecter de nombreux aspects des plantes et d'induire de nombreux

changements dans leur morphologie. La morphologie et la structure des halophytes sont adaptées dans le sens de l'économie d'eau, les caractères associées à cette adaptation sont:

- Une cuticule épaisse ;
- Des stomates rares (**Heller et al ; 1998**);
- Des cellules à grandes vacuoles pour favoriser le stockage de NaCl (**Luttge et al ; 2002**).
- Une succulence des feuilles, qui deviennent épaisses ou cylindriques (*Suaeda*) ou de leurs tiges dans le cas de l'espèce aphyllé (*Salicornia*) (**Lemee ; 1978**).

1.6.2 Adaptation physiologique

Chez les plantes sensibles au NaCl, le Na⁺ s'accumule dans les racines. 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 (**Sentenac et Berthomieu ; 2003**). Dans ce cadre, la sortie de Na⁺ des vaisseaux du xylème est en échange d'une entrée de K⁺ venant des cellules parenchymateuses du xylème et du parenchyme avoisinant, joue un rôle important dans la tige et les racines **Luttge et al., (2002)** A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de pompes moléculaires ou excrété par des glandes vers l'extérieur (**Alem et Amri ; 2005**).

1.7 Mécanismes de tolérance au stress salin

Les mécanismes de tolérance à la salinité se répartissent en trois catégories :

1.7.1 Tolérance au stress osmotique.

Le stress osmotique réduit immédiatement l'expansion des cellules dans les racines et les jeunes feuilles et provoque la fermeture des stomates. Une diminution de la réponse au stress osmotique entraînerait une croissance plus grande de la feuille et de la conductance stomatique mais l'augmentation de la surface foliaire qui en résulte serait bénéfique pour les plantes qui ont suffisamment d'eau disponible. Une plus grande expansion de la surface foliaire serait productive quand un approvisionnement en eau est assuré, mais pourrait être indésirable dans les systèmes où l'eau est limitée (**Munns and Tester ; 2008**).

La diminution du taux de croissance des feuilles, après une augmentation de la salinité des sols est principalement due à l'effet osmotique du sel autour des racines. Une augmentation soudaine de la

salinité des sols provoque la perte d'eau des cellules foliaires, mais cette perte de volume cellulaire et la turgescence est transitoire. En quelques heures, les cellules retrouvent leur volume initial et grâce à la turgescence d'ajustement osmotique, mais malgré cela, le taux d'élongation cellulaire est réduit (**Rivero et al ; 2014**).

Les plantes modifient la composition de leur « sève », elles peuvent accumuler le Na^+ et le Cl^- pour ajuster la pression osmotique et la turgescence des tissus nécessaires pour maintenir la croissance (**Almeida et al ; 2014**). Cette accumulation doit être compatible avec une tolérance métabolique de la concentration ou avec une compartimentation entre les divers composants de la cellule ou de la plante. Elle nécessite relativement peu de dépense d'énergie. En revanche, si cette accumulation n'a pas lieu la plante devra synthétiser des solutés organiques pour ajuster sa pression osmotique. Il faudra une importante biomasse pour assurer la dépense énergétique nécessaire à une telle synthèse (**Almeida et al ; 2014**).

La concentration de K^+ dans le cytoplasme par rapport à celle de Na^+ peut être un facteur contribuant à la tolérance à la salinité (**Almeida et al ; 2014**).

Pour ces espèces, la toxicité Cl^- est plus importante que la toxicité Na^+ , car la plante gère mieux le transport de Na^+ que le transport de Cl^- , de ce fait, le Cl^- devient un composant potentiellement plus toxique.

De nombreuses études sont menées afin de déterminer si le Na^+ est plus ou moins toxique que le Cl^- . Les approches les plus convaincantes pour tester la toxicité des ions Na^+ et Cl^- sont des approches génétiques. Chez la tomate, la variation génétique dans la tolérance à la salinité est en corrélation avec l'accumulation de Na^+ dans la feuille, mais pas d'accumulation de Cl^- (**Zhang and Blumwald ; 2001**). Cependant, la variation génétique dans la tolérance à la salinité est corrélée avec l'accumulation de Cl^- dans les feuilles (**Munns and Tester ; 2008**).

1.7.2 Tolérance chez les plantes cultivées

Les plantes diffèrent grandement dans leur tolérance à la salinité, comme reflètent leurs différentes réponses à la croissance. Parmi les cultures maraichères, la fève (*Vicia fabae*) peu tolérante, la betterave rouge (*Beta vulgaris*) tolérante et la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) moyennement tolérante. La variation de la tolérance à la salinité des espèces dicotylédones est encore plus grande que celle des espèces monocotylédones. Certaines légumineuses sont très sensibles, d'autant plus sensible que le riz

(*Oryza sativa*) (**Taffouo et al ; 2009**) ; la luzerne (*Medicago sativa*) est très tolérante, et les halophytes telles que (*Atriplex* spp.) continue de croître à des salinités supérieures à celles de l'eau de mer (**Flowers and Colmer ; 2008**). Beaucoup d'halophytes dicotylédones nécessitent une concentration assez élevée de NaCl (100 à 200 mM) pour une croissance optimale (**Flowers et al ; 2010**).

Les espèces tolérantes et en particulier les halophytes accumulent des quantités importantes de sodium dans la partie aérienne, alors que les racines sont moins riches en sodium que les feuilles (**Flowers and Colmers ; 2008**), l'exemple de *Beta vulgaris* (**Turan et al., 2009**), de l'*Atriplex halimus* (**Silveira et al., 2009**), de *Crithmum maritimum* L. (**Atia et al., 2011**). Alors que chez les glycophytes, comme le haricot, l'abricotier et l'avocatier, il y a une limitation de la migration du sodium vers les feuilles d'où des difficultés d'ajustement osmotique en milieu riche en sels et des troubles d'alimentation au niveau des racines (**Ashraf ; 2004**).

Presque la totalité de l'abaissement du potentiel osmotique est due à l'absorption du Na⁺ et du Cl⁻ chez les halophytes et les glycophytes (**Hanana et al ; 2011**). La plupart des plantes exclues le Na⁺ et le Cl⁻ par les racines tandis que l'eau est captée par le sol (**Munns ; 2005**). Parce que la salinité est une caractéristique commune des régions arides et semi-arides, qu'il n'est pas étonnant que les plantes développent des mécanismes pour tolérer le faible potentiel d'eau des sols causé par la salinité et la sécheresse, ainsi la tolérance au stress osmotique est une caractéristique majeure des glycophytes et des halophytes.

CHAPITRE II : NOTIONS DE BASE SUR L'ACIDE SALICYLIQUE

2.1 Définition et historique

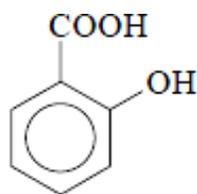
L'acide salicylique, très largement répandu dans les plantes, est considéré comme une phytohormone d'une nature phénolique impliquée dans la résistance systémique acquise (SAR) et participe dans la régulation des procès physiologiques ou en réponse au divers stress (UV, ozone, blessures,...) (**Lepoivre ; 2003**) ; **Sakhabutdinova et al. (2004)** ; **Machiex et al. (2005)**. Il a été trouvé dans les feuilles et organes reproducteurs de 34 espèces d'importance agronomique **Pancheva et al. (1996)**.

L'acide salicylique est découvert en 1828 quand Johann Buchner a isolé avec succès une petite quantité de salicyline, le glucoside d'alcool salicylique, à partir de l'écorce de saule. Le nom d'acide salicylique vient du nom latin *Salix* et a été donné à cet ingrédient actif du Saule par **Raffaele Piria en (1838)**. La première production commerciale d'AS synthétique a débuté en 1874 en Allemagne. Son

dérivé acétylé (acide acétylsalicylique) a été introduit sous le nom commercial d'aspirine par l'entreprise Bayer en 1898 et est rapidement devenu le médicament le plus vendu dans le monde (**Raskin ; 1995**). L'acide salicylique était utilisé par les indiens d'Amérique, depuis longtemps, pour traiter les migraines. Ils plaçaient pour cela des écorces de saule autour de leur tête (**Hopkins ; 2003**). Les fleuristes le savaient déjà, mais sans en connaître les bases (**Raskin et al ; 1995**). En effet, ajouter un comprimé d'aspirine à l'eau d'un vase contenant des fleurs permet de les conserver plus longtemps et en meilleur état, action attribuée à une inhibition de la biosynthèse de l'éthylène (**Heller ; 1998**).

2.2 Propriétés physico-chimiques

L'acide salicylique (acide o- hydroxybenzoïque (C₇H₄O₃), M_m = 138,12 g/mol), point de fusion 195°C, point d'ébullition 211°C à 2666 Pa, pK_a = 3,01. C'est un métabolite secondaire appartenant aux composés phénoliques, naturellement synthétisé par certains végétaux. Il est modérément soluble dans l'eau mais hautement soluble dans des solvants polaires organiques. Cet acide est présent en abondance dans l'écorce et les feuilles de saule *Salix alba*, notamment, dans les fruits, sous forme estérifiée de salicylate de méthyle (**Heller ; 1998**) ; **Yalpani et al, (1991)**.



acide salicylique

2.3 Rôle, biosynthèse et mode d'action de l'acide salicylique

L'AS est une molécule omniprésente de signalisation et impliqué dans beaucoup de phénomènes physiologiques des plantes (**Raskin ; 1987**), parmi lesquels l'activation des réponses de défense de la plante envers des attaques par des champignons, bactéries ou virus a trouvé une attention particulière.

L'AS module aussi la mort cellulaire associée à la réponse hypersensible, l'activation de la peroxydation des lipides et la génération de radicaux libres (**Dempsey et al ; 2011**) ; **Shah et Klessig, (1999)**.

L'AS joue un rôle d'un inducteur naturel de la thermogenèse dans *Arum*, induit la floraison dans plusieurs plantes, contrôle l'absorption des ions par les racines et la conductivité stomacale (**Raskin,**

1995). Des données expérimentales indiquent la participation de l'AS dans le signal de la régulation des expressions des gènes de la sénescence des feuilles chez *Arabidopsis* (Morris *et al* ; 2000) en plus l'AS peut servir comme un régulateur de gravitropisme (Medvedev et Markova ; 1991), inhibition de mûrissement des fruits (Srivastava et Dwivedi ; 2000).

Ainsi, chez le soya, il semble que la vaporisation d'une solution aqueuse d'acide salicylique sur le feuillage ait stimulé la croissance des tiges et racines sans affecter la photosynthèse (Gutierrez *et al* ; 1998). Par ailleurs, son injection directement dans la tige du maïs y augmenterait à la fois la photosynthèse et le rendement en grains (Zhou *et al* ; 1999)

Deux voies de biosynthèse du SA sont possibles chez les plantes. La première est la voie des phénylpropanoïdes, ou de l'acide benzoïque (Lepoivre ; 2003). Lors de plusieurs études, des précurseurs de l'acide salicylique marqués avec un isotope radioactif ; l'acide benzoïque et de l'acide cinnamique, ont été mis en contact avec des plantes de tabacs saines et infectées (Clerivet *et al* ; 1996). Les résultats de ces recherches démontrent que la synthèse de l'acide salicylique, débute avec la phénylalanine. Cette dernière est transformée en acide cinnamique par la phénylalanine ammonia lyase (PAL). L'acide cinnamique est ensuite transformé en acide benzoïque, qui est finalement, hydroxylé par l'acide benzoïque - 2- hydroxylase en acide salicylique (Dempsey *et al* ; 2011).

Une voie alternative de synthèse existe chez les bactéries et dans les chloroplastes de plantes. Cette voie implique les enzymes isochorismate synthase (EC 5.4.99.6) et isochorismate pyruvate lyase qui catalysent les deux étapes de synthèse à partir de l'acide chorismique (Vasyukova et Ozeretskovskaya ; 2007).

Plusieurs études ont été effectuées afin de montrer la voie de biosynthèse de l'acide salicylique chez la plante. L'acide salicylique peut s'accumuler dans la cellule à la suite d'une nouvelle synthèse via l'acide cinnamique (Chadha *et al* ; 1974) d'une hydrolyse de la forme glycosylée entreposée dans les parois cellulaires (Enyedi *et al* ; 1992) ; Hennig *et al*, (1993) ou d'une dégradation des flavones (Clerivet *et al*. 1996).

Selon Bernard F. dans Klarzynski et Fritig (2001) les concentrations d'acide salicylique sont de l'ordre de quelques dizaines à centaines de nanogrammes par gramme de tissu frais dans les tissus sains, et de quelques microgrammes à dizaines de microgrammes par gramme de tissu frais dans les tissus atteints. Il faut cependant préciser qu'il s'agit là des concentrations totales d'acide salicylique, dont l'essentiel se trouve sous libre ou sous forme conjugués de glycosylates méthylé, glucose-ester ou conjugué avec les aminoacides Lee *et al*. (1995).

Enfin, il semblerait que l'augmentation initiale de l'eau oxygénée soit le facteur primaire qui stimule la biosynthèse de l'acide salicylique. Néanmoins, et quel que soit le mécanisme, l'acide salicylique joue donc un rôle de premier plan dans la résistance de la plante. **Machiex et al., (2005)**

2.4 Effets de l'acide salicylique sur la plante

Un intérêt considérable a été suscité par le pouvoir de l'AS à produire des effets protecteurs sous l'action des facteurs de différentes natures de stress abiotiques. Ainsi, des données obtenues indiquent que l'induction de l'AS augmente la résistance des semis du blé à la salinité (**Shakirova et Bezrukova ; 1997**) et le déficit hydrique (**Bezrukova et al ; 2001**) et prévient la réduction du contenu en IAA et les cytokinines ce qui réduit l'inhibition du développement induit par le stress (**Sakhabutdinova et al ; 2003**). L'AS aussi augmente la résistance de la tomate et la fève à la baisse et l'augmentation des températures (**Senaratna et al ; 2000**), ainsi que l'action des métaux lourds sur le riz (**Mishra et Choudhuri ; 2004**). L'AS induit la synthèse des protéines de choc thermique chez le tabac **Burkhanova et al, (1999)** accumulation des lectines du blé (**Shakirova and al ;2003**), rapide activation de la protéine 48kD kinase dans une suspension cellulaire du tabac, sous un stress osmotique **Mikolajczyk et al ; (2000)**.

L'application appropriée de l'AS peut fournir une protection contre plusieurs contraintes environnementales mais il peut causer un stress oxydatif, partiellement lors de l'accumulation du peroxyde d'hydrogène. Mais une concentration basse de peroxyde d'hydrogène ainsi améliore la capacité anti oxydative des plantes et stimule la synthèse des composés protecteurs qui mène à accroître la tolérance aux stress abiotiques (**Hara et al ; 2012**)

2.4.1 Effet sur la germination

L'acide salicylique est un composé phénolique, il joue un rôle important dans le mécanisme de défense comme un régulateur contre les contraintes biotiques et abiotiques (**Shahba et al ; 2014**). Il semble aussi, qu'il provoque la diminution de l'effet toxique et néfaste du stress salin et augmente la germination (**Echi et al., 2013**). En outre, il est largement rapporté que l'acide salicylique inhibe la germination des graines par une dose-dépendante chez de nombreuses espèces (**Jayakannan et al., 2015**), bien que, l'effet inverse a également été rapporté dans des conditions de stress salin (**Lee et al., 2010**). En revanche, les plantes produisent des protéines en réponse aux stress abiotiques et biotiques

et beaucoup de ces protéines sont induites par des phytohormones telles que l'ABA et l'acide salicylique **Shahba et al. (2014)**.

2.4.2 Effets sur la croissance

De nombreux travaux ont montré que la réponse générale des plantes traitées par l'AS à faible concentration (0.05 mM) est l'augmentation de la croissance (**Fariduddin et al; 2003**). En outre, (**Khan et al ; 2003**) soulignent que l'application foliaire de l'AS à concentration de 0.05 mM augmente le contenu de la matière sèche et la taille de la feuille chez le maïs et le soja. (**Pancheva et al ; 1996**) notent que le traitement par l'AS (0.1-10 mM) inhibe et réduit la croissance des feuilles et des racines. D'autres études ont confirmé que l'addition de l'AS exogène à la solution nutritive peut endommager considérablement les racines (**Senaratna et al ; 2000**) ; **El Tayeb, (2005)**.

2.4.3 Effets sur la photosynthèse

Des études conduites par plusieurs auteurs sur différentes plantes ont montré que la capacité photosynthétique est augmentée par l'application foliaire de l'AS 0.05 mM (**Gomez et al; 1993**). En plus, (**Pancheva et al ; (1996)**) notent que l'effet de l'AS sur la photosynthèse s'exerce par une activation de la synthèse des caroténoïdes et des xanthophylles chez le soja, l'orge et le maïs.

(**Fariduddin et al ; 2003**) rapportent que l'effet de l'AS à forte dose (0.1 - 10 mM) sur la photosynthèse s'exerce par une baisse de la teneur en chlorophylle et une diminution de la surface foliaire chez *brassica juncea* (**Rai et al ; 1986**) signalent que l'inhibition de la photosynthèse sous la forte dose de l'AS chez plusieurs plantes peut être due à l'effet toxique de cet acide sur plusieurs processus biochimiques et enzymatiques chez le blé et l'orge. La diminution de la teneur en chlorophylle chez les plantes traitées à de fortes doses de l'AS peut être due également à l'effet inhibiteur de cet acide sur les enzymes qui interviennent dans la voie de la biosynthèse des chlorophylles ou à un trouble dans l'intégration des molécules de la chlorophylle dans les complexes stables (**Anandhi et Ramanujam ; 1997**) ; **Lian et al ; (2000)**.

La perte en chlorophylle peut être une cause de baisse de la photosynthèse chez plusieurs plantes (**Sato et al ; 2002**) ; **Lian et al ; (2000)**. L'addition de l'AS dans la solution nutritive, même à des basses concentrations, inhibe et réduit aussi le taux photosynthétique **Rai et al ; (1986)**.

2.4.4 Effets sur le métabolisme de nitrate

Plusieurs processus biochimiques sont affectés par l'application de l'AS, en particulier l'assimilation de nitrate. Ce dernier est la source la plus significative de l'azote pour les plantes cultivées et limite

fréquemment la croissance des plantes (**Ramanujam et al ; 1998**). Le traitement par l'AS (0.01-0.1 mM) augmente la fixation de l'azote et l'activation de la nitrate réductase dans les feuilles et les racines des plantes de maïs (**Rane et al ; 1995**). Les mêmes auteurs, ont observé une augmentation de l'activité de nitrate réductase en présence du nitrate grâce à la protection de cette l'enzyme contre la protéase et la trypsine. D'autres travaux ont montré que l'absorption du nitrate et l'activité de la nitrate réductase diminuent dans les feuilles chez nombreuses plantes, après l'application de l'AS à fortes doses. La réduction de l'activité de la nitrate réductase dans les feuilles est due essentiellement à l'effet toxique de l'AS à forte dose qui conduit à une baisse de l'absorption de NO_3^- et en conséquence, à une diminution de la concentration en NO_3^- dans les feuilles (Jain et Srivastava, 1981). Par conséquent, une baisse dans l'activité de la nitrate réductase et de la teneur en nitrate en présence de concentrations élevées en AS peut être responsable de la réduction de la croissance (**Lian et al ; 2000**) ; **Sato et al ; (2002)**.

2.4.5 Effet sur la Floraison

L'AS est nécessaire lors de la floraison et de la formation des bourgeons chez des cultures de cellules de tabac (**Eberhard et al ; 1989**). L'effet de l'AS sur l'efflorescence a été ensuite démontré chez plusieurs autres espèces de plantes mais l'AS n'est pas spécifique et il engage la floraison en combinaison avec d'autres facteurs, les gibbérellines par exemple (**Murphy et al ; 1999**) ; **Alvarez, (2000)**.

CHAPITRE III : IMPORTANCE DE LA TOMATE ET LE HARICOT VERT EN ALGERIE

3.1 Généralités sur la tomate maraîchère

La tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. de la famille des solanacées, est une plante herbacée annuelle originaire la Cordillères des Andes en Amérique du sud **Chaux et Foury, (1994)**.

Comme c'est une culture à cycle assez court qui donne un haut rendement, elle a de bonnes perspectives économiques et la superficie cultivée s'agrandit de jour en jour. La consommation des fruits de la tomate contribue à un régime sain et équilibré (**Shankara et a ; 2005**). Le fruit est riche en potassium, antioxydants, magnésium, phosphore, des vitamines du groupe A, des vitamines du groupe B, des vitamines du groupe C, des vitamines du groupe E, fibres et sels minéraux **Morard, (2013)**.

La tomate appartient à la famille des Solanacées elle a été classée par Linné en 1753, comme *Solanum lycopersicon*. D'autres botanistes lui ont attribué différents noms : *Solanum lycopersicum*, *Solanum esculentum*, *Lycopersicon lycopersicum*;

Selon **Guignard (2000)**, la tomate appartient à la classification suivant :

Règne : Plantae.

Embranchement : Spermaphytes.

Sous embranchement : Angiospermes.

Classe : Dicotylédones.

Sous classe : Gamopétales.

Ordre : Polémoniales.

Sous ordre : Solanales.

Famille : Solanacées.

La tomate est moyennement sensible à la salinité ; les engrais chlorurés semblent cependant ne pas lui convenir (**Letard, 1995**). La tomate représente la culture maraichère la plus importante du point de vue économique au monde et présente également de nombreux intérêts nutritionnels.

La culture de tomate tolère une conductivité électrique (CE) de l'ordre de 3 à 4,5mmhos/cm. L'impact de la salinité est plus grave sur le rendement suite à la réduction du calibre du fruit. Donc elle doit être maintenue entre 1 et 2 mmhos/cm à 25°C en fonction du stade de la culture et de la saison (**Ammari, 2012**)

3.2 Importance de la tomate maraichère en Algérie

En Algérie, la culture de la tomate occupe une place prépondérante dans l'économie nationale, près de **23765 Ha** sont consacrés annuellement à la tomate (maraichère et industrielle), donnant une production moyenne de **13.579.032 QX** et des rendements moyens d'environ **571.46 QX/HA**

Tableau 1 : Production de la tomate maraichère en Algérie (STATISTIQUES MADR2020

	Années	Superficie HA	Production QX	Rdt QX/HA	Prod. Totale	Superficie /Total Tomate
Tomate	2017	23976,52	12.862.857,62	536,5	9.88%	4.78%
Tomate	2018	22 323	13. 097. 452	586,7	9.59%	4.38%
Tomate	2019	24 996	14 .778 .786	591,2	10.07%	4.69%
Tomate	Moy	23765	13.579.032	571.46	9.84%	4.61%
Cultures maraichères	2017	501 869	130 202 950	259,4		
Cultures maraichères	2018	509 341	136 570 863	268,1		
Cultures maraichères	2019	533 191	146 700 413	275,1		

3.3 Valeur alimentaire et énergétique de la tomate

D'après **Kolev, (1976)**, la valeur alimentaire de la tomate est placée parmi les légumes les plus appropriés. Sa richesse en vitamines, en sels minéraux et en sucre lui donne sa place comme une nourriture excellente, surtout pour les enfants (tableau 2).

Tableau 2: Valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de tomate crue (ARVY, 2007)

Composants	Qte (g)	Min-Max (g)
Eau	94.5	88-6.6
Protéines	0.8	0.5-1.3
Lipides	0.26	0.07-0.8
Glucides	1.72	-
Sucre	1.68	NC-3.5
Fibres	1.41	0.7-3.2
Energie	18 Kcal (75 Kj)	

Depuis que la tomate a été classée parmi les plantes alimentaires majeures (début 20ème siècle), sa place dans l'alimentation humaine n'est plus à démontrer.

Tableau 3: Composition en vitamines pour 100g de tomate crue (Bentviresin et al. 1987 in Kramou, 2011)

Vitamines	Qté.	Min - Max
Provitamine A Béta-carotène	840 µg	184 - 1200 µg
Equivalent Vitamine A	140 µg	30.67 - 200µg
Vitamine B1	0.06 mg	0.02 - 0.07 mg
Vitamine B2	0.04 mg	0 - 0.4 mg
Vitamine B3	0.6 mg	0.44 - 0.85 mg
Vitamine B5	0.27 mg	0.04 - 0.33 mg
Vitamine B6	0.08 mg	0.05 - 0.15 mg
Vitamine B9	20.5 µg	1 - 52 µg
Vitamine C	14.3 mg	4.7 - 26.5 mg
Vitamine E	1.11 mg	0.39 - 1.3 mg

Elle est utilisée en frais en salade et en jus, ou transformée, sous forme de purée, de concentré, de condiment et de sauce **Bentviresin et al. 1987 in (Kramou, 2011)**. (Tableau 4).

Tableau 4 : Composition en minéraux pour 100g de tomate crue (Bentviresin et al. 1987 in Kramou, 2011)

Minéraux et oligo-éléments	Qté.	Min - Max
Calcium	8.24 mg	3.17 - 60 mg
Cuivre	0.0326 mg	0.01 - 0.13 mg
Fer	0.151 mg	0.01 - 0.95 mg
Iode	2 µg	0.01 - NC µg
Magnésium	10.1 mg	5 - 20 mg
Manganèse	0.0711 mg	0.04 - 0.93 mg
Phosphore	19.3 mg	8 - 53 mg

Potassium	251 mg	92 - 534 mg
Zinc	0.221 mg	0.2 - 42 mg
		0.3

3.4 Généralités sur le haricot vert

La famille des légumineuses ou fabacées renferme environ 20 000 espèces (**Sierra et Tournebize ; 2019**). Il s'agit de plantes dicotylédones, qui sont largement valorisées pour l'alimentation animale et humaine. Dans le domaine agricole, on distingue 2 types de légumineuses : les légumineuses fourragères (luzerne, trèfles) et les légumineuses alimentaires. Ces dernières se divisent en 3 groupes : les « légumes secs » (lentilles, pois cassés, pois chiches, fèves, haricots secs...), les oléagineux (arachide, soja ...) et les légumes à gousses (petit pois, haricots verts...) (**Rémond et Walrand ; 2017**) Le Haricot, ou Haricot commun (*Phaseolus vulgaris L.*), est une espèce de plantes annuelles de la famille des Fabaceae (Papilionacées), du genre Phaseolus, et selon la classification décrite par **Chaux et Foury ; (1994) et Charles ; (1998)**, la position taxonomique du haricot est la suivante :

- Règne : Plantae
- Super division : Spermatophyta
- Division : Magnoliophyta
- Classe : Magnoliopsida
- Sous classe : Rosidae
- Ordre : Fabales
- Famille : Fabaceae
- Genre : Phaseolus
- Espèce : Phaseolus vulgaris L.

En Algérie, les haricots verts constituent un élément important dans le modèle de consommation dominant de la population locale. Elles constituent une source d'apport nutritionnel riche en protéines, glucides, minéraux et en fibres susceptibles d'une correction efficace de carences en ces éléments.

Le haricot (*Phaseolus vulgaris L.*) appartient à la famille des Fabaceae.. C'est une des cultures les plus anciennes au monde (**Pereira, 2014**). Le haricot est sensible à la salinité du sol qui peut réduire le rendement (**Brown, 2019 ; Kouadria et al. 2020**).

3.5 Importance du haricot vert en Algérie

Les légumineuses alimentaires jouent un rôle important dans les systèmes de culture et dans le régime

alimentaire des populations y compris pour la population algérienne (**Sinclair et Vadez, 2012 ; World Health Organization ; 2020 ; Vasconcelos et al, 2020**).

L'intérêt porté aux légumineuses revient à côté de leur prix bas ainsi que de leur richesse en protéines et en fibres alimentaires tout en étant pauvre en matière grasse. Ils contiennent également plusieurs micronutriments et composés phytochimiques qui présenteraient divers avantages pour la santé (**Messina, 1999 ; Cheng et al. 2020**).

En Algérie, le haricot vert couvre une superficie de **11917** HA pour une production de **954032** quintaux (**Tableau 5**).

Tableau 5 : Production du haricot vert en Algérie (statistiques MADR 2020)

	Années	Superficie HA	Production QX	Rendement QX/HA	Production Totale Haricot	Superficie Totale Haricot
Haricot	2017	11 434	980 033	85,7	0.75%	2.28%
Haricot	2018	11 610	931 836	80,3	0.68%	2.28%
Haricot	2019	12 706	950 226	74,8	0.65%	2.38%
Haricot	Moy	11917	954032	80.26	0.69%	2.31%
Cultures maraichères	2017	501 869	130 202 950	259,4		

D'après une étude récente de **Zhang et al ; (2020)**, certaines légumineuses alimentaires ont des capacités antioxydantes comme le haricot velours de Hechi. Les légumineuses entretiennent également une relation étroite et très privilégiée avec la rhizosphère (**Taylor et al, 2020**).

Leur intérêt agronomique résulte de leur capacité à établir une symbiose mutualiste avec des bactéries appartenant à la famille Rhizobia pour l'utilisation de l'azote atmosphérique comme source d'azote (**Gaur et Sen, 1979 ; Giri et Joshi, 2010 ; Iantcheva et al, 2013 ; Andrews & Andrews, 2017 ; Sabagh et al. 2020**).

On estime qu'environ 40 à 60 millions de tonnes métriques d'azote atmosphérique sont fixées annuellement par les légumineuses cultivées (**Robertson et al, 2013**).

En effet, cette symbiose leur permet de produire des protéines en abondance même en absence de fertilisation azotée (**Pérez-Montaño et al, 2014, Kumar et al, 2020**). Ils jouent par conséquent un rôle clé dans la rotation des cultures (**Nemecek et al, 2015 ; Kebede et al, 2020**).

En Algérie, les faibles rendements sont principalement dus aux fluctuations de l'environnement enregistrées au cours des différentes saisons (**Lakdhary, 2009**). En effet, le climat algérien se caractérise par des précipitations irrégulières dans le temps et l'espace, ainsi qu'une tendance à plus d'aridité et donc un impact accru de la sécheresse (**Kheloufi et al ; 2018**). Ces conditions sont considérées comme des facteurs de perte de production partielle ou totale (**Famarzi et al ; 2013**).

3.6 Valeur alimentaire et énergétique du haricot vert

Sur le plan nutritionnel et comme beaucoup de légumineuses à graines, ils apportent un sentiment de satiété chez les patients atteints de syndromes métaboliques (**Reverri et al ; 2017**). Ils sont une source riche et peu coûteuse de protéines, d'acides aminés, de glucides, de fibres alimentaires, de vitamines (**Kan et al, 2018**), d'acides phénoliques et de flavonoïdes (**Giusti et al ; 2017**). Via les protéines, leur consommation contribue à la diminution du taux de cholestérol Chapitre I - Le haricot et la symbiose légumineuse-microorganismes 12 et à la régulation du diabète (**Toews et Wang, 2013**), tandis que la composition phénolique réduit l'incidence du cancer (**Cominelli et al, 2018 ; Yang et al, 2020**). La consommation de haricot réduit le risque d'accident cardio-vasculaire (**Gomes et al, 2020**) et d'autres effets ont été rapporté comme anti-obésité (**Shi et al, 2020**), antioxydants et anti-inflammatoires (**Chen et al, 2019 ; Carbas et al, 2020 ; Yang et al, 2020**). Les acides phénoliques réduisent le risque de maladies dans le tube digestif (**Moreno-Jiménez et al ; 2015**) et la quantité élevée d'amidon résistant réduit l'indice glycémique et le risque de maladies chroniques (**Mojica et al, 2017**).

PARTIE II : MATERIEL ET METHODES

PARTIE II : MATERIEL ET METHODES

2.1. Méthodologie du travail

L'expérimentation réalisée a porté sur l'adjonction de l'acide salicylique à deux concentrations 0,25 et 0,50 mM dans deux types d'eaux salines enrichies soit en NaCl , soit en Na₂SO₄ , en vue de leurs utilisations d'une part dans la germination des graines de deux espèces maraichères à savoir la tomate variété Saint Pierre et le haricot variété contenter et de leur croissance et développement de l'autre part, et ce pour l'amélioration de ces deux stades végétatifs affectés négativement par le phénomène de la salinité.

2.2. Matériel végétal utilisé

Le matériel végétal testé repose sur deux espèces maraichères : la tomate (*Lycopersicum esculentum*) variété Saint pierre, et le haricot (*Phaseolus vulgaris*), variété Contenter. Le choix de ces espèces se justifie par la résistance moyenne et la sensibilité à la salinité, et la rapidité de croissance respectivement.

La variété Saint pierre est une variété à croissance indéterminée, vigoureuse, à feuilles moyennes, très précoce, productive, résistante à la chaleur, peu sensible aux maladies. Ses fruits, gros aplatis et un peu côtelés, sont d'un rouge éclatant (**Kolev in SNOUSSI 2001**) .La Saint Pierre est une variété très cultivée en Algérie, utilisée pour la consommation en frais.

Le choix de cette espèce se justifie par ses réactions rapides au changement du milieu, sa rapidité de croissance et surtout sa tolérance moyenne aux sels.

Aussi, la tomate reste en Algérie la culture la plus appréciée et la plus répandue après la pomme de terre, tant en plein champ que sous abris.

Le haricot contenter est assez cultivé en Algérie. C'est une variété vigoureuse, très précoce très productive qui supporte les variations de température. Les gousses sont longues, vertes, droites et charnues.

C'est une variété résistance au Virus I (Mosaïque), tolérante à la grasse, mais cependant sensible à l'anthracnose. Contrairement à la tomate, le haricot est une plante sensible à la salinité.

2.3 Conditions expérimentales

2.3.1 Lieu des expériences, substrat, containers

Les deux cycles d'expérimentation se sont déroulés au sein du laboratoire de recherche de Biotechnologie des Productions Végétales, situé au département de Biotechnologie et Agro-écologie de l'Université de Blida1 dans une serre de polyester translucide dont l'orientation est Nord- Sud. L'aération est assurée par une vingtaine de fenêtres placées latéralement de part et d'autre de la serre.

Le chauffage de la serre en période froide est réalisé à l'aide de radiateurs à eau chaude.

Le substrat utilisé pour les essais est le gravier roulé de rivière (3 - 8 mn). Avant son utilisation une procédure de désinfection a été utilisée afin de supprimer les risques de contamination fongique.

- Lavage abondant à l'eau pour éliminer toutes les particules terreuses.
- Remplissage des pots (containers).
- Arrosage des pots avec une solution d'hypochlorite de sodium à 12%
- Couverture des pots traités avec un film plastique pour empêcher la valorisation de la solution d'hypochlorite de sodium et cela pendant 48 h.
- Rinçage abondant à l'eau pour éliminer toutes les traces d'hypochlorite de sodium, fortement nocives pour les jeunes plantules.

Les containers utilisés sont des pots en polyéthylène de couleur grise, de capacité 3,5 l et présentant des orifices de drainage à leur base permettant l'évacuation des eaux de drainage.

2.3.2 Dispositifs expérimentaux mis en place pour l'essai plantes entières.

Les dispositifs expérimentaux adoptés sont des plans sans contrôle d'hétérogénéité (randomisation totale), dans lesquels l'affectation des traitements s'est faite d'une manière aléatoire selon la table des permutations des nombres aléatoire de 1 à 20. Chaque traitement avait 08 observations ou répétitions, soit 88 plantes par espèces et 176 plants au total.

Tableau 6: dispositifs expérimentaux adoptés

P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8
P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7
P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4
P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3
P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1
↑ Essai Tomate Essai Haricot ↓										
P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8	P8
P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7	P7
P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4
P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P3
P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2	P2
P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1
T1	T7	T5	T8	T3	T2	T10	T4	T11	T6	T9

P = Plant,

T1 T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11 : représentent les traitements testés.

T1 : Eau saline à base de Na₂SO₄

T2 : Eau saline à base de NaCl

T3 : Eau saline à base de Na₂SO₄ + Acide salicylique à 0,5 Mm

T4 : Eau saline à base de NaCl + Acide salicylique à 0,5 Mm

T5 : Eau saline à base de Na₂SO₄ + Acide salicylique à 0,25 Mm

T6 : Eau saline à base de NaCl + Acide salicylique à 0,25 Mm

T7 : Eau saline à base de Na₂SO₄ + Acide salicylique à 0,5 Mm + Pulvérisation foliaire 0,5 Mm A.S

T8 : Eau saline à base de NaCl + Acide salicylique à 0,5 Mm+ Pulvérisation foliaire 0,5 Mm A.S

T9 : Eau saline à base de Na₂SO₄ + Acide salicylique à 0,5 Mm + Pulvérisation foliaire 0,25 Mm A.S

T10 : Eau saline à base de NaCl + Acide salicylique à 0,25 Mm + Pulvérisation foliaire 0,25 Mm A.S

T11 : Solution nutritive à base d'eau de Blida corrigée

2.4 Expérimentation relative à l'essai germination des graines des deux espèces testées

2.4.1 Essai de germination des graines de tomate

Ce travail a porté sur l'évolution de la germination des graines de tomate dans des boîtes de pétrie à raison de 05 boîtes de 20 graines selon 07 traitements soit $5 \times 20 \times 7 = 700$ graines qui ont été mises dans un phytotron réglé à 25°C. Les boîtes de pétrie ont été tapissées de papier buvard imbibé selon chacun des traitements cités ci-dessous.

2.4.2 Essai de germination des graines de haricot

Cet essai a porté sur l'évolution de la germination des graines de haricot dans des boîtes de pétrie à raison de 05 boîtes de 10 graines selon 07 traitements soit $5 \times 10 \times 7 = 350$ graines qui ont été mises dans un phytotron réglé à 25°C. Les boîtes de pétrie ont été tapissées de papier buvard imbibé selon chacun des traitements cités ci-dessous

2.4.3 Synthèse des traitements testés.

2.4.3.1 Composition de l'eau saline utilisée

En pratique l'eau saline n'étant pas disponible en volume suffisant pour être expérimentée sur le lieu de l'expérimentation, il a fallu donc la reconstituer à partir de l'eau de Blida, en apportant les éléments manquants (tableau 7).

Tableau 7 : Composition de l'eau saline naturelle (meq /l).

Composition	pH	HCO ₃ ⁻	C.E en mmhos /cml	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
Composition Eau de Blida	7,6	4,08	0,59	0,35	00	00	0,60	0,80	1,30	2,80	1,80	00
Composition de l'eau saline naturelle	7,8	6,51	2,87	0,35	00	00	14,45	9,40	9,90	9,25	9,20	0,35

On remarque à travers cette composition qu'il y a trop de Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, SO₄⁻ et de Cl⁻, par contre on enregistre un manque de NO₃⁻ et PO₄³⁻ et de potasse (tableau 1).

L'eau saline existante bien en Algérie (eau d'oued Cheliff). Elle présente un faciès ionique chloruré sodique :



2.4.3.2 Elaboration de deux séries de solutions d'irrigation.

Les deux séries de solutions d'irrigation ont été faite selon les deux tableaux ci-dessous en maintenant constant dans l'eau saline naturelle le total sodium, magnésium, sulfates, chlorures avec une légère variation du calcium. (Tableaux 8, 9,).

Tableau 8 : Série 1 où le sodium Na⁺ est lié aux sulfates : pH= 7,8

H2O Blida → ↓	NO3 0,35	PO4 00	SO4 0,80	Cl 0,60	TOTAL H2O saline ↓
K=0					0,35
Na= 1,30			8,60		9,90
Ca= 2,80				6,45	9,25
Mg= 1,8				7,40	9,20
HCO3= 4,08					6,51
Total	0,35	00	9,40	14,45	←

Tableau 9 : Série 2 où le sodium Na⁺ est lié aux chlorures : pH= 7,8

H2O Blida → ↓	NO3 0,35	PO4 00	SO4 0,80	Cl 0,60	TOTAL H2O saline ↓
K=0					0,35
Na= 1,30				8,60	9,90
Ca= 2,80				5 ,25	8,05
Mg= 1,8			8,60		9,20
HCO3= 4,08					6,51
Total	0,35	00	9,40	14,45	←

2.4.3.3 Elaboration des traitements testés :

Les différents traitements testés pour l'essai de germination sont présentés selon le tableau ci-après :

Tableau 10 : Présentation des différents traitements testés pour l'essai de germination

Sels utilisés En meq/l → Traitements ↓	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl	MgSO ₄	Acide salicylique Mmole/l	Acide salicylique Mmole/l
T1	8,60	6,45	7,40	-	-	-	-
T2	-	5,25	-	8,60	8,60	-	-
T3	8,60	6,45	7,40	-	-	0,5	-
T4	-	5,25	-	8,60	8,60	0,5	-
T5	8,60	6,45	7,40	-	-	-	0,25
T6	-	5,25	-	8,60	8,60	-	0,25
T7 témoin Eau	-	-	-	-	-	-	-

2.4.3.4 Préparation de l'acide salicylique.

Il a été procédé de la manière suivante :

- La molarité de l'acide salicylique C₆H₄(OH) COOH = 138,12g/Mole
- La molarité en mM est de : 0,13812mg/Mole
- La préparation d'une solution mère concentrée [400 fois] d'acide salicylique sera de 55,25 mg/l
- La concentration de [0,5 mM] d'acide salicylique sera de 0,13812 x 0,5 = 0,07 mg/l
- Une solution mère concentrée [400 fois] d'acide salicylique = 55,25 mg/l
- Ceci donnera ce qui suit : 1000ml → 55,25 mg d'acide salicylique

$$X \text{ ml} \leftarrow 0,07 \text{ mg d'acide salicylique}$$

$$X = 1,27 \text{ ml/l de solution d'irrigation}$$

- La concentration de [0,25 mM] d'acide salicylique sera de 0,13812 x 0,25 = 0,03 mg/l
- La concentration de 0,03 mg/l est équivalente à : 0,542 ml/l de solution d'irrigation

2.5 Expérimentation relative aux plantes adultes de tomate et de haricot

Cette expérimentation a porté sur le comportement des deux espèces maraichères en fonction des différents traitements testés à raison d'une plante par espèce et par pot muni d'un orifice de drainage

permettant l'évacuation des eaux en excès soit : 11traitements x8 répétitions = 88 plantes par espèce, soit 176 plantes au total.

Il y a lieu de rappeler que lors de cette expérimentation, il a été testé également l'effet de l'irrigation par pulvérisation foliaire à raison de deux applications par semaine, selon les deux concentrations retenues (0,25 et 0,50 mM d'acide salicylique).

2.5.1 Traitements testés pour les plantes adultes

Les différents traitements testés dans l'expérimentation réservée aux plantes adultes des deux espèces utilisées sont présentés dans le tableau 11.

Tableau 11: traitements testés pour les plantes adultes

Sels utilisés En meq/l → Traitements↓	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl	MgSO ₄	Acide salicylique Mmole/l	Pulvérisation foliaire 2fois/semaine
T1	8,60	6,45	7,40	-	-	-	-
T2	-	5,25	-	8,60	8,60	-	-
T3	8,60	6,45	7,40	-	-	0,5	-
T4	-	5,25	-	8,60	8,60	0,5	-
T5	8,60	6,45	7,40	-	-	0,25	
T6	-	5,25	-	8,60	8,60	0,25	-
T7	8,60	6,45	7,40	-	-	0,5	T3
T8	-	5,25	-	8,60	8,60	0,5	T4
T9	8,60	6,45	7,40	-	-	0,25	T5
T10	-	5,25	-	8,60	8,60	0,25	T6
T11	Solution nutritive élaborée à base d'eau de Blida						

2.5.1.1 Caractéristiques de l'eau utilisée pour la préparation des solutions nutritives et Correction.

Compte tenu des besoins en eau important des cultures, nous ne pouvions donc employer de l'eau déminéralisée. Nous avons alors préparé toutes les solutions nutritives du réseau de distribution d'eau potable de Blida.

La teneur des différents éléments minéraux contenus dans cette eau, exprimée en meq/l est la suivante.

K ⁺	Ca ⁺⁺	Na ⁺	Mg ⁺⁺	No ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	PH
0	2.8	1.3	1.8	0.35	0.8	0.6	4.08	7.8

Une correction de PH est nécessaire, et consiste à ramener le PH de 7.8 à 5.8 (PH favorable à la croissance et au développement des plantes). Ce réajustement partiel de PH par l'acide nitrique va permettre la décomposition des bicarbonates, et de compenser l'effet alcalinisant du milieu.

2.5.1.2 Composition des solutions nutritives et techniques de préparation

La façon de calculer la composition de la solution nutritive n'est pas la même si nous avons une eau très peu chargée ou au contraire très chargée en ions.

2.5.1.2.1 Formule de solution nutritive avec une eau naturelle peu chargée en ions : Cas de l'eau de Blida.

Pour ce type de solution nutritive, l'eau renferme des teneurs insuffisantes pour certains éléments utiles (NO₃⁻, K⁺). Parfois des éléments tels que le sodium, le calcium et les sulfates peuvent se trouver à des concentrations supérieures au besoin des plantes. (Tableau 12).

Tableau 12: Composition eau de Blida en meq/l Tableau 13 : Eau de Blida corrigée en meq/l

H ₂ O Blida	NO ₃ ⁻ 0,35	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻ 0,80	Cl ⁻ 0,60	Total	H ₂ O Blida	NO ₃ ⁻ 0,35	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻ 0,80	Cl ⁻ 0,60	Total
K ⁺ =0					0	K ⁺ =0	3,55				4,25
Na ⁺ =1,3					1,30	Na ⁺ =1,3					1,30
Ca ⁺⁺ =2,8					2,80	Ca ⁺⁺ =2,8	2,30				5,10
Mg ⁺⁺ =1,8					1,80	Mg ⁺⁺ =1,8					1,80
NH ₄ ⁺ =0					0	NH ₄ ⁺ =0	1,80				1,80
HCO ₃ ⁺ =4,08					4,08	H ⁺	2,20	1,10			3,30
Total	0,35		0,80	0,60		Total	10,20	3,30	1,50	0,60	

pH = 7,8

pH = 5,8

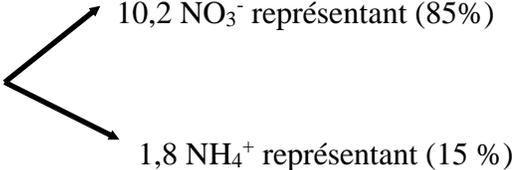
D'une façon générale, pour une eau peu chargée en sels, on peut rajouter des éléments pour corriger les déficits et équilibrer la balance anionique et cationique.

La formule de solution nutritive peu chargée en ions correspond au traitement témoin (T₄) synthétisé avec l'eau de Blida selon les normes définies par COIC et Lesaint [9]

Les différentes étapes adoptées pour la réalisation de cette solution sont les suivantes

a/ Sur le tableau 1, on reporte pour chaque anion et cation les quantités contenues dans l'eau exprimées en meq/l.

b/ l'apport d'azote est fixée à 12 meq/l



```
graph LR; A[12 meq/l] --> B[10,2 NO3- représentant (85%)]; A --> C[1,8 NH4+ représentant (15 %)]
```

c/ l'apport de chlorure et de sodium étant au-delà des besoins normaux des plantes (0,2 meq/l) aucun apport complémentaire n'est nécessaire.

d/ L'apport de phosphore est fixé à 3,3 meq/l de H₃PO₄ en comptant de façon théorique, P présent sous la forme trivalent PO₄⁼. 1,1 meq/l de H₃PO₄ satisfont les besoins.

e) La quantité d'acide nécessaire pour ajuster le PH de l'eau à 5,8 est de 3,3 meq/l. Ceci permet de satisfaire la totalité du besoin en P en apportant 1,1 meq/l de H₃PO₄. Les 2,2 meq/l seront apportés par de l'acide nitrique et satisfont une partie de l'apport de nitrates.

f/ A ce niveau, on fait le bilan des anions restant à introduire dans la solution nutritive.

1. Nitrates - besoins : 10,2 meq/l

- déjà disponibles : 0,35 meq/l (eau) + 2,2 meq/l (correction de pH = 2,55meq)

- à apporter 10,2 meq/l - 2,55 meq/l = 7,65 meq/l

2. Sulfates - besoins : 1,5 meq/l

- déjà disponibles 0,8 meq/l

- à apporter 1,5 meq - 0,8 meq/l = 0,7 meq/l

3. L'apport d'ammonium ($1,8 \text{ meq/l NH}_4^+$) est assuré par l'emploi de $\text{NO}_3 \text{ NH}_4$ qui assurera en même temps l'apport de $1,8 \text{ meq/l}$ de NO_3^- . Les anions disponibles pour apporter un complément de K, Ca et Mg sont désormais les suivantes :

Nitrates: $7,65 \text{ meq/l} - 1,8 \text{ meq/l} (\text{NO}_3 \text{ NH}_4) = 5,85 \text{ meq/l}$

Sulfates : $0,7 \text{ meq/l}$

→ **Total = 6,55 meq/l.**

4. Somme totale des cations K, Ca et Mg dans la solution nutritive finale $\text{meq/l} = (\text{K} + \text{Ca} + \text{Mg})$ déjà présents dans l'eau + $(\text{K} + \text{Ca} + \text{Mg})$ apportés sous forme de nitrates et de sulfates.

$$\text{Total} = (0 + 2,8 + 1,8) + 6,55 = 11,15 \text{ meq/l.}$$

Selon les normes définies par Y Coic et C. Lesaint () les proportions relatives de ces 3 éléments doivent être proches des valeurs suivantes :

K / 39,6 %

Ca : 47,6%

Mg 12,8 %

→ Ce qui donne dans le cas présent :

$$\text{K (4,41 meq/l)} + \text{Ca (5,31 meq/l)} + \text{Mg (1,43 meq/l)} = 11,15 \text{ meq/l.}$$

Apport à réaliser, sous déduction de ce qui est déjà présent dans l'eau.

$$\text{K (4,41 meq/l)} , \text{Ca (2,51 meq/l)} \text{ et } 0 \text{ meq/l (Mg).}$$

L'apport de Mg n'est pas nécessaire : la teneur de l'eau est supérieure à l'apport souhaitable. Les $11,15 \text{ meq/l} - 1,8 \text{ meq/l (Mg)} = 9,35 \text{ meq/l}$ d'anions sont donc à partager entre K et Ca en respectant les proportions $\text{K/Ca} = 39,6/47,6$ soit

$$\text{K} = 9,35 \times \frac{39,6}{39,6+47,6} = 4,25 \text{ meq/l}$$

$$\text{Ca} = 9,35 \times \frac{47,6}{39,6+47,6} = 5,1 \text{ meq/l} \rightarrow \text{Ca} = 5,1 - 2,8 = 2,3 \text{ meq/l}$$

Tableau 14 : Composition de la solution nutritive à base d'eau de Blida (meq /l).

Composition	pH	C.E en mmhos /cm	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	PO ₄ ³⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
Composition Eau de Blida	7,3	0,59	0,35	00	00	0,60	0,80	1,3	2 ,80	1,80	00
Composition de la solution nutritive	5,8	1,56	10,20	1,80	1,10	0,60	0,80	1,3	5,10	1,80	4,25

La solution nutritive est composée également d'une solution complémentaire d'oligo-éléments dont il a été procédé au prélèvement de 0,1 ml de la solution A et de 5 ml de la solution B par litre de solution nutritive prête à l'utilisation.

Solution A : Molybdate d'ammonium (0,5 g/l) + Acide borique (15g/l) +Sulfate de manganèse (20g/l) +Sulfate de cuivre (2,5g/l) +Sulfate de Zinc (10g/l)

Solution B : Séquestrène de fer à raison de 2 g/l

2.5.1.2.2 Formule de solution nutritive pour une eau naturelle chargée en ions : Cas de l'eau d'Oued Cheliff

Pour ce type de solution nutritive, l'eau renferme des teneurs nettement supérieures aux besoins de certaines espèces végétales cultivées, notamment pour le cas du sodium, du calcium, du magnésium, des sulfates et des chlorures. Dans ce cas de figure, on ne s'occupera pas de l'équilibre K, Ca et Mg.

En pratique l'eau saline d'Oued Cheliff n'étant pas disponible en quantité suffisante pour être expérimenté à Blida, il a fallu la reconstituer à partir de l'eau de Blida (tableau 7 - 8 ci-dessous). De façon pratique, cette reconstitution ne peut être « à l'identique » si l'on veut respecter un pH final de 5,8. Par conversion, on s'attache donc à respecter les concentrations en cations et à admettre une légère variation de la concentration en chlorures et sulfates.

Comme précédemment indiqué (II-3-2-1) ; il faut 3,3 meq d'acide fort pour corriger le pH de l'eau de Blida, ainsi répartis :

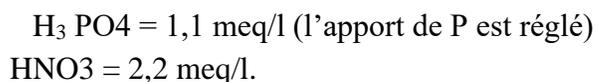


Tableau 15 : composition de l'eau saline naturelle testée (meq/l)

	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca/K	CE mmhos/cm
pH = 7.8 Oued cheliff	0.35	0	9.35	14.86	6.51	9.90	9.25	9.20	0.35	26.42	2.87
Eau de Blida pH = 7,8	0.35	0	0.80	0.60	4.08	1.30	2.80	2.80	0.00	-	0.59

Les différentes étapes à suivre pour la réalisation de cette solution nutritive sont les suivantes :

La reconstitution a été réalisée comme suit :

- En prenant en compte les éléments minéraux déjà présents dans l'eau de Blida (anions et cations).

- En apportant les éléments manquants afin d'avoir un total anion et cation le plus proche possible de l'analyse initiale.

D'une façon générale, on observe une variabilité des concentrations ioniques au niveau des éléments (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻, et SO₄²⁻). Les sulfates, les chlorures, le sodium, le calcium et le magnésium sont les ions prédominants. Les concentrations d'azote et de potassium sont faibles, tandis que celle des phosphates est négligeable. (Tableau 16)

Cette eau présente un faciès chloruré sodique. Leur composition est du type

$$rMg \leq rCa \leq rNa \quad \text{et} \quad rCO_3H < rSO_4 < rCl$$

r = expression en équivalent.

En conséquence cette eau a une concentration ionique qui leur confère un risque de salinisation élevée, entraînant des phénomènes de toxicité par les ions Na⁺, Cl⁻ et les sels de magnésium tous solubles dans l'eau.

Tableau 16 : Eau d'Oued Cheliff naturelle, reconstituée avec l'eau de Blida

H ₂ O Blida	NO ₃ ⁻ 0,35	PO ₄	SO ₄ 0,80	Cl ⁻ 0,60	Total
K ⁺ = 0				0,35	0,35
Na ⁺ =1,30			1,14	7,46	9,90
Ca ⁺⁺ =2,80				6,45	9,25
Mg ⁺⁺ =1,80			7,40		9,20
NH ₄ ⁺ =0					
HCO ₃ ⁻ =4,08					6,51
Total	0,35		9,34	14,86	

Un tel environnement ionique n'est pas sans conséquence sur le rendement que la qualité des cultures pratiquées. L'observation de l'état végétatif d'espèces légumières telles que : la tomate (variété : Saint pierre moyennement sensibles) et le haricot (variété : sensible à la salinité) montre qu'il s'agit là d'un problème physiologique de type carence et ou toxicité (jaunissement et dessèchement du feuillage, et des plants, floraison défailante) qui serait directement lié à une salinité excessive des eaux et à des manques d'éléments nutritifs indispensables. L'entrée de l'eau dans les tissus du cortex racinaire est principalement assurée par capillarité et osmose en réponse à la demande climatique. Elle est donc d'autant plus facile que la solution du sol a une pression osmotique plus faible. Au fur et à mesure que la salinité de la solution du sol s'élève, son potentiel osmotique diminue, ce qui réduit la disponibilité de l'eau pour la plante : A cet effet « soif » s'ajoute, lorsque le niveau de salinité est important, une absorption déséquilibrée des ions qui peut conduire à l'intoxication de la plante.

Notre première préoccupation a donc été d'éclaircir ces points d'importance capitale pour permettre le développement de l'agriculture dans les régions où l'eau disponible présente une forte minéralisation, défavorable à son utilisation en agriculture.

2.6 Entretien des cultures

Les cultures entreprises nécessitent des opérations d'entretien suivantes :

2.6.1 Cas du Haricot

- Irrigation quotidienne avec les différents traitements à raison d'une, deux et même trois irrigation en fonction des conditions ambiantes et du stade de développement végétatif de l'espèce étudiée
- Palissage à la ficelle afin de tenir les plantes dressées
- Traitements phytosanitaires alternés : Pérимор (insecticide) : 0,75 g/l et Manèbe (fongicide) 2,4g/l

2.6.2 Cas de La Tomate:

- Irrigation quotidienne avec les différents traitements à raison d'une, deux et même trois irrigation en fonction des conditions ambiantes et du stade de développement végétatif de l'espèce étudiée
- Ebourgeonnage à l'aisselle des feuilles
- Palissage à la ficelle afin de tenir les plantes dressées
- Etêtage au-dessus du 2e bouquet floral.
- Traitements phytosanitaires alternés : Pérимор (insecticide) : 0,75 g/l et Manèbe (fongicide) : 2,4g/l

2.7 Paramètres étudiés

2.7.1 Essai relatif à la germination des graines

En cours de cette expérimentation, nous avons réalisé des relevés et mesures ayant porté sur :

2.7.1.1 Taux de germination quotidien et final par traitement : le comptage des graines germées est effectué à 24 heures d'intervalle, afin de déterminer le taux de germination quotidien et de la valeur germinative avec ou sans sels et ce en présence ou en absence d'acide salicylique.

$$TG\% = 100 (XT/N)$$

XT est le nombre total de graines germées et N le nombre total des graines mises à germer

Le taux de germination final, constitue le meilleur moyen d'identification du traitement salin étudié qui présente la limite physiologique de germination des graines des espèces étudiées. Il est exprimé par le rapport nombre de graines germées sur nombre total de graines.

2.7.1.2 Valeur germinative (VG), en tant que mesure intégrée de la qualité des semences, est utilisée par plusieurs spécialistes de la semence (Djavanshir and Pourbeik, 1976) selon la relation suivante .

$$VG = \frac{(\sum VG_j) \times (PG)}{N \times 10}$$

VG = valeur germinative ; PG = % final de germination ; VG_j = vitesse de germination journalière, obtenue en divisant le % de germination cumulé par le nombre de jours écoulés depuis le semis ;

$\sum VG_j$ = total obtenu en additionnant les diverses VG_j déterminées à partir des comptages journaliers.

2.7.1.3 Cinétique de germination : ce paramètre consiste à mieux appréhender la signification écologique du comportement germinatif de l'espèce et de la variété étudiée ainsi que l'ensemble des événements qui commencent par l'étape cruciale d'absorption de l'eau par la graine et se terminent par l'élongation de l'axe embryonnaire et l'émergence de la radicule à travers les structures qui entourent l'embryon. Le nombre de graines germées est noté tous les 24 heures après le début de l'expérience jusqu'à la germination complète.

2.7.1.4 Vitesse de germination : elle permet d'exprimer l'énergie de germination responsable de l'épuisement des réserves de la graine. La vitesse de germination est estimée par le temps moyen (t₅₀) qui correspond à la germination de 50% du lot de graines .

2.7.2 Essai relatif aux plantes entières

Des pots en plastique à fond perforé à la base afin d'assurer un bon drainage sont remplis de gravier roulé 3-8 mm, lavé et désinfecté à l'hypochlorite de sodium, puis abondamment rincé à l'eau courante afin d'éliminer toute trace d'hypochlorite de sodium fortement nocive pour les jeunes plantes de tomate et de haricot.

Tout au long de l'expérimentation des paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques ont été mesurés sur les plantes de chaque traitement.

2.7.2.1 Mesures des paramètres biométriques

2.7.2.1.1 Rythme de croissance des plantes :

La mesure de la longueur des tiges a été réalisée toutes les semaines du collet jusqu'à l'apex et ce dès l'apparition des vraies feuilles. . Les mesures ont été faites sur toutes les plantes expérimentées et pour chacun des traitements afin de voir le rythme de croissance des plantes.

2.7.2.1.2 Hauteur finale des plantes :

La hauteur finale des tiges a été mesurée à partir de collet jusqu'à l'apex au niveau de chaque plante et de chaque traitement. Les résultats relatifs au paramètre mesuré, sont présentés dans les figures correspondantes.

2.7.2.1.3 Diamètre des tiges :

En fin de cycle végétatif, le diamètre des tiges a été mesuré grâce à un pied à coulisse en centimètre (cm) au niveau de chaque plante et pour chacun des traitements du dispositif expérimental.

2.7.2.1.4 Nombre de feuilles par plante

Ce paramètre a été réalisé en fin de cycle végétatif sur toutes plantes de chacun des traitements.

2.7.2.1.5 Surface foliaire :

La surface foliaire a été mesurée à l'aide d'un logiciel Digimizer à trois périodes du cycle de développement des deux espèces étudiées. Trois feuilles par plante, par espèce et par traitement ont été prises, sur lesquelles les mesures ont été effectuées, et ce durant trois périodes du cycle de leur développement.

2.7.2.1.6 Biomasse fraîche produite :

Ce paramètre consiste à peser les différents organes de la plante en gramme au niveau de chaque traitement et ce pour toutes les plantes à l'aide d'une balance. Les pesées ont porté sur le poids frais des feuilles, des tiges et des racines en fin de cycle végétatif.

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

2.7.2.1.7 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. Les paramètres mesurés ont été réalisés au niveau de chaque traitement et pour toutes les plantes du dispositif expérimental.

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

2.7.2.1.8 Estimation de la floraison, et de la nouaison,

L'estimation de ces paramètres consiste à faire un suivi quotidien sur la totalité des plantes de chaque traitement afin de noter l'apparition des fleurs ouvertes, et leur passage au stade petit fruit ou nouaison. Par la suite, en fonction du comptage des fruits par plante et traitement selon le nombre de fleurs formées, on déduit le taux d'avortement qui représente les fleurs n'ayant pas nouées.

2.7.2.2. Dosages des paramètres physiologiques

2.7.2.2.1 Contenu relatif en eau (RWC) en milieu non salin et salin :

En date du 06/03/2021 soit 73 jours après repiquage des graines germées de tomate, il a été procédé à la pesée de trois fragments foliaires frais par traitement. Les poids frais déterminés sont suivis d'une saturation à l'eau distillée et par les différents traitements pendant 48 heures à l'obscurité à 4°C, puis pesés par la suite pour déterminer le poids des fragments complètement turgescent. Ces derniers sont essuyés au papier absorbant, puis placés dans l'étuve à 80°C jusqu'à stabilité du poids sec, et mesurés 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 turgescent

2.7.2.2.2 Indice de tolérance à la salinité

L'indice de tolérance à la salinité est calculé par le rapport entre la biomasse sèche racinaire obtenue sur le milieu salin est celle obtenue sur le milieu dépourvu de salinité (témoin)

$$\text{ITS} = \frac{\text{Biomasse sèche racinaire du traitement salin}}{\text{Biomasse sèche du traitement non salin (témoin)}}$$

2.7.2.3 Dosage des paramètres biochimiques

2.7.2.3.1 Dosage de la chlorophylle : en $\mu\text{g/g}$ MF

La chlorophylle a et b a été déterminée durant les différents stades végétatifs pour les plants stressés et non stressés, la prise de 0,1 g d'échantillon de feuille de chaque traitement a été extraite et plongé dans 10 ml d'acétone. La teneur totale en chlorophylle a été déterminée par spectrophotométrie à 645 et 663 nm (Arnon, 1949). La détermination des teneurs est réalisée selon les formules :

<p>➤ $\text{Chl a } (\mu\text{g/g MF}) = 12,7 \times \text{DO}_{(663)} - 2,59 \times \text{DO}_{(645)} \times V / (1000 \times W).$</p> <p>➤ $\text{Chl b } (\mu\text{g/g MF}) = 22,9 \times \text{DO}_{(645)} - 4,68 \times \text{DO}_{(663)} \times V / (1000 \times W).$</p>

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

2.7.2.3.2 Dosage de la proline : en $\mu\text{g/g}$ MF

La proline a été dosée selon la technique utilisée par **Troll et Lindsles**, et simplifiée par **Monneveux et Nemmar (1986)**.

Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectro-photométrique.

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 100 mg 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 60 min.
- Après refroidissement :
 - Prélever 1 ml de la solution de chaque tube.

- Mettre dans de 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 ortho phosphorique.
- Porter les tubes à essai à ébullition au bain marie durant 30 min.
- Après refroidissement des solutions :
- Ajouter 5 ml de toluène dans chaque tube.
- Après agitation au vortex deux phases apparaissent.
- Prélever la phase supérieure.
- Ajouter 5 mg du 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 528 nm.

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

$$\text{Proline } (\mu\text{g/g MF}) = \text{DO}_{528} * 0.62$$

2.8. Analyse des données.

Les données obtenues sont soumises à une analyse de la variance à un facteur étudié (Traitement La comparaison des moyennes a été faite avec à l'aide du test Fisher-Snedecor à P=5%, . Une valeur de Probabilité (P) de 0,05 a été considérée comme statistiquement significative alors qu'une valeur de (P) inférieure à 0,05 a été considérée comme hautement significative.

PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Essai relatif à la germination des graines de tomate et de haricot

Les résultats relatifs à cet essai sont les suivants :

3.1.1 Taux de germination quotidien par traitement : Le comptage des graines germées de tomate et de haricot est effectué à 24 heures d'intervalle, afin de déterminer le taux de germination quotidien au niveau des différents traitements en présence ou en absence d'acide salicylique, et ce jusqu'à la durée complète de la germination.

$$TG\% = 100 (XT/N)$$

XT est le nombre total de graines germées et N le nombre total des graines mises à germer

3.1.1.1 Taux de germination quotidien de la tomate :

Les résultats relatifs à ce paramètre sont présentés dans le tableau 17

Selon le tableau 17, les graines de tomate n'ont commencé qu'à germer qu'après 04 jours d'incubation à l'étuve à 25°C, Dès le 5^{ème} jour, la germination des graines de tomate dans l'eau est la plus élevée (26,25%) comparativement aux autres traitements testés où les taux de germination varient entre 5 et 11,25%

Tableau 17 : Taux de germination quotidien de la tomate : en %

Traitement	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Période du 23 au 26/12/2020	00	00	00	00	00	00	00
TG1 27/12/2020	6,25 ± 2,50 ab	11,25 ± 2,50 c	5,00 ± 0,00 a	5,00 ± 0,00 a	10,00 ± 0,00 bc.	5,00 ± 0,00 a	26,25 ± 2,50 d
TG2 28/12/2020	23,75 ± 2,50 c	23,75 ± 4,79 c	10,00 ± 0,00 a	13,75 ± 2,50 a	15,00 ± 0,00 ab	22,50 ± 2,89 bc	55,00 ± 5,77 d
TG3 29/12/2020	37,50 ± 2,86 ab	46,25 ± 2,50 b	36,25 ± 6,29 a	42,50 ± 2,89 ab	18,75 ± 6,29 ab	41,25 ± 2,50 ab	61,25 ± 2,50 c
TG5 31/12/2020	72,50 ± 8,66	68,75 ± 10,31	62,50 ± 2,89	61,25 ± 6,29	56,25 ± 11,09	80,00 ± 5,77	62,50 ± 5,00

	a	a	a	a	a	a	a
TG6 1/1/2021	73,75 ± 7,50 a	70,00 ± 12,25 a	66,25 ± 7,79 a	62,50 ± 6,45 a	60,00 ± 8,16 a	82,50 ± 5,00 a	62,50 ± 5,00 a

Ce taux s'élève à 61,25% au 7^{ème} jour puis stagne à 62,50% jusqu'à la durée complète de la germination.

3.1.1.2 Taux de germination quotidien du haricot :

Les résultats relatifs à ce paramètre sont présentés dans le tableau 18

Selon le tableau 18, les graines de haricot n'ont commencé qu'à germer qu'après 01 jours d'incubation à l'étuve à 25°C et ce au niveau des traitements T1 et T2 (milieux enrichis en NaCl et Na₂SO₄).

Tableau 18: Taux de germination quotidien du haricot : en %

Traitement	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Mise en étuve 23/12/2020	00	00	00	00	00	00	00
TG1 24/12/2020	10.00 ± 0.00 a	10.00 ± 0.00 a	00.00 ± 0.00 a	00.00 ± 00.00 a	10.00 ± 0.00 a	0.00 ± 0.00 a	0.00 ± 0.00 a
TG2 25/12/2020	40.00 ± 0.00 b	37.50 ± 5.00 b	35.00 ± 5.77 b	42.50 ± 5.00 bc	40.00 ± 0.00 b	50.00 ± 0.00 c	20.00 ± 0.00 a
TG3 26/12/2020	65.00 ± 5.77 bc	52.50 ± 5.00 b	67.50 ± 5.00 bc	70.00 ± 8.16 c	72.50 ± 5.00 c	70.00 ± 11.55 c	20.00 ± 0.00 a
TG4 27/12/2020	67.50 ± 9.57 bc	65.00 ± 5.77 b	72.50 ± 9.57 bc	75.00 ± 5.77 bc	85.00 ± 5.77 c	82.50 ± 9.57 bc	25.00 ± 5.77 a
TG5 28/12/2020	70.00 ± 11.55 bc	65.00 ± 5.77 b	72.50 ± 9.57 bc	77.50 ± 9.57 bc	85.00 ± 5.77 c	85.00 ± 5.77 c	27.50 ± 5.00 a

Dès le 3^{ème} jour, la germination des graines de haricot au niveau du traitement T6 (eau saline enrichie de NaCl + A.S à 0,25Mmole est la plus élevée (50%) comparativement aux autres traitements testés où les taux de germination varient entre 20 et 42,50% .Ce taux s'élève à 70% au 4^{ème} jour puis stagne à 85% jusqu'à la durée complète de la germination.

La précocité de germination observée chez les deux espèces est variable selon les différents traitements testés. Néanmoins, les graines de haricot sont remarquablement plus précoces que celles de la tomate, car même placées dans les mêmes conditions expérimentales, le début d'apparition de la racicule à travers les téguments n'a pas eu lieu en même temps chez toutes les graines des différents traitements et pour chacune des deux espèces testées.

Lorsque les graines sont soumises aux différents traitements salins avec ou sans apport d'Acide salicylique, la germination chez la tomate est ralentit au 2^{ème} jour du déclenchement de la germination, néanmoins, on constate que qu'au niveau des milieux salins à base de NaCl et de Na₂SO₄ semblent présenter un taux de germination identique de l'ordre de 23,75%. L'addition de l'acide salicylique à la concentration de 0,25% améliore davantage la germination des graines des deux espèces testées à compter du 5^{ème} jour d'incubation avec un accroissement remarquable chez le haricot par rapport au même traitement en présence d'une concentration de 0,5% d'acide salicylique.

L'apport de l'AS à 0.25mM modifie le comportement des graines des deux espèces, tomate et haricot sous l'effet du NaCl (T6), puisque les taux de graines germées deviennent plus élevés à compter du 5^{ème} jour d'incubation pour atteindre 80% et 85% respectivement par rapport au même traitement sans A.S (T2).

L'addition d'AS aux traitements salins enrichis de Na₂SO₄ n'a pas eu d'effet remarquable sur la germination, puisque, l'association semble inhiber la germination des graines de la tomate .Le taux de germination diminue, suite à une absence de précocité de germination au niveau des traitements T3 et T5.

Après 6 jours d'incubation à 25°C, la germination des graines de tomate est influencée remarquablement par la présence de l'acide salicylique à la concentration de 0,25 mM où l'on enregistre une germination de 82,50% et ce comparativement à la concentration de 0,5 mM notamment au niveau des traitements T3 et T4 où les taux de germination sont de 66,25 % et 62,50% respectivement. A la même période les graines de tomate au niveau du témoin (eau) manifestent une germination de 62,50% en comparaison avec le haricot qui manifeste une faculté germinative de 27,50%. Ces résultats indiquent que la tomate se comporte comme une plante moyennement tolérante à la salinité. Outre sa bonne capacité germinative, les graines ont exprimé une adaptation à la salinité .En effet, l'expérience menée a montré que l'adjonction de l'acide salicylique à la concentration de 0,25Mmole joue un rôle dans la réponse des plantes à la salinité, quel que soit l'espèce testée, avec une augmentation de la capacité des graines à germer dans des conditions salines, alors que la concentration de 0,5 mM semble rester sans effet remarquable sur le paramètre mesuré.

En effet, l'acide salicylique est un régulateur de croissance endogène de nature phénolique. L'application exogène de l'AS peut influencer une gamme de divers processus, y compris la germination des graines, la fermeture des stomates, l'absorption d'ions et le transport, la photosynthèse et la croissance des plantes (EL TAYEB., 2005).

3.1.1.3 Valeur germinative

(VG), en tant que mesure intégrée de la qualité des semences, est utilisée par plusieurs spécialistes de la semence (Djavanshir and Pourbeik, 1976) selon la relation suivante.

$$VG = \left(\frac{\sum VG_j}{N} \right) (PG\%)$$

VG = valeur germinative ; PG = % final de germination ; VG_j = vitesse de germination journalière, obtenue en divisant le % de germination cumulé par le nombre de jours écoulés depuis le semis ; $\sum VG_j$ = total obtenu en additionnant les diverses VG_j déterminées à partir des comptages journaliers

3.1.1.3.1 Valeur germinative des graines de tomate

Les résultats relatifs à la valeur germinative des graines de tomate sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 19 : Estimation de la valeur germinative de la tomate

Selon la relation de Djavanshir and Pourbeik, (1976)

Paramètres mesurés	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Durée de germination	10 jours						
$\sum VG_j$	26.75	27.87	23.50	24.00	20.75	29.12	33.00
FG Finale	73,75 ± 7,50 a	70,00 ± 12.25 a	66.25 ± 7.79 a	62.50 ± 6.45 a	60.00 ± 8.16 a	82.50 ± 5.00 a	62.50 ± 5.00 a
VG	19.72	20.13	15.56	15.00	12.45	24.02	20.62

Après 4 jours de mise en incubation, les graines de tomate sous l'effet des différents traitements, n'affichent aucune Faculté germinative. A compter du 5^{ème} jour, l'effet traitement semble lever la dormance des graines, ce qui pousse les graines de la tomate d'exprimer respectivement une valeur germinative variable entre 26.75% et 27.87% au niveau des milieux salins enrichis en Na₂SO₄ et NaCl respectivement .La valeur germinative au niveau des graines du témoin (eau) est la plus remarquable avec 33.00% (tableau 2)

Par ailleurs, les graines exposées aux milieux salins avec acide salicylique affichent des valeurs germinatives variant entre 20.75% et 29.12% .Cependant, les graines en présence du NaCl réagissent mieux à l'AS, et notamment à la concentration de 0,25 mM où l'on enregistre au niveau du T6 la valeur germinative la plus élevée 29.12% , bien supérieure à tous les traitements renfermant l'acide salicylique .

Les résultats obtenus révèlent un effet phytohormone remarquable sur les différents traitements testés. En revanche, l'effet salinité au niveau des traitements T1 et T2 manifeste un effet priming positif sur la valeur germinative, si bien que les graines germent assez sensiblement que le témoin T7.

A travers les différentes observations et mesures, on peut conclure selon la relation de la valeur germinative que l'apport de l'acide salicylique à 0,50 mM ne présente aucun effet remarquable sur la qualité des semences de tomate, néanmoins la concentration de 0,25mM agit positivement sur la qualité des semences mise à germer dans le milieu salin à base de NaCl. La valeur germinative exprimée au niveau du traitement T6 est de 29, 12%, largement plus élevée que tous les autres traitements étudiés. L'association acide salicylique / salinité à base de Na₂SO₄ semble inhiber la faculté germinative des graines et donc agit négativement sur la valeur germinative de ces dernières.

3.1.1.3.2 Valeur germinative des graines de haricot

Les résultats relatifs à la valeur germinative des graines de haricot sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 20 : Estimation de la valeur germinative de haricot selon la relation de Djavanshir and Pourbeik, (1976)

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Durée de germination	06 jours						
ΣVG_j	42.08	38.33	41.25	44.16	48.75	47.91	15.41
FG Finale %	70.00 ± 11.55 bc	65.00 ± 5.77 b	72.50 ± 9.57 bc	77.50 ± 9.57 bc	85.00 ± 5.77 c	85.00 ± 5.77 c	27.50 ± 5.00 a
VG	29.45	24.91	29.90	34.22	41.43	40.72	4.23

Après 1 jour de mise en incubation, les graines de haricot sous l'effet des traitements salins exempt d'acide salicylique à savoir T1 et T2 affichent une faculté germination de 10% par rapport aux autres traitements.

A compter du 2^{ème} jour, l'effet traitement semble lever la dormance des graines, ce qui pousse les graines de haricot d'exprimer respectivement une valeur germinative variable entre 24.91% et 29.45% au niveau des milieux salins enrichis en NaCl et en Na₂SO₄ et respectivement. La valeur germinative au niveau des graines du témoin (eau) est la plus remarquable faible 4.23%.

Par ailleurs, les graines exposées aux milieux salins avec acide salicylique affichent des valeurs germinatives variant entre 29.90% et 41.43%. Cependant, les graines en présence du NaCl réagissent mieux à l'AS, et notamment à la concentration de 0,25 mM où l'on enregistre au niveau du T6 la valeur germinative la plus élevée 40.72%, bien supérieure à tous les traitements renfermant l'acide salicylique.

A travers les différentes observations et mesures, on peut conclure selon la relation de la valeur germinative que l'apport de l'acide salicylique à 0,50 mM semble présenter un effet sensiblement remarquable sur la qualité des semences de haricot, néanmoins la concentration de 0,25mM agit positivement sur la qualité des semences mise à germer dans le milieu salin à base de NaCl.

3.1.1.3.3 Synthèse sur la valeur germinative des graines de tomate et de haricot

A travers les principaux résultats relatifs à la valeur germinative des deux espèces étudiées en fonction des différents traitements salins testés en présence ou en absence de l'acide salicylique aux concentrations de 0.5 et 0.25 mMole, nous pouvons dire que ce paramètre consiste à mieux appréhender la signification écologique du comportement germinatif des deux espèces étudiée ainsi que l'ensemble des événements qui commencent par l'étape cruciale d'absorption de l'eau par la graine et se terminent par l'élongation de l'axe embryonnaire et l'émergence de la radicule à travers les structures qui entourent l'embryon.

Le nombre de graines germées est noté toutes les 24 heures après le début de l'expérience jusqu'à la germination complète.

La synthèse des résultats est présentée dans le tableau 21

Il y a lieu de noter que les graines des deux espèces exposées au milieu salin enrichi de NaCl avec acide salicylique à 0.25mMole affichent des facultés germinatives les plus élevées avec des valeurs de 82.50% et 85%, se traduisant ainsi par des valeurs de germinations les plus importantes notamment chez le haricot où l'on enregistre un accroissement de 41.1% par rapport à la tomate. (Tableau 21)

Tableau 21 : Synthèse des principaux résultats relatifs aux Facultés germinatives

Paramètres mesurés	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
FG Finale Tomate	73,75 ± 7,50 a	70,00 ± 12.25 a	66.25 ± 7.79 a	62.50 ± 6.45 a	60.00 ± 8.16 a	82.50 ± 5.00 a	62.50 ± 5.00 a
FG Finale Haricot	70.00 ± 11.55 bc	65.00 ± 5.77 b	72.50 ± 9.57 bc	77.50 ± 9.57 bc	85.00 ± 5.77 c	85.00 ± 5.77 c	27.50 ± 5.00 a
VGT	19.72	20.13	15.56	15.00	12.45	24.02	20.62
VGH	29.45	24.91	29.90	34.22	41.43	40.72	4.23

L'association acide salicylique/salinité enrichie en Na₂SO₄ semble inhiber la faculté germinative des graines de tomate et donc agit négativement sur la valeur germinative de ces dernières.

3.1.1.4 Vitesse de germination : elle permet d'exprimer l'énergie de germination responsable de l'épuisement des réserves de la graine. La vitesse de germination est estimée par le temps moyen (t₅₀) qui correspond à la germination de 50% du lot de graines.

3.1.1.4.1 Vitesse de germination des graines de tomate

Les résultats relatifs à la vitesse de germination des graines de tomate en fonction des différents traitements testés sont présentés dans le tableau 22

Il y a lieu de rappeler que les graines de tomates mises à germer sont au nombre de 20 graines /boite et répétées 04 fois.

On peut définir une population de semences par *son* pouvoir germinatif, c'est-à-dire par le pourcentage de germination obtenu dans les conditions les plus favorables. La perte de ce pouvoir est marquée par l'incapacité de germer quels que soient les traitements appliqués aux semences et les conditions externes. (Tableau ?)

Elle peut résulter d'une déshydratation trop intense et trop rapide de l'oxydation des lipides de réserve, ou bien de la destruction irréversible des protéines. Tableau 22

La vitesse de germination peut également être prise pour critère. Elle peut être quantifiée soit par le temps nécessaire pour obtenir la germination au T/50.

Selon les résultats du tableau, on peut noter que pratiquement tous les traitements testés présentent une vitesse de germination variable entre 2.50% et 6.25% , estimée au t50 correspondant à une durée de germination de 05 jours sur un total de 10 jours d'incubation à l'étuve réglée à 25°C , à l'exception du traitement témoin qui marque un taux de germination au T/50 de **26.25%** et qui s'est stabilisée à 62,50% à la fin de la durée finale d'incubation de 20 jours

Tableau 22 : Vitesse de germination des graines de tomate

Traitements → Paramètres ↓	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Nombre final de graines germées	14.75	14.00	13.25	12.50	12.00	16.50	12.50
Taux de germination final	73,75	70,00	66,25	62,50	60,00	82,50	62,50
Nombre de graines germées au t50	1.25	1.25	0.50	0.50	0.60	0.50	5.25
Taux de germination Au t50	6.25	6.25	2.50	2.50	3.00	2.50	26.25

Aussi, nous pouvons constater que la combinaison salinité / acide salicylique ne présente aucune action remarquable sur la vitesse de germination, puisque au niveau des traitements salins additionnés à l'acide salicylique T3, T4, T5 et T6 la germination des graines au t50 varie entre 2.50 et 3% , par rapport aux eaux salines à base de Na₂SO₄ et NaCl testés . Enfin, les traitements à base de NaCl et Na₂SO₄ semblent manifester une amélioration de la germination au t50 de 6.25% qui se traduit par une germination finale la plus importante (73.75%) au niveau du traitement T1 enrichie en Na₂SO₄ et ce après 10 jours d'incubation.

3.1.1.4.2 Vitesse de germination des graines de haricot

Les résultats relatifs à la vitesse de germination des graines de haricot en fonction des différents traitements testés sont présentés dans le tableau 23

Il y a lieu de rappeler que les graines de haricot mises à germer sont au nombre de 10 graines /boite et répétées 04 fois.

Les résultats du tableau 23 montrent que la germination des graines de haricot est plus précoce au T/50 au niveau du traitement T1 à base de Na₂SO₄ exempt d'acide salicylique de 07.50%, comparativement au traitement T2 à base de NaCl.

Aussi, il y a lieu de noter que les traitements T5 et T6 préalablement imbibées par les différents traitements testés en présence d'acide salicylique à 0.25Mmole, manifestent une précocité de germination au T/50 de 04% et ce à la concentration de 0.25mMole d'acide salicylique. (Tableau)

Au contraire, les graines réagissent faiblement (05.00%) sous salinité à base de NaCl, alors que la germination est inhibée sous stress salin même en présence de l'acide salicylique à 0.50 mM

L'apport de l'AS à 0.25 mM modifie le comportement des graines de haricot sous l'effet de la contrainte saline aussi bien au niveau du traitement enrichi en Na₂SO₄ que celui à base de NaCl puisque les taux de germination finaux deviennent les plus élevés (85%).

Tableau 23 : Vitesse de germination des graines de haricot

Traitements → Paramètres ↓	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Nombre final de graines germées	07	06.50	07.25	07.50	08.50	08.50	02.75
Taux de germination final	70.00 ± 11.55 bc	65.00 ± 5.77 b	72.50 ± 9.57 bc	77.50 ± 9.57 bc	85.00 ± 5.77 c	85.00 ± 5.77 c	27.50 ± 5.00 a
Nombre de graines germées au t50	0.75	0.50	00.00	00.00	0.40	0.40	00.00
Taux de germination Au t50	07.50	05.00	00.00	00.00	04.00	04.00	00.00

Aussi, il y a lieu de noter que l'impact de la concentration de 0.50 mMole est moindre, mais présente un effet marqué sur le taux de germination finale, comparativement aux traitements exempt d'acide

salicylique et le témoin, présentant une faculté germinative finale plus faible.

Discussion et conclusion

La diversité de l'influence de la salinité sur la plante offre une gamme importante de critères physiologiques qui peuvent éclaircir la tolérance à la salinité de certaines espèces végétales. Dans une première partie du travail, nous nous sommes intéressés à la germination des graines de tomate et de haricot imbibées dans des milieux salins enrichis de NaCl et Na₂SO₄ en présence et en absence d'acide salicylique à 0,5 et 0,25Mm durant dix jours et 06 jours d'incubation à 25°C pour la tomate et le haricot respectivement correspondant aux durées maximales de germination des deux espèces .

A travers cette étude, il ressort l'effet traitement sur les paramètres relatifs à la germination étudiés.

Des stratégies sont utilisées pour améliorer la germination des graines sous les conditions salines, à savoir la bonne gestion et l'application exogène des phytohormones. Dans ce contexte, l'acide salicylique (AS) sous stress salin aux concentrations de 0.50 et 0.25 mMole ont été testés sur les graines de deux espèces maraichères (tomate variété Saint Pierre) et le haricot (contender).

A travers les principaux résultats issus de ces essais, nous pouvons conclure qu'après 07 jours d'incubation, la germination des graines de tomate est influencée par la présence de l'acide salicylique dans les milieux salins testés (Fig. 2). La tomate enregistre respectivement des taux de germination plus élevés sous l'effet de l'AS notamment au niveau des traitements T3, T4, T5 et T6 et ce comparativement aux traitements salins naturels sans apport d'acide salicylique à savoir T1 et T2 .Les graines du témoin marquent une germination de 61,25% et qui passe à 62,50% jusqu'à la durée complète de la germination .Cependant, les graines ayant reçues l'acide salicylique expriment une amélioration du taux de germination jusqu'à l'obtention d'un taux de 82,50 % au niveau du traitement à base de NaCl additionné à 0,25 mM d'A.S, jugé le plus élevé par rapport aux autres traitements testés.

Les données obtenues après une durée de traitement de dix jours, indiquent que les taux de germination des graines augmentent considérablement avec l'apport de l'acide salicylique à la concentration de 0,25mM dans le milieu salin enrichi de NaCl et ce comparativement à la concentration de 0,50mM et au milieu à base de Na₂SO₄ .L'acide salicylique à 0,5 mM reste sans effet marqué sur les eaux salines testées et où le milieu enrichi en NaCl semble inhiber partiellement la germination des graines par rapport au milieu riche en Na₂SO₄.

Ainsi, toutes les graines n'ont pas une capacité identique à tolérer la salinité. **BEN MILED et al (1986).**

Aussi, selon **PRADO et al. (2000)**, la diminution du taux de germination des graines soumises à un stress salin serait due à un processus de dormance osmotique développé sous ces conditions de stress. Au neuvième et dixième jour, les graines issues du milieu T3 (Na₂SO₄ + 0,50 mM A.S) manifestent un taux de germination légèrement supérieur aux traitements T4 et T7 montrant une adaptation développée des mécanismes complexes pour affronter les changements environnementaux.

Les résultats sur la cinétique de germination présentés montrent que les valeurs relatives aux taux de germination des graines sous stress salin, même en présence de l'acide salicylique sont situées durant les huit premiers jours d'incubation au-dessous de celle du témoin (eau), puis on remarque une augmentation du taux de germination des traitements salins par rapport aux graines du témoin, durant les deux derniers jours de l'incubation des graines. Il y a lieu de noter d'une part une germination nulle pendant les quatre premiers jours de mise en germination des graines de tomate, et d'autre part un ralentissement du processus de germination au 5^{ème} et sixième jour de l'incubation en fonction des milieux testés.

La capacité germinative des graines issues du témoin se stabilise à partir du huitième jour (62,50%). D'après **BEN MILED et al (1986)**, ceci est due à une différence dans le temps nécessaire à la graine pour mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne. Sous stress salin, les résultats de l'essai montrent que les milieux enrichis de NaCl réduisent légèrement la capacité germinative des graines en fin de la période germinative. Toutefois, le milieu à base de Na₂SO₄, s'avère le plus tolérant, avec une faculté germinative la plus élevée par rapport au milieu NaCl au 9^{ème} et 10^{ème} jour.

L'ajout de l'AS sur les graines de haricot améliore la germination. Les travaux de **Szepesi et al. (2005)**, confirment nos résultats, en utilisant une concentration de 0,5 mM d'AS sur les graines de tomate ; ils remarquent que le taux de germination augmente. D'autres évoquent l'effet bénéfique de l'AS sur la germination des graines comme **Ghoohestani et al. (2012)**, **Anaya et al. (2015)**.

Nos observations montrent que l'effet combiné salinité/AS agit sur les graines de tomate et de haricot avec des taux de germination finale élevés, beaucoup plus chez le haricot que la tomate.

Nos observations indiquent que la réaction de la tomate à la salinité diffère par rapport au haricot et au temps de germination. La durée dans le temps en conditions salines affaiblit beaucoup plus la vitesse de germination des graines de tomate par rapport à celle du haricot tout en retardant le processus de germination des graines des deux espèces, bien que le haricot montre une certaine tolérance par rapport

à la tomate . Ces résultats, en accord avec ceux d'**Afzal et al. (2006)** et **Sardoei et Mohammadi (2014)** montrent que la germination des graines de la tomate est significativement retardée par le NaCl. En outre, **Cuartero et Fernandez-Munoz (1999)** rapportent que les graines de tomate traitées avec 80 mM de NaCl voient leur germination retardée de 50% du temps de germination. Plusieurs investigations concluent qu'il existe un retard et une diminution de la germination des graines chez plusieurs espèces sous l'effet du stress salin, comme le médicago (**Wang et al. 2012**), la laitue (**Grahn et al. 2015**), le maïs (**Aghamir et al. 2015**), le concombre (**Zhang et al., 2014**).

L'addition de l'AS dans le milieu salin enrichi de Na₂SO₄ semble stimuler la germination de la tomate. Nos résultats concordent avec ceux obtenus par **Gavassi et al. (2014)**, où ils montrèrent que les phytohormones telles que l'AS est impliqué dans la réponse des plantes au stress salin et de contrer les effets néfastes du stress. De même, **Iqbal et Ashraf (2013)** constatent que le NaCl associé à GA₃ améliore la germination des graines de blé, grâce à l'activité d'une enzyme spécifique, qui participe à la synthèse de l'ARN et des protéines. Cela peut s'expliquer aussi par le fait que le GA₃ réduit l'action de l'ABA dans les graines à travers l'activation de leurs enzymes du catabolisme ou en bloquant la voie de sa biosynthèse (**Iqbal and Ashraf, 2013**).

En outre, l'AS agit significativement sur les réponses des graines des deux espèces étudiées car, son association à la concentration de 0.25 mM avec le NaCl chez la tomate atténue beaucoup plus l'effet de la salinité par rapport au milieu salin associé au Na₂SO₄.

Nos résultats sont en accord avec ceux de (**KHAN et GULZAR., 2003 ; RUBIO -CASAL et al. 2003 ; EL KEBLAWY et AL RAWAI., 2005**) qui ont rapportés que la germination des semences est réduite sous stress de la salinité d'une manière générale.

La salinité élevée cause une inhibition de la germination, ceci peut s'expliquer par le mécanisme de toxicité du Na⁺ qui n'est pas présent dans certaines espèces (**AIAZZI et al., 2002**).

Selon **GULZAR et KHAN(2001)**, la salinité inhibe la germination des graines de deux façons : (1) la prévention de germination sans perte de viabilité supérieure par rapport à la salinité ; et (2) de retarder la germination des graines à des salinités qui causent les stress des graines, mais n'empêche pas la germination.

Concernant l'action de l'AS avec 0,5 mM qui a amélioré la germination chez surtout *Atriplex canescens*, nos résultats sont aussi cohérents avec ceux de (**SHAKIROVA et al. 2003**) qui a rapporté des résultats encourageants sur la germination des graines avec l'application SA.

L'addition de l'AS à 0,5 mM dans les milieux salins enrichis de Na₂SO₄ et NaCl à savoir les traitements

T3 et T4 respectivement améliore la germination finale chez le haricot comparativement à la tomate tout en augmentant la valeur germinative des graines. Ces résultats concordent avec les travaux de **Jafar et al. (2012)** qui constatent une amélioration des graines de blé en présence de l'AS en milieu salin ; données corroborées avec ceux d'El-Tayeb (2005), **Motamedi et al. (2013)** et **Shahba et al. (2014)**. D'après **Miura and Tada, (2014)** l'AS est considéré comme une hormone de croissance, car il joue un rôle important dans la régulation de la réponse au stress abiotique, comme il améliore la tolérance à la salinité.

Le rôle des hormones de croissance végétale sous stress salin est essentiel dans la variation des réponses physiologiques qui mèneront éventuellement à l'adaptation à un environnement défavorable. Néanmoins, le niveau fonctionnel d'hormones végétales et leur concentration relative dans les tissus, peuvent avoir différents impacts sur la germination des graines et la tolérance au stress salin. Bien que, des changements dans l'équilibre des régulateurs de croissance induite par la salinité, peuvent largement expliquer l'inhibition de la germination (**Li et al. 2014**). La compréhension de l'action hormonale sur le processus de germination est une clé majeure pour améliorer la germination des espèces sensibles à la salinité et leur développement dans les conditions salines et la réponse de la graine au stress salin grâce aux métabolites de type osmoticum responsable de la tolérance aux contraintes environnementales.

3.2 Essai relatif aux plantes entières

Des pots en plastique à fond perforé et remplis de gravier roulé 3-8 mm préalablement désinfecté à l'hypochlorite de calcium, afin d'assurer un bon drainage puis abondamment rincé à l'eau afin d'éliminer toute trace d'hypochlorite de sodium fortement nocive pour les jeunes plantules.

Tout au long de l'expérimentation des paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques ont été mesurés sur les plantes de chacune des deux espèces de chaque traitement.

La croissance de la plante peut être exprimée par plusieurs paramètres à savoir la biométrie des organes végétatifs, le poids de la biomasse fraîche et sèche (feuilles, tiges et racines).

3.2.1 Mesures des paramètres biométriques

3.2.1.1 Rythme de croissance des plantes de tomate et de haricot

3.2.1.1.1 Rythme de croissance des plantes de tomate

L'évolution de la hauteur des plantes de tomate a été mesurée chaque semaine au niveau de chaque plantules et pour chacun des traitements et ce depuis le repiquage des plants jusqu'à la coupe finale à travers neuf mesures. Les résultats sont présentés dans la figure ?

Le rythme de croissance des plantes de tomate est une courbe de croissance qui décrit le déroulement de la croissance des plants de tomate testés qui sont placés dans un environnement bien précis. Elle représente le plus souvent l'évolution des hauteurs cumulées en fonction du temps. Sous le traitement salinité /Acide salicylique, la croissance des plantes se produit de manière assez lente, à compter de la première mesure soit x jours après repiquage, puisque les hauteurs des plantes au niveau des traitements T3, T4, 5 et T6 ne dépassent pas celles signalées chez les plantes issues du témoin T11. (Fig 1)

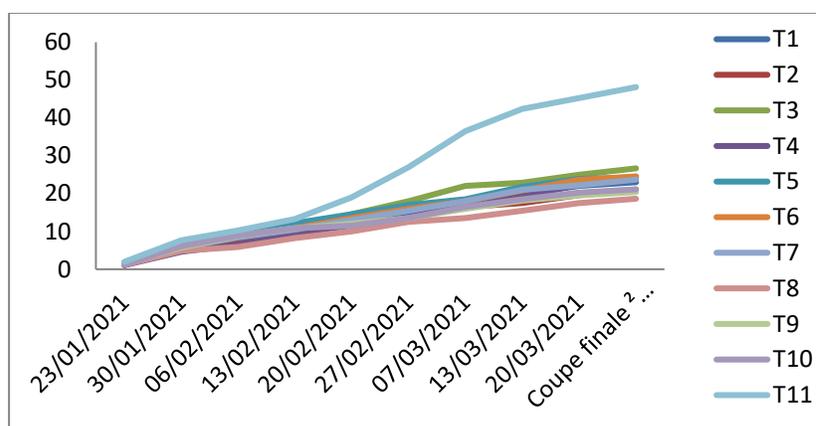


Fig 1 : Rythme de croissance de la tomate (cm)

Après 07 jours de culture, la croissance des plantes de tomate semble être influencée par la présence de l'acide salicylique notamment à la concentration de 0.25Mmole, à savoir au niveau des traitements T5 et T6 par rapport aux milieux salins testés T1 et T2 (Fig.1).

Cependant, les plantes ayant reçues l'acide salicylique à 0.50 mM en milieu salin à base de Na₂SO₄ à savoir le traitement T3 expriment après 15 jours de culture une amélioration de la croissance en hauteur jusqu'à la fin du cycle de croissance où l'on enregistre une hauteur finale la plus élevée de 26.70cm par rapport aux autres traitements testés à l'exception du témoin T11, milieu nutritif équilibré non salin.

Les données obtenues après une durée de 62 jours de culture, indiquent que les hauteurs de plants de tomate augmentent notamment avec l'apport de l'acide salicylique à la concentration de 0,50mM dans le milieu salin enrichi de Na₂SO₄ et à la concentration de 0,25mM dans le milieu salin enrichi de NaCl, avec des valeurs de 26.70cm et 24,53cm respectivement.

Les résultats sur la cinétique de croissance des plantes de tomate présentés par la (figure1) montrent que les courbes relatives aux taux de croissance des plantes sous stress salin au niveau des traitement T1 et T2 , sont situées au-dessous de celles du témoin et des traitements ayant reçu l'hormone exogène et ce quel que soit la concentration testée, durant les différentes périodes de mesures .

3.2.1.1.2 Rythme de croissance des plantes de haricot :

L'évolution de la hauteur des plantes de haricot a été mesurée chaque semaine au niveau de chaque plantules et pour chacun des traitements et ce depuis le repiquage des plants jusqu'à la coupe finale à travers quatre mesures .Les résultats sont présentés dans le figure 2

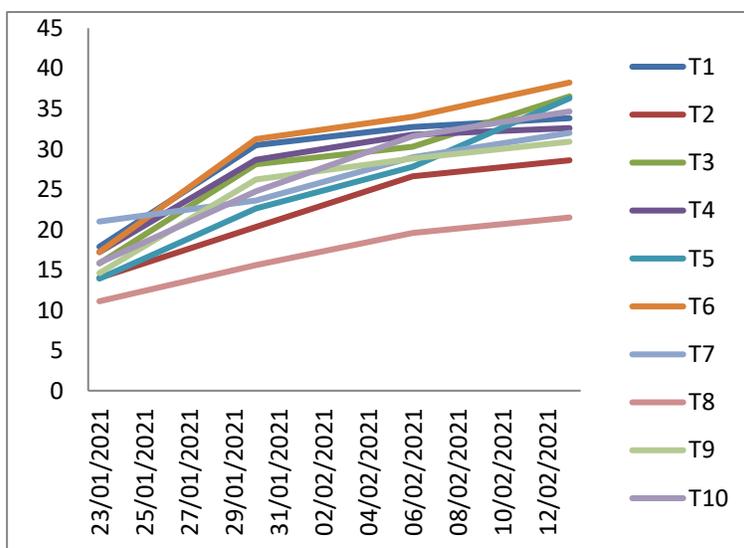


Fig 2 : Rythme de croissance de haricot (cm)

Le rythme de croissance des plantes de haricot est aussi une courbe de croissance qui décrit le déroulement de la croissance des plants de haricot testés qui sont placés dans un environnement

bien précis. Elle représente le plus souvent l'évolution des hauteurs cumulées en fonction du temps.

L'Acide salicylique aux deux concentrations (0.5 et 0.25 mM) n'exerce aucune action remarquable en milieu salin enrichi en Na₂SO₄, et ce durant tout le cycle de développement, à l'exception de fin de cycle où l'on constate une augmentation de la hauteur des plants comparativement au même traitement exempt d'hormone exogène.

A l'inverse l'ajout de l'AS au milieu salin enrichi en NaCl manifeste une amélioration du rythme de croissance des plantes de haricot et ce dès le début de leur croissance.

Les résultats sur la cinétique de croissance présentés par la (fig. 2) montrent que les courbes relatives aux taux de croissance des plantes de haricot sous stress salin, même en présence de l'acide salicylique sont situées durant toutes les périodes de mesures au-dessus de celle du témoin (eau).

3.2.1.2 Hauteur finale des plantes de tomate et de haricot

La hauteur finale des tiges a été mesurée à partir de collet jusqu'à l'apex au niveau de chaque plante et de chaque traitement. Les résultats relatifs au paramètre mesuré, sont présentés dans la figure 3.

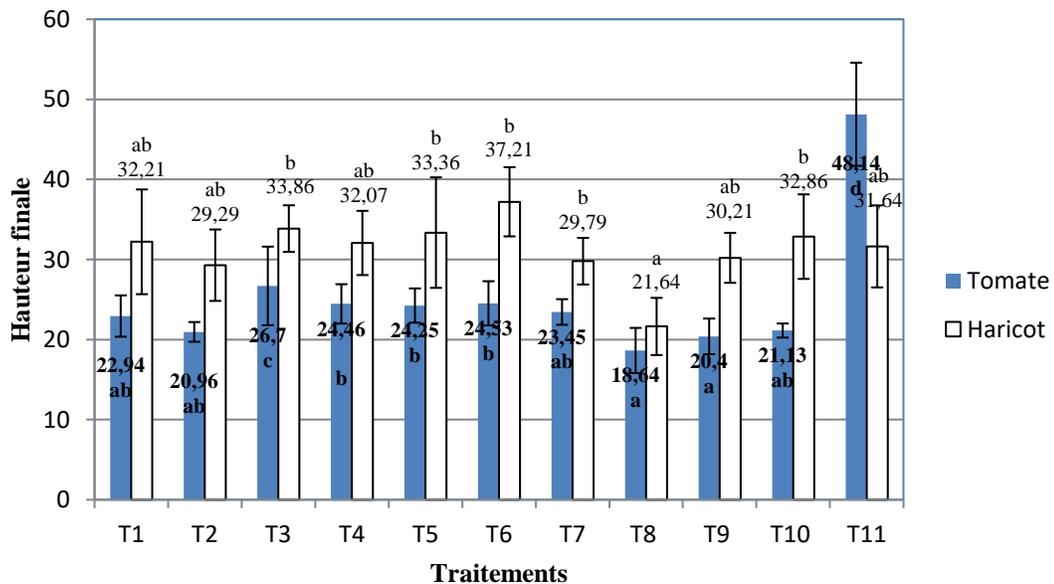


Fig 3 : Hauteur finale des plantes de tomate et de haricot en cm

La longueur de la tige finale sous les conditions témoins dépasse 48 cm chez la tomate et 31 cm chez le haricot. Suite à l'apport de l'acide salicylique, il apparaît un effet remarquable au niveau des deux espèces testées. La concentration de 0.25 mM d'acide salicylique a entraîné une augmentation de la longueur de la tige chez les deux espèces testées en milieu salin enrichi en NaCl, avec des valeurs de 37.21cm et 24.53cm respectivement pour le haricot et la tomate alors que sous traitement à pulvérisation foliaire, une diminution est enregistrée chez les deux espèces.

L'analyse statistique du paramètre précité montre que l'adjonction de l'acide salicylique aux deux types d'eaux salines à base de Na₂SO₄ et NaCl manifeste une action significative sur le paramètre mesuré. En effet, l'acide salicylique à 0.25 mMole stimule la croissance des plantes étudiées notamment au niveau du milieu salin enrichi en NaCl.

L'absence de l'A.S au niveau des traitements salins T1 et T2 se traduit par une hauteur finale des plantes la moins élevée et ce quel que soit l'espèce testée. La tomate et le haricot semblent être plus vulnérables au milieu enrichi en NaCl (T2) que celui en Na₂SO₄ (T1).

L'application de l'AS à faible dose (0.25mM), dans un milieu salin enrichi en NaCl, semble provoquer une augmentation de la hauteur finale chez le haricot et ce comparativement à la concentration de 0.50mM.

Dans l'ensemble, la pulvérisation de l'A.S sur les plantes des deux espèces étudiées ne semble pas améliorer remarquablement le paramètre mesuré et ce quel que soit la concentration appliquée. Néanmoins, les deux espèces manifestent une sensibilité lorsque la pulvérisation s'applique à 0.50mM sur les plantes alimentées par le milieu enrichi en NaCl, puisque les hauteurs finales sont les plus faibles comparativement aux autres traitements.

Aussi, la solution nutritive T1 présente le paramètre mesuré le plus important chez la tomate, ceci en raison des exigences nutritionnelles de l'espèce et de la composition du milieu présentant un meilleur équilibre ionique et surtout la présence des éléments minéraux indispensables. Inversement, le comportement de la tomate au niveau des autres traitements se traduit par des hauteurs finales plus faibles et statistiquement uniformes par rapport au traitement à base de solution nutritive (T7). Cette situation a pour origine le déséquilibre ionique des milieux et à leurs faibles teneurs en éléments indispensables telles que l'azote, le phosphore et le potassium jugés fondamentaux pour la croissance et le développement des plantes. Les carences des éléments essentiels provoquent d'abord l'arrêt de la croissance des tissus jeunes, puis rapidement cet état de déficience s'uniformise dans les différents

organes .Il en résulte des troubles des fonctions de la plante, entraînant inévitablement un ralentissement et un retard de croissance.

3.2.1.3 Diamètre des tiges :

En fin de cycle végétatif, le diamètre des tiges a été mesuré grâce à un pied à coulisse en centimètre (cm) au niveau de chaque plante de chacune des deux espèces et pour chacun des traitements.

Les résultats relatifs au paramètre mesuré sont présentés dans la figure 4

Selon les résultats présentés, le facteur traitement exerce une action remarquable sur le paramètre mesuré chez la tomate où l'on constate que l'adjonction de l'acide salicylique à 0.5 Mm au niveau du traitement T3 (eau saline à base de Na₂SO₄ +0.5 mM A.S) ,le diamètre des tiges de tomate , statistiquement les plus grossiers comparativement aux autres traitements salins testés à l'exception du T7, qui représente le milieu nutritif le plus adéquat quant tenu qu'il est constitué d'une solution nutritive, composée de macro et de micro éléments indispensables à la nutrition des plantes cultivées, où l'on enregistre le diamètre des tiges le plus élevé. (Figure 4).

A l'inverse le haricot n'est pas influencé par le facteur traitement quant tenu qu'aucun effet statistiquement remarquable n'est constaté .Néanmoins, il est important de noter que le haricot semble être plus tolérant au milieu enrichi en NaCl comparativement à celui en Na₂SO₄ puisque les tiges des plantes de haricot semblent être plus épaisses.

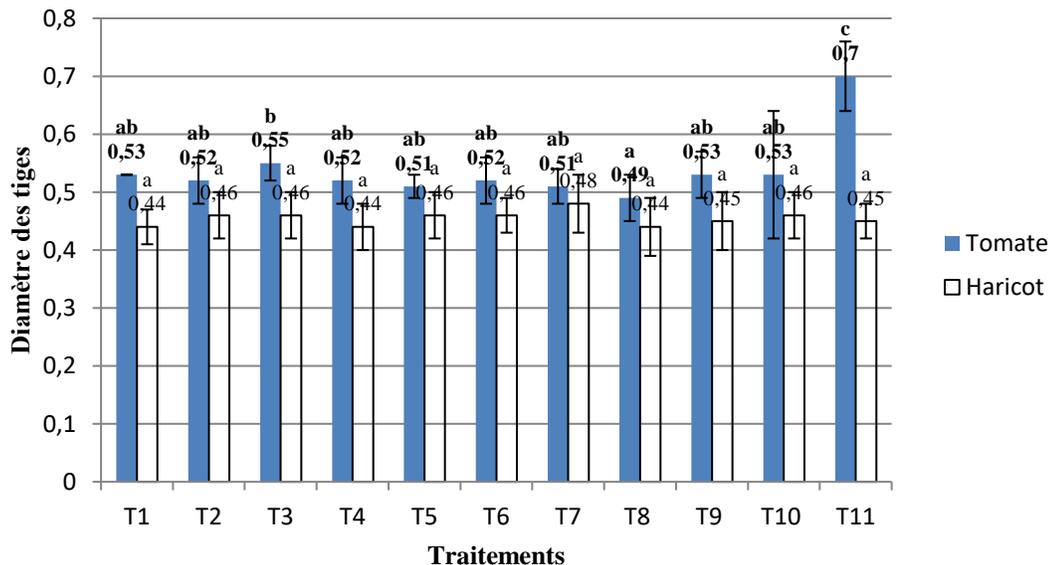


Fig 4 : Diamètre des tiges des deux espèces testées en cm

Inversement, la pulvérisation du feuillage des plantes de haricot par une solution d'acide salicylique à 0.5 mMole et qui sont alimentées par une solution saline enrichie de Na₂SO₄, semble être plus efficace suite au diamètre des tiges le plus élevé.

Aussi, le calcium en excès (5.25 à 6.45 meq/l) dans les différents traitements provoque sans doute un déséquilibre dans la physiologie de la plante, ce qui limite l'absorption d'autres éléments en particulier le Mg alors que cet éléments est indispensable au maintien de l'hydratation du cytoplasme cellulaire. Cette limitation de l'entrée du Mg se traduit par une déshydratation du cytoplasme. Il apparaît un phénomène de plasmolyse aboutissant au dépérissement des tiges et à la formation de tiges moins développées, notamment chez le haricot comparativement à la tomate.

3.2.1.4 Nombre de feuilles par plante

Ce paramètre a été réalisé en fin de cycle végétatif sur toutes plantes des deux espèces de chacun des traitements. Les résultats sont présentés dans la figure 5

Les présents résultats ont également montré que la salinité a réduit significativement le nombre de feuilles par plante et ce par rapport au témoin T11 composé d'une solution nutritive bien équilibrée.

La comparaison de l'évolution de la production du feuillage entre les différents traitements en absence et en présence de l'acide salicylique rend compte des différences entre les milieux testés.

La production de feuilles pour les plantes issues de la solution nutritive T11 est significativement plus élevée que celles observées sur les plantes des autres traitements testés. (Figure 5)

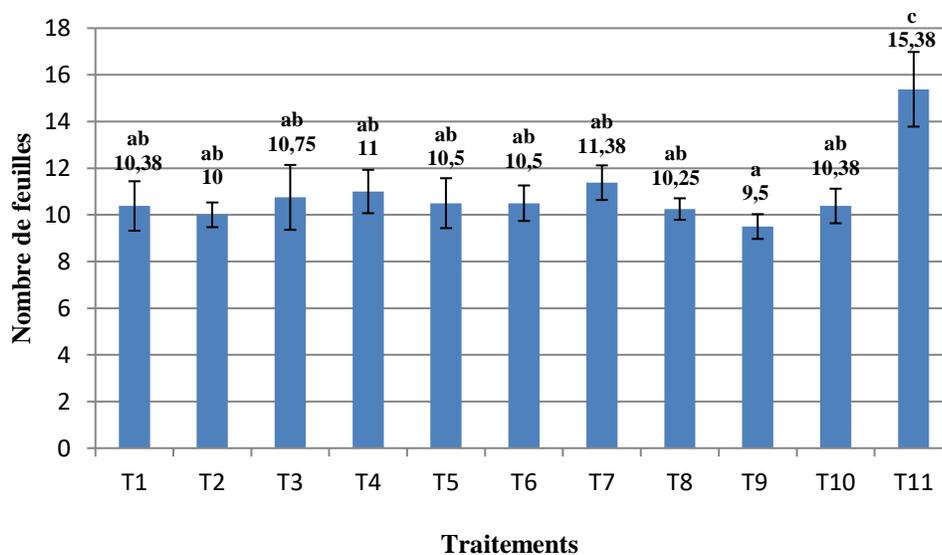


Fig 5: Nombre de feuille de la tomate

Les carences en éléments essentiels des traitements à l'exception du T11 provoquent d'abord une croissance fortement ralentie induisant ainsi une inhibition du développement des feuilles et de leur croissance.

L'effet inhibiteur du sel au niveau des deux types d'eaux salines sur la production de feuilles semble être plus précoce au niveau de l'eau enrichie en Na_2SO_4 compte tenu la réaction de l'espèce au NaCl où l'on enregistre un nombre de feuille par plante légèrement inférieur à celui précité. L'apport de l'AS à 0.25 Mm additionné au mode de pulvérisation foliaire au niveau du traitement T7 améliore la production des feuilles avec un accroissement le plus élevé 08,78% par rapport au milieu enrichie en Na_2SO_4 à l'exception du T11 où le développement foliaire est le plus important quand tenu la richesse en éléments minéraux et l'équilibre ionique parfait du milieu alimentaire .Ceci permet d'affirmer que la formation de nouvelles feuilles est dépendante du milieu de culture et tout particulièrement de sa composition ionique. Le sel provoque un effet défavorable à la formation des feuilles. Il diminue leur masse individuelle, et finit par entraîner leur dessèchement. Cet effet est moins marqué au niveau de l'eau saline enrichie en Na_2SO_4 par rapport à celui du NaCl qui semble être plus agressif sur les plantes de tomate.

3.2.1.5 Surface foliaire (cm^2) :

La surface foliaire représente un paramètre morphologique. La mesure de ce paramètre est faite par l'intermédiaire d'un logiciel sous le nom « Digimizer ». C'est un progiciel d'analyse d'images facile à utiliser et flexible qui permet des mesures manuelles précises ainsi qu'une détection automatique et des mesures des caractéristiques de l'objet (digimizer, 2021). L'insertion des images déjà scannées dans ce logiciel, nous a permis de calculer la surface foliaire des 03 feuilles par espèce et par traitement , et ce durant trois périodes du cycle de développement .

Les résultats sont présentés dans les deux tableaux suivants (24 et 25) :

A la date du 06/02/2021, l'effet traitement exerce une action remarquable sur la surface foliaire des deux espèces testées et, où l'on constate que la dose de 0.5 mM d'acide salicylique au niveau du milieu enrichi en Na_2SO_4 manifeste la surface foliaire la plus importante au niveau de la tomate.

A l'inverse, pour l'espèce haricot, l'adjonction de l'AS à 0.25mM dans le milieu nutritif enrichi en NaCl se traduit par une surface foliaire la plus importante.

Tableau 24: Surface foliaire mesurée le 06/02/2021

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Tomate	6,59 ± 1.82 b	15,32 ± 1.02 a	19,07 ± 2.74 a	6,67 ± 1.93 b	4,66 ± 0.90 b	6,24 ± 0.60 b	8,37 ± 0.83 b	4,70 ± 0.58 b	17,48 ± 2.06 a	5,14 ± 0.89 b	4,03 ± 0.96 b
Haricot	18.50 ± 4.32 cd	27.07 ± 4.54 abc	33.82 ± 4.16 ab	20.97 ± 5.33 bc	25.19 ± 4.51 abc	36.66 ± 7.27 a	25.88 ± 1.30 abc	17.18 ± 4.18 cd	18.39 ± 7.28 cd	6.23 ± 1.19 d	25.20 ± 6.28 abc

L'inhibition de la surface foliaire est significative au niveau du milieu salin naturel à base de Na₂SO₄ quel que soit l'espèce testée et ce comparativement au milieu enrichi en NaCl où l'on constate des régressions de 56.98% et 31.65% au niveau de la tomate et du haricot respectivement. De ce constat, on peut dire que les deux génotypes testés sont plus tolérants au NaCl par rapport au Na₂SO₄, compte tenu des surfaces foliaires qui sont moins affectées par la salinité.

Aussi, il est à signaler une élévation de la moyenne de l'élongation foliaire, chez le haricot après l'application de l'AS quel que soit sa concentration au niveau du milieu salin enrichi en Na₂SO₄. A l'inverse, seul l'AS à 0.25Mm en milieu salin enrichi en NaCl améliore remarquablement la surface foliaire des plantes de haricot avec un accroissement de 35.42% par rapport au milieu salin dépourvu d'AS.

A la date du 16/02/2021, une seconde mesure de la surface foliaire a été effectuée sur trois plantes par traitement et par espèce. Les résultats sont présentés dans le tableau 25

Tableau 25 : Surface foliaire mesurée le 16/02/2021

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Tomate	6.96 ± 1.65 D	17.93 ± 3.09 ab	19.85 ± 3.00 a	7.76 ± 1.67 cd	6.32 ± 0.23 d	12.13 ± 1.13 bcd	12.87 ± 1.95 bcd	6.89 ± 1.75 d	19.02 ± 3.43 ab	6.17 ± 0.88 d	17.13 ± 6.69 abc
Haricot	26.68 ± 2.67 cde	35.36 ± 4.37 abc	49.51 ± 6.82 a	25.51 ± 5.35 cde	26.94 ± 5.34 cde	39.38 ± 4.55 abc	39.63 ± 2.55 abc	19.28 ± 4.18 e	19.39 ± 4.37 de	31.44 ± 6.98 bcd	42.25 ± 3.00 ab

Dans le milieu salin enrichi en Na_2SO_4 , la moyenne de l'élongation foliaire diminue avec la composition du milieu par rapport au milieu à base de NaCl où l'on note des régressions de 38.81% et 75.45% chez la tomate et le haricot respectivement.

Nous avons signalé une élévation de la moyenne de l'élongation foliaire, après l'application de l'AS à la dose (0.5mM), en fonction du temps chez les deux espèces stressées en Na_2SO_4 par rapport aux plantes traitées en NaCl . Alors, que les résultats du tableau 7 montrent que l'application de l'AS à concentration 0.25mM, entraîne une diminution de la moyenne de l'élongation foliaire en fonction du temps sous milieu salin à base de Na_2SO_4 .

Il est constaté que l'adjonction de l'AS à 0.25mMole dans le milieu salin à base de NaCl , améliore remarquablement la moyenne de l'élongation foliaire quel que soit l'espèce végétale testée et ce en fonction du temps

3.2.1.6 Biomasse fraîche totale produite : (feuilles + tiges) g

Ce paramètre consiste à peser les différents organes (feuilles + tiges) des deux espèces étudiées en gramme au niveau de chaque traitement et ce pour toutes les plantes à l'aide d'une balance. Les pesées ont porté sur le poids frais des feuilles, des tiges et des racines en fin de cycle végétatif.

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

Les résultats sont présentés dans la figure 8.

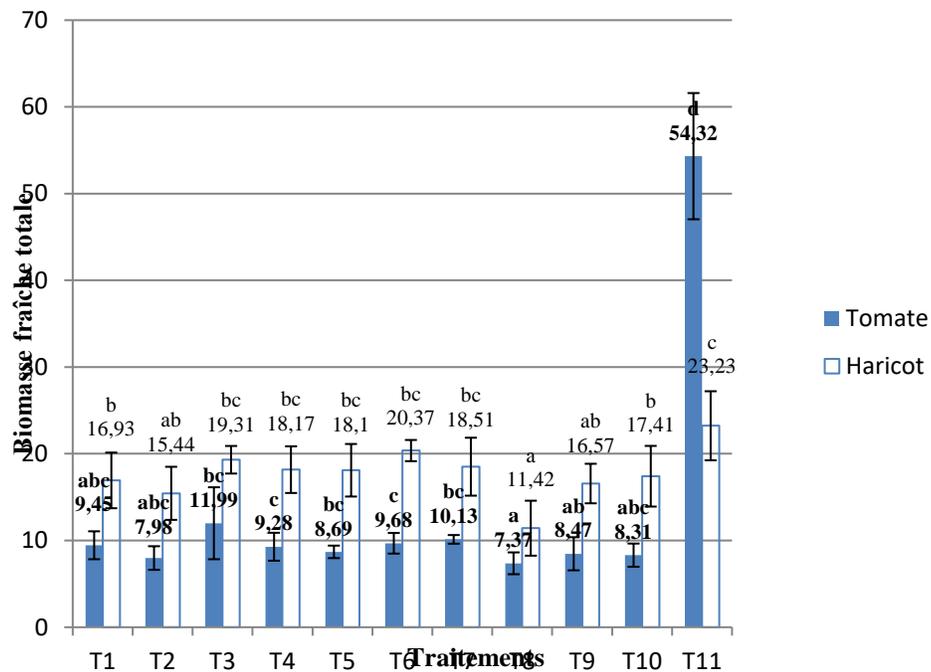


Fig 6: Biomasse fraîche totale produite : (feuilles + tiges) en g

Sous les conditions d’irrigation avec une solution nutritive (T11 témoin), le poids frais de la biomasse aérienne est bien supérieur à celui obtenu par les autres traitements testés, et ce au niveau des deux espèces testées, néanmoins l’écart est beaucoup plus important chez la tomate que le haricot. (Figure 8).

L’application de l’acide salicylique aux eaux salines expérimentées induit une augmentation du poids frais (feuilles + tiges) chez les deux espèces maraichères, alors que la pulvérisation de l’AS à 0.5mM au niveau des plantes des deux espèces irriguées par l’eau saline enrichie en NaCl entraîne une diminution du paramètre mesuré.

Ces chiffres illustrent le trouble physiologique chez les deux espèces testées dans les différents milieux salins testés, trouble se traduisant par des baisses de la biomasse fraîche totale des jeunes plantes, par rapport au milieu T11 non salin.

Ainsi, chez les témoins, T11, les biomasses fraîches totales sont restées plus importantes, ainsi, respectivement la tomate et le haricot ont enregistré des quantités de 54,32g et 23,23g. Les réductions les plus importantes sont notées dans le milieu enrichi de NaCl, et notamment au niveau de la tomate. En ce qui concerne la biomasse fraîche totale produite, les plants issus du traitement T11, manifestent statistiquement le paramètre mesuré le plus élevé et ce quel que soit l’espèce testée. Néanmoins, le

Traitement T8, milieu salin enrichi en NaCl et renfermant 0.5Mm d'A.S et où les plantes perçoivent une pulvérisation foliaire adaptée au traitement, manifestent la biomasse totale fraîche la moins importante quelle que soit l'espèce testée.

L'évolution de la biomasse fraîche totale par plante au cours du cycle de développement choisi est plus remarquable au niveau du milieu salin enrichi en Na₂SO₄ + 0.5 Mm d'A.S chez la tomate, alors que la dose d'A.S de 0.25 Mm est plus performante chez le haricot au niveau du milieu alimentaire salin enrichi en NaCl ceci en raison de la sensibilité du haricot au Na₂SO₄ comparativement à la tomate.

Aussi, il y a lieu de noter que l'apport de l'A.S à la concentration de 0.25mM améliore la nutrition des deux espèces testées, ce qui se traduit par une augmentation de la biomasse fraîche produite au niveau des feuilles et des tiges et ce au cours de leur développement. Autrement dit, les plants issus des eaux salines naturelles testées produisent leur poids de matière fraîche de feuilles et de tiges plus faible que celui obtenu avec les mêmes milieux nutritifs exempt d'acide salicylique. La production de biomasse fraîche est moindre au niveau du milieu salin à base de NaCl où l'on enregistre une baisse de 15.55% et 8.80% respectivement au niveau de la tomate et du haricot. De ce constat, on déduit qu'en début de la phase de croissance et de développement, les plantes fabriquent peu de biomasse fraîche suite à l'assimilation réduite des éléments minéraux en milieu salin, notamment en présence de NaCl. Cette constatation est particulièrement vraie pour les deux espèces testées. La production de feuilles et de tiges s'accroît, avec l'adjonction de l'A.S à 0.25Mm au niveau du Traitement T6 à base de NaCl et plus particulièrement chez le haricot où l'on enregistre des accroissements de 11.14%et 10.21% chez le haricot et la tomate respectivement, et ce par rapport au milieu enrichi en Na₂SO₄.

Le T11 représente le milieu où quelle que soit l'espèce testée, la biomasse fraîche totale (feuilles+ tiges) mesurée est la plus importante, ceci en raison de la composition du milieu dont la concentration en éléments minéraux indispensables est parfaite harmonie avec les besoins des plantes, accompagnée d'un équilibre ionique parfait. Il s'ensuit une réduction du paramètre mesuré au niveau des autres traitements salins testés ayant pour origine une diminution de la photosynthèse et un dessèchement précoce des plantes

Le haricot est considéré comme une espèce sensible à la salinité liée à une forte concentration en sels totaux, alors que la tomate représente une espèce moyennement sensible. Il apparaît selon les résultats observés une différence importante de réaction selon l'origine de la salinité. Autrement dit, les résultats illustrent que les deux espèces présentent sensibilité à la dominance du NaCl dans les eaux d'irrigation.

3.2.1.7 Impact de la salinité sur l'estimation de la floraison et de la nouaison

L'estimation de ces deux paramètres consiste à faire un suivi quotidien sur la totalité des plantes de chaque traitement afin de noter l'apparition des fleurs ouvertes, et leur passage au stade petit fruit ou nouaison. La date d'apparition des premières fleurs a été notée pour chaque traitement, et pour chacune des plantes. Ainsi, le nombre de jours mis par chaque plante pour sortir sa première fleur à partir du jour d'imposition des différents traitements été déterminé.

Il y a lieu de noter que le nombre de jours mis pour atteindre le début et pleine floraison ainsi que la nouaison sont exprimés à compter de la date de repiquage de chaque espèce.

- Repiquage du haricot : 28/12/2020
- Repiquage de la tomate : 02/01/2021

Le Tableau 24 présente les dates d'apparition des premières fleurs et des premiers fruits pour chaque traitement. L'effet de la salinité s'est traduit par un allongement de la date d'apparition des premières fleurs passant de 59 jours chez le témoin T11 pour la tomate à 61, 62,64, 65 et 66 jours après l'application du stress salin pour la tomate.

Pour ce qui est du haricot, l'effet salinité est moindre que chez la tomate puisque la date d'apparition des premières fleurs passe de 38 jours chez le témoin T11 à 37,38 et 39 jours après l'application du stress salin.

Si le nombre de jours de l'apparition des premières inflorescences en fleur sur la tige principale des deux espèces testées était presque similaire au niveau des différents traitements étudiés, le haricot produit des inflorescences en un laps de temps plus court que la tomate en condition expérimentale adoptée. Le sel semble retarder l'apparition des premières florescences en fleur sur la tige principale comparativement au témoin T11 où le nombre de jours d'apparition des premières fleurs est plus rapide notamment chez la tomate.

Aussi, il y a lieu de noter l'impact de l'acide salicylique à la dose de 0.50mMole qui semble améliorer la précocité des fleurs beaucoup plus chez la tomate que le haricot où l'on constate que chez le haricot la floraison est plus ou moins homogène au niveau des différents traitements.

Tableau 26 : Phases de floraison et de nouaison en nombre de jours après repiquage des plants des deux espèces testées

	Stades	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11 SN
Tomate	Début floraison	62	61	62	62	65	66	64	66	62	62	59
	Pleine floraison	76	80	67	76	71	83	74	83	76	77	64
	nouaison	74	74	73	80	80	76	76	80	73	79	68
Haricot	Début floraison	37	37	37	37	38	37	37	39	38	37	38
	Pleine floraison	40	41	38	39	40	39	38	43	40	40	41
	nouaison	41	41	40	40	41	40	41	42	41	41	41

En ce qui concerne la date d'apparition des fruits de tomate, l'effet de la salinité s'est traduit également par un léger allongement de la date de nouaison des premiers fruits passant d'environ 68 jours après l'application du stress chez le témoin et atteignant son maximum de 80 jours au niveau des traitements T4, T5 et T8.

Chez le haricot, la salinité n'a donc eu aucun effet marqué sur les dates d'apparition des premiers fruits puisque au niveau de tous les traitements le nombre de jours variait entre 40 et 42 jours avec une moyenne de 41 jours chez le témoin.

Discussion et conclusion

L'exposition des plantes au stress salin débute habituellement avec l'exposition des racines à ce stress. Etant donné, que la salinité dans le sol affecte la disponibilité des éléments nutritifs et de l'eau, en créant un stress osmotique, c'est la sécheresse physiologique, en provoquant la réduction générale de la croissance et de la photosynthèse des plantes (Munns and Tester, 2008). Cependant, le phénomène de l'inhibition de la croissance est d'après Munnset *al.* (2006) due à deux raisons :

1. La présence de sel dans le milieu qui réduit la capacité de la plante à absorber l'eau, et cela conduit à une croissance plus lente, par effet osmotique ou un déficit hydrique.

2. Aussi, les quantités excessives de sel dans le flux de transpiration qui endommagent les cellules foliaires responsables de la transpiration qui réduit encore la croissance.

En conséquence, la salinité affecte fortement la croissance des racines et la morphologie. Les différentes réponses aux niveaux physiologiques, biochimiques et moléculaires sont détectées, même dans les différentes zones racinaires (**Sharp et al. 2004**). Ces changements dans le système racinaire vont causer un changement dans le bilan hydrique, ionique et la production de signaux (hormones) qui communiquent des informations à la tige (**Munns et al. 2000**). La plante entière est alors affectée lorsque les racines se développent dans un milieu salin ; la biomasse racinaire est affectée négativement (**Saboora et al., 2006**).

L'inhibition de la croissance observée dans de nombreuses plantes soumises à la salinité est souvent associée à une diminution de leur capacité de photosynthèse. La baisse des taux de photosynthèse nette induite par la salinité diffère dans les différents génotypes. En général, les taux de photosynthèse nette et de conductance stomatique des génotypes tolérants au sel sont moins affectés par la salinité par rapport aux génotypes sensibles au sel (**Lopez-Climent et al. 2008**).

Les plantes possèdent, naturellement, la capacité de faire face aux contraintes biotiques et abiotiques, y compris la salinité, qui leur causent des dégâts sur la croissance, le développement et la productivité. En réponse à ces conditions défavorables, beaucoup de réactions biochimiques et systémiques sont déclenchées dès que la menace est signalée (**Faessel et al, 2016**).

L'acide salicylique est une molécule de signal que la plante synthétise en cas de stress. De nombreuses études ont opté à son application sous forme exogène pour voir son interaction avec les différents stress que peut subir une plante.

L'AS exerce son influence sur des processus physiologiques et biochimiques comprenant la photosynthèse (**Gomez et al ; 1993 ; Rajasekaran et al ; 2002**), la perméabilité de la membrane (**Barkosky et Einhellig, 1993**), l'activité enzymatique, la floraison (**Eberhard et al ; 1989**), la croissance et le développement des plantes (**Arberg, 1981 ; Raskin, 1995**).

Les paramètres de croissances sont influencés sous l'effet du stress salin des deux types d'eaux testées dont l'une enrichie en Na_2SO_4 et l'autre en NaCl et qui se manifestent nettement au niveau de la plante entière à des degrés variables selon les deux espèces testées à savoir la tomate et le haricot, mais qui sont perceptibles à l'échelle de la croissance des plantes. Ce qui confirme une multitude d'études faites antérieurement sur deux variétés de maïs (**Hajlaoui et al. 2015**) et sur le piment (**Bouassaba K. et Chougui S., 2018**). Cet impact négatif des eaux salines naturelles étudiées s'est vu améliorer au niveau des paramètres de croissance mesurés par l'introduction de l'acide salicylique notamment à la dose de

0.25Mm. D'autre part, les impacts de la salinité enregistrés révèlent, d'une façon générale, une bonne tolérance manifestée par les deux espèces dans le milieu enrichie en Na₂SO₄ comparativement au milieu enrichie en NaCl . Les résultats obtenus indiquent, en général, que la salinité exerce un effet dépressif considérable sur l'ensemble des paramètres de croissance étudiés, comparativement aux témoins des deux espèces testées. **Khadri et al. (2001)** sont arrivés aux mêmes observations durant leur travail sur la légumineuse Phaseolus Vulgris. Quant aux combinaisons « salinité-acide salicylique », il semble que ce dernier exerce un effet dépressif sur le stress salin aux deux concentrations retenues chez la tomate notamment lors de l'application de la pulvérisation de l'AS sur le feuillage des plantes. Pour ce qui est de l'effet de l'acide salicylique sur la longueur de la tige, les résultats positifs concernant les deux espèces étudiées obtenus sont contradictoires à ceux de **Bouaouina et al (2000)** ayant travaillé sur le blé dur (*Triticum durum* L.), où il a observé une diminution du paramètre étudié. En ce qui concerne l'impact de la salinité, il a été remarqué qu'elle provoque un abaissement de la longueur de la partie aérienne, résultat analogue à celui de **Saidi et al. (2014)**. Il est à noter que l'effet combiné de l'acide avec la salinité se traduit par une amélioration de la longueur de la tige chez les deux espèces, néanmoins à la concentration de 0.5mM d'AS le milieu enrichi en Na₂SO₄ semble être moins agressif que celui en NaCl chez les deux espèces .Pour la concentration de 0.25mM, c'est le milieu salin enrichi en NaCl qui présente la longueur de la tige la plus élevée au niveau de tous les traitements. Des résultats similaires ont montré que le traitement de l'AS (0.05mM) réduit les effets nuisibles de la salinité (**Shakirova et al ; 2003**). En plus **Inada et al. (2005)**, **Wang et al. (2002)** ont montré que l'application de l'AS (0.01-0.1 mM) mène à l'accumulation des phytohormones (ABA, AIA) et des protéines liées à la résistance et réduit ainsi considérablement l'ampleur des dégâts causés par la salinité.

Pour ce qui est du diamètre des tiges, nos résultats corroborent avec ceux d'**Assimakopoulou et al. (2015)** et d'**Abdelgawad et al. (2019)** qui ont montré qu'il y a une réduction du diamètre des tiges de tomate sous l'effet de la salinité. Des résultats similaires ont été également rapportés par **Ali et Ismail (2014)** ; **Saito et Matsukura (2014)** et **Zhang et al. (2016)** chez plusieurs variétés de tomate.

Cette étude a montré que le stress salin s'est traduit par un allongement de la date d'apparition des premières fleurs beaucoup plus marquée chez la tomate comparativement au haricot. Ce résultat semble être similaire à celui de **Van Zandt et Mopper (2002)**, **Zapryanova et Atanassova (2009)** et **Kpinkoun et al. (2019)** qui ont prouvé qu'il y a une augmentation du temps d'apparition des premières fleurs sous l'effet de la salinité traduisant un retard de la floraison. La réponse de la floraison à ce niveau semble dépendre de l'espèce et probablement du génotype considéré à l'intérieur de chaque espèce comme c'est généralement le cas pour les autres paramètres de croissance et de développement.

l'effet de la salinité s'est traduit également par un allongement plus ou moins important de la date de nouaison des premiers fruits de tomate passant de 68 jours chez le témoin à 80 jours au niveau des traitements T4, T5 et T8. Cet écart journaliers est beaucoup moins réduit chez le haricot (40 à 42 jours).

L'ensemble des résultats présentés permet de noter quelques conclusions de caractère général sur la croissance et le développement des deux espèces étudiées, à savoir la tomate et le haricot en présence d'eaux salines naturelles enrichies en Na₂SO₄ et en NaCl avec effet de l'adjonction de l'acide salicylique à deux concentrations (0,50 et 0.25 mM).

La composition chimique des milieux nutritifs ainsi que l'adjonction de l'acide salicylique influencent la vitesse de croissance, la hauteur des plantes, le diamètre des tiges, le nombre de feuilles, et le poids de matière fraîche totale produite.

Les possibilités supérieures d'échange entre le milieu de culture et les racines des plantes permettent de rendre compte de l'effet du milieu. Le développement des deux espèces testées sur les deux catégories de solutions différentes (eau saline naturelle enrichie en Na₂SO₄ et eau saline naturelle enrichie en NaCl) peut expliquer leur comportement différent dans les milieux testés.

3.2.2 Paramètres physiologiques

3.2.2.1 Contenu relatif en eau (RWC) en milieu non salin et salin de la tomate en %:

En date du 06/03/2021 après 63 jours de culture, il a été procédé à la détermination de la teneur relative en eau (RWC) à l'aide de la formule suivante (Turner 1981):

FW = Poids frais.
DW = Poids sec.
TW = poids turgescent

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

Les résultats relatifs au contenu relatif en eau (RWC) des feuilles de l'espèce tomate sont présentés dans le tableau 27

Les résultats du tableau 27 montrent que l'effet traitement exerce une action remarquable sur le paramètre mesuré.

Tableau 27 : Contenu relatif en eau des feuilles de tomate en %

Trait	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
CRE	85.38	86.14	89.10	85.83	84.03	89.56	88.79	89.91	93.60	92.24	87.09
%	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Milieu Non salin	1.40	1.01	0.77	0.83	0.47	1.34	0.27	0.93	2.07	0.35	1.16
	f	def	bcd	ef	f	bc	cde	bc	a	ab	cdef
CRE	89.98	88.29	87.89	87.48	84.60	88.21	96.37	94.02	94.97	96.83	83.94
%	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±	±
Milieu salin	0.02	0.99	0.57	1.12	1.20	2.66	2.04	0.56	1.32	1.03	2.45
	bc	cd	cd	cd	d	cd	a	ab	a	a	a

Il a été constaté que lorsque les fragments de feuilles ont séjourné dans de l'eau distillée, le milieu enrichi en Na₂SO₄ induit une baisse de la teneur relative en eau au niveau du feuillage des plantes de tomate comparativement au milieu enrichi en NaCl où l'on constate un léger accroissement du CREF de 0.89%. A l'inverse, l'introduction des fragments de feuilles dans les différents traitements se traduit par une amélioration substantielle du contenu relatif en eau en milieu enrichi en Na₂SO₄, de 1.82%.

Parallèlement, il y a lieu de noter que les CREF des fragments mis en milieu salin sont les plus importants et notamment lorsqu'il y a application de la pulvérisation foliaire à base d'AS au niveau des traitements T7, T8, T9 et T10, et ce par rapport aux échantillons de fragments de feuillages ayant été mis dans de l'eau distillée. (Tableau 27)

Aussi, l'apport de l'acide salicylique à 0.5Mmole des fragments de feuilles dans l'eau manifeste d'une part une légère régression du CREF en milieu enrichi en NaCl (T4), et un léger accroissement du paramètre mesuré en milieu enrichi en Na₂SO₄ (T3) de 4.35%.

A l'inverse, aucun accroissement n'est remarqué dans les CRUF issus des traitements salins et ce quel que soit la concentration de l'AS utilisée.

Nos résultats montrent que l'addition de l'AS à concentration 0.25 mM, dans un milieu salin enrichi en NaCl provoque une augmentation du CREF issue d'une imbibition dans de l'eau distillée de l'ordre de 89.56% soit un accroissement de 04.34%.

Le CREF issu de l'eau distillée évolue à la baisse pour les plantes de tomate cultivées sur les milieux distincts en milieu salin T1 et T2 par rapport au témoin T11. Les résultats de ce test montrent que les plantes de tomate ont réagi d'une façon presque similaire dans les deux milieux nutritifs. L'effet milieu

nutritif semble avoir été de nature à modifier la turgescence cellulaire. En effet, une légère augmentation est remarquée chez les plantes cultivées sur le milieu enrichi en NaCl par rapport à celles menées sur le milieu enrichi en Na₂SO₄.

Par ailleurs, les plantes arrosées avec seulement de la solution nutritive (témoin) enregistrent un CREf moindre issu de l'eau distillée et qui est de $87.09\% \pm 1.16$, comparativement à celui issu des solutions salines et qui est de $83.94\% \pm 2.45$. En revanche, la plus faible CREf est obtenue sous l'effet de 0.25 Mm d'acide salicylique en présence du milieu enrichi en Na₂SO₄ à la concentration de 8.60 meq/l. Selon nos résultats, la pulvérisation des feuilles par l'AS à faible concentration (0.5 mM) inhibe l'absorption de l'eau par les plantes en milieu enrichi en Na₂SO₄ où l'on note une CREf issue de l'eau distillée de 88.79% au niveau du (T7) comparativement au même traitement avec 0.25 Mm d'AS (T9). La tomate cultivée sur deux milieux salins dont un enrichi en NaCl et l'autre en Na₂SO₄ présente des CREf presque identiques, de ce fait, on peut dire que les plantes de tomate expérimentées s'adaptent mieux aux milieux salins testés. Cependant, l'étude statistique montre qu'il n'existe pas d'effet significatif entre les deux milieux T1 et T2 sur le CREf pour les plantes de tomate, alors qu'il existe un effet très significatif du sel additionné à la dose d'AS sur le contenu relatif en eau au niveau du feuillage.

3.2.2.2 Indice de tolérance à la salinité

L'indice de tolérance à la salinité est calculé par le rapport entre la biomasse sèche racinaire obtenue sur le milieu salin est celle obtenue sur le milieu dépourvu de salinité (témoin)

$$ITS = \frac{\text{Biomasse sèche racinaire du traitement salin}}{\text{Biomasse sèche du traitement non salin (témoin)}}$$

Les résultats relatifs à ce paramètre sont présentés dans le tableau ci-dessous

Le calcul de l'ITS, basé sur la BSR des deux espèces étudiées (Tableau 28), semble indiquer que le paramètre mesuré est influencé de manière significative par quelques traitements testés, et ce quel que soit l'espèce analysée.

Selon les résultats présentés, on remarque que pour la tomate, le milieu salin nutritif ne présente aucune action remarquable sur l'indice de résistance à la salinité, compte tenu que l'IRS avoisine la valeur de 0.20. A l'inverse, le haricot présente une résistance à la salinité lorsqu'il est cultivé sur le milieu salin enrichi en Na₂SO₄ par rapport au milieu NaCl, avec un accroissement de 10.71%

De ce constat, on peut conclure que le haricot est plus sensible au sodium lorsqu'il est lié au chlorure que lorsqu'il est lié aux sulfates.

La tolérance à la salinité chez la tomate a tendance à augmenter en présence de l'association salinité à base de NaCl /acide salicylique, beaucoup plus à la concentration de 0,50 mM que 0.25 mM. Par contre, l'impact de l'AS est plus marqué chez le haricot, notamment à la concentration de 0.25 Mm en milieu enrichi en NaCl où l'on note un IRS le plus élevé égal à 1.27, et donc les plantes de haricot tolèrent mieux le NaCl additionné à l'AS à 0.25 mM.

Les valeurs affichées dans le tableau ? montrent que les plantes de haricot cultivées au niveau du traitement salin à base de Na₂SO₄ (T1) enregistrent un indice de tolérance à la salinité (ITS) plus important que celui affiché par le haricot mené au niveau du traitement salin à base de NaCl et ce avec un accroissement de 10.71%.

Il convient de noter que le niveau de tolérance des plantes de tomates au niveau des traitements salins T1 et T2 s'exprime sans aucun effet à l'ajout de l'acide salicylique aux concentrations étudiées, à l'exception du traitement T4 à base de NaCl et à la concentration de 0.5 mM d'AS (Tableau 28).

Tableau 28 : Indice de résistance à la salinité de la tomate et du haricot

Traitement	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Tomate	0.21	0.20	0.17	0.26	0.22	0.22	0.21	0.15	0.15	0.19	1.00
	± 0.02 bcd	± 0.03 bcd	± 0.03 cd	± 0.02 b	± 0.02 bc	± 0.02 bcd	± 0.03 bcd	± 0.01 d	± 0.03 d	± 0.02 bcd	± 0.00 a
Haricot	0.93	0.84	1.21	1.15	0.74	1.27	1.54	0.61	0.99	1.12	1.00
	± 0.02 def	± 0.03 efg	± 0.05 bc	± 0.03 bcd	± 0.04 ef	± 0.05 b	± 0.23 a	± 0.02 f	± 0.05 cde	± 0.08 bcd	± 0.00 cde

Vraisemblablement, l'ajout de l'acide salicylique à la dose indiquée a agi positivement sur l'Indice de tolérance à la salinité (ITS), alors qu'aucune réaction n'est observée avec la concentration de 0,25 mM, et donc les plantes de tomate tolèrent mieux le NaCl comparativement au Na₂SO₄

Discussion et conclusion

La diversité de l'influence de la salinité sur la plante offre une gamme importante de critères physiologiques qui peuvent éclaircir la tolérance à la salinité de certaines espèces végétales. En effet, l'analyse du contenu relatif en eau des feuilles (CREf), permet d'élucider d'une manière assez globale le bilan hydrique de la plante et de mesurer l'aptitude à instaurer une meilleure osmorégulation et de maintenir une turgescence cellulaire (**Morant-Manceau et al. 2004**). Bien que, le stress salin soit un phénomène complexe qui conduit souvent à un stress osmotique dû à la diminution des quantités d'eau disponible au niveau de la racine, suite à la réduction de l'aptitude des plantes à absorber l'eau.

Le statut hydrique de la tomate est influencé par le traitement salin et le type de sel dominant qui le constitue. Le CREf diminue significativement sous l'effet de la salinité, et ce comparativement à celui issu du traitement à base de la solution nutritive composée de macro et de microéléments dans un rapport bien équilibré et adéquat à une nutrition parfaite des plantes. Ces données sont en parfaite concordance avec celles obtenues sur la tomate par **Kaya et Ashraf, (2015)**.

En outre, l'état hydrique des plantes de tomate cultivées dans le milieu salin enrichi en NaCl s'est montré légèrement supérieur que celui issu du milieu enrichi en Na₂SO₄, ceci revient probablement à l'effet du NaCl qui a favorisé de peu la disponibilité de l'eau à la plante. Nos plantes de tomate se sont montrées sensibles aux fortes concentrations en NaCl et en Na₂SO₄ qui sont équivalentes (8.60 meq), puisque, l'effet Na₂SO₄ s'est traduit par la diminution de la disponibilité de l'eau pour la plante, due à l'augmentation de la pression osmotique du milieu, ce qui provoque une diminution de la turgescence des feuilles des plantes de tomate.

Le contenu relatif en eau foliaire (CREf) représente un bon indicateur de l'état hydrique. Il diminue légèrement chez les plantes stressées à la salinité. Il est bien admis que le choc salin induit des changements au niveau de l'état hydrique de la plante, réduit le CREf et l'absorption hydrique par les racines (**Kaya and Ashraf, 2015**). Ce que considèrent certains physiologistes, que le CREf comme l'une des caractéristiques importantes qu'influe sur l'état hydrique et aussi comme une mesure du bilan hydrique de la plante, ce qui reflète l'activité métabolique dans les tissus, et utilisée comme un indice le plus significatif de la tolérance à la salinité. Cette teneur est plus élevée dans les phases initiales de développement des feuilles et diminue au fur et à mesure que la matière sèche s'accumule dans les feuilles adultes (**Anjum et al. 2011**).

Cette diminution du contenu relatif en eau de la plante en réponse à la salinité est signalée dans un grand nombre de plantes. Lorsque les feuilles sont soumises à une salinité, ces feuilles présentent

d'importantes réductions du potentiel hydrique et du CREf, Enfin, selon **Rivero et al.(2014)**, le choc salin affecte à la fois la croissance des feuilles et l'état hydrique de la plante. Toute de même, le comportement des plantes de tomate testées par rapport au contenu relatif en eau en fonction des deux milieux nutritifs étudiés semble presque identique. Effectivement, face à de fortes concentrations salines, les pertes en eau des feuilles diminuent considérablement afin de conserver une certaine turgescence cellulaire permettant une aptitude à la salinité.

Les données obtenues dans cette expérience peuvent aussi s'expliquer par le phénomène d'ajustement osmotique, caractérisé par la diminution du potentiel hydrique, permettant ainsi de maintenir les mouvements d'eau vers les feuilles et par conséquent leur turgescence.

Aussi, l'effet osmotique produit par la salinité du milieu peut causer des perturbations dans l'équilibre hydrique de la plante et l'inhibition de la croissance, en provoquant la fermeture des stomates et la réduction de la photosynthèse (**Wang et al. 2015**).

Selon nos résultats, la pulvérisation des feuilles par l'AS à la concentration de 0.5 mM inhibe l'absorption de l'eau par les plantes en milieu enrichi en Na₂SO₄ où l'on note une CREf issu de l'eau distillée de 88.79% au niveau du (T7) comparativement au même traitement avec 0.25 Mm d'AS (T9). Selon les travaux de **Fariduddin et al. (2003)** l'inhibition de la photosynthèse chez les nombreuses plantes peut être due à l'effet direct de l'AS à forte dose (0.5 mM) sur plusieurs processus biochimiques et photochimiques. L'AS à forte dose diminue la teneur en pigments photosynthétiques des plusieurs plantes tels que le blé, l'orge et la tomate (**Pancheva et al ; 1996 Lian et al ; 2000**).

En revanche, au niveau du traitement T8 en plus de l'effet du milieu salin conjugué à l'apport de l'acide salicylique à 0.5mM + Pulvérisation foliaire, les deux espèces étudiées affichent des ITS allant de 0.21 à 1.54 pour la tomate et le haricot respectivement.

La racine constitue comme un des organes exprimant la sensibilité aux gradients de salinité. En effet, des travaux sur la tomate ont montré que le poids sec des racines affiche une baisse lorsque la salinité du milieu augmente (**Lovelli et al. 2012**).

Chez les deux espèces étudiées, les deux milieux salins de base constitués de NaCl et de Na₂SO₄ ont considérablement affecté à la baisse la biomasse sèche des racines par rapport au témoin ; ceci résulte d'une déficience de la photosynthèse, au niveau des traitements salins, évoluant vers la sénescence induite sous salinité rapporté par **Taffouo et al. (2013)**. Vraisemblablement, les deux milieux à base de NaCl et de Na₂SO₄ agissent sur le potentiel osmotique qui induit un stress salin affectant la biomasse des racines. Cette réduction de biomasse se poursuit de manière importante sous salinité confirmée par

ailleurs par **Shiyab et al. (2013)**.

Aussi, selon **Rivero et al. (2014)**, le choc salin en tant qu'ensemble, peut réduire la capacité d'absorption d'eau de la plante et, finalement, réduire la croissance. Cette diminution de la croissance induite par la salinité chez les deux espèces étudiées est signalée dans d'autres travaux (**Ghanem et al. 2011 ; Shiyab et al. 2013 et Wang et al. 2015**). Selon (**Wang et al. 2015**) la salinité peut inhiber la croissance des racines, modifier le potentiel hydrique externe, augmenter la toxicité des ions, ou causer un déséquilibre ionique, et peut même, imposer des restrictions biochimiques sur l'expansion de la paroi cellulaire, qui à son tour peut inhiber la croissance des racines.

Cette réponse est cependant différente, selon toujours l'indice de tolérance à la salinité, entre les deux espèces végétales. Le haricot exprime une tolérance à la salinité plus élevée que celle de la tomate. Actuellement, il est bien établi que les fortes salinités dans le milieu de culture causent un retard de croissance de la plante (**Latef and Chaoxing, 2011**). En contrepartie, les racines présentent des caractéristiques qui peuvent jouer un rôle actif dans l'absorption ionique et hydrique comme la longueur des racines, la densité racinaire, le nombre, la longueur et la surface des poils absorbants (**Garcia-Abellan et al. 2015**).

3.2.3 Paramètres biochimiques

3.2.3.1 Dosage de la chlorophylle a et b chez la tomate et le haricot %:

Les teneurs en chlorophylle a et b ont été déterminées par spectrophotométrie à 645 et 663 nm (Arnon, 1949). La détermination des teneurs est réalisée selon les formules :

$$\text{Chl a } (\mu\text{g/g MF}) = 12,7 \times \text{DO}_{(663)} - 2,59 \times \text{DO}_{(645)} \times V / (1000 \times W).$$

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

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

Les résultats relatifs à la teneur en chlorophylle a relevés au niveau de la tomate et le haricot sont présentés dans le tableau 29

Tableau 29 : Teneurs en chlorophylle a de la tomate et le haricot

Espèces	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Tomate	0.41	0.64	0.43	0.55	0.57	0.72	0.55	0.69	0.55	0.35	1.37
	± 0.06 fg	± 0.00 bcd	± 0.13 efg	± 0.05 def	± 0.05 cde	± 0.00 b	± 0.03 cdef	± 0.01 bc	± 0.02 cdef	± 0.00 g	± 0.00 a
Haricot	0.07	0.07	0.27	0.22	0.11	0.09	0.20	0.31	0.23	0.30	0.96
	± 0.02 e	± 0.01 e	± 0.00 bc	± 0.01 bc	± 0.02 de	± 0.02 e	± 0.01 cd	± 0.01 b	± 0.00 bc	± 0.01 b	± 0.11 a

Le milieu salin à base de Na₂SO₄ a entraîné une baisse de la teneur en chlorophylle a chez les plantes de tomate, alors que le NaCl a engendré une amélioration remarquable au niveau de la même espèce. Chez la tomate, il a été quantifié 0,64 µg/g MF, en milieu salin enrichi en NaCl contre, et 0,41 µg/g MF en milieu enrichi en Na₂SO₄ soit une augmentation de 36%. A l'inverse, chez le haricot, au niveau des milieux salins T1 et T2 quel que soit le sel administré, on enregistre une teneur en chlorophylle A la plus faible par rapport aux autres traitements testés (tableau 29)

Par contre le traitement T8 enrichi en NaCl avec adjonction d'une pulvérisation foliaire à base d'acide salicylique à 0.25 mM qui est administrée manifeste la teneur la plus élevée à savoir 0.31 µg/g MF.

Le traitement témoin T11 constitué d'une solution nutritive complète et bien équilibrée manifeste la teneur en chlorophylle a la plus importante chez les deux espèces étudiées, et plus particulièrement chez les plantes de tomate

Chez les deux espèces stressées aux deux types de sels, l'AS à 0.25 Mmole au niveau des traitements T5 et T6 a augmenté la teneur en chlorophylle A dans les feuilles, beaucoup plus chez la tomate que le haricot.

3.2.3.2. Teneur en chlorophylle B des deux espèces étudiées

Les résultats relatifs à la teneur en chlorophylle b relevés au niveau de la tomate et le haricot sont présentés dans le tableau 30

La chlorophylle B des feuilles de tomate est réduite au niveau du milieu salé à base de Na₂SO₄

comparativement au milieu enrichi en NaCl où , il est noté une régression de 35% de la teneur en chlorophylle .Autrement dit , chez la tomate , il a été quantifié 0,26 µg/g MF en milieu NaCl contre 0,17 µg/g MF sur milieu enrichi en Na2SO4 .(tableau 30)

Le traitement témoin T11 constitué d'une solution nutritive complète et bien équilibrée manifeste la teneur en chlorophylle b la plus importante chez les deux espèces étudiées, et plus particulièrement chez les plantes de tomate où l'on enregistre une augmentation de 53% par rapport aux plantes de haricot. (Tableau 30).

L'adjonction de l'acide salicylique est plus remarquable sur la chlorophylle b dans les feuilles des plantes de tomate comparativement aux plantes de haricot. Les meilleurs résultats sont enregistrés lorsque l'AS à 0.25mM est appliquée sur le milieu enrichi en NaCl avec ou sans application foliaire.

Tableau 30 : Teneurs en chlorophylle b de la tomate et le haricot

Espèces	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
Tomate	0.17 ± 0.009 de	0,26 ± 0.003 c	0.16 ± 0.018 e	0.20 ± 0.01 5 d	0.25 ± 0.02 0 c	0.35 ± 0.011 b	0.33 ± 0.012 b	0.28 ± 0.00 7 c	0.26 ± 0.016 c	0.18 ± 0.00 6 de	0.59 ± 0.01 7 a
Haricot	0.03 ± 0.01 b	0.02 ± 0.00 b	0.06 ± 0.01 b	0.08 ± 0.01 b	0.03 ± 0.01 b	0.02 ± 0.01 b	0.07 ± 0.01 b	0.13 ± 0.10 b	0.12 ± 0.06 b	0.04 ± 0.01 b	0.28 ± 0.03 a

3.2.3.3. Dosage de la proline dans les feuilles en %:

La proline a été dosée selon la technique utilisée par TROLL et LINDSLLES, et simplifiée par MONNEVEUX et NEMMAR (1986). La lecture de la densité optique des échantillons a été faite par spectrophotométrie à la longueur d'onde de 528 nm. La détermination de la teneur de la proline est réalisée selon la formule :

$$\text{Proline } (\mu\text{g/g MF}) = \text{DO}_{528} \times 0.62$$

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous

Selon les résultats du tableau 31 , on constate que les teneurs en proline des feuilles des plantules de tomate et de haricot ont augmenté significativement et parallèlement à la dose du milieu salin enrichi en NaCl, à savoir au niveau du traitement T2. Les teneurs enregistrées dans les feuilles sont 0,036 µg/g MF pour la tomate contre 0,078 µg/g MF au niveau du haricot, marquant une forte sensibilité de cette espèce végétale au NaCl.

L'addition de l'acide salicylique à 0.5 mole au milieu enrichi en NaCl (T2) a réduit la teneur en proline des feuilles beaucoup plus chez le haricot comparativement à la tomate, Toutefois, ces valeurs demeurent légèrement supérieures à celles enregistrées chez les plantes des deux espèces cultivées sur milieu enrichi en Na₂SO₄ additionné à l'A.S à 0.25Mole. Dans les feuilles, nous avons quantifié : 0,038 µg/g MF chez la tomate, contre 0.028 µg/g MF pour le haricot. (Tableau 31).

Tableau 31 : Teneurs en proline de la Tomate et du Haricot en µg/g MF

Traitements	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11 SN
Tomate	0.017 ± 0.001 cd	0,036 ± 0.001 a	0.008 ± 0.001 e	0.028 ± 0.003 b	0.038 ± 0.002 a	0.016 ± 0.011 cd	0.013 ± 0.003 de	0.021 ± 0.003 c	0.038 ± 0.002 a	0.012 ± 0.001 de	0.016 ± 0.001 cd
Haricot	0.036 ± 0.002 d	0,078 ± 0.005 b	0.003 ± 0.000 h	0.002 ± 0.000 h	0.028 ± 0.001 e	0.021 ± 0.001 fg	0.008 ± 0.001 h	0.017 ± 0.001 g	0.054 ± 0.001 c	0.205 ± 0.003 a	0.026 ± 0.002 ef

.De ce constat, on peut déduire que le haricot est plus sensible au NaCl et au Na₂SO₄ comparativement à la tomate suite aux fortes concentrations de proline identifiées au niveau du haricot. Néanmoins, l'addition de l'AS à 0.5Mmole atténue remarquablement la production de proline chez le haricot par rapport à la tomate.

Le tableau 31 montre que la teneur en proline dans les feuilles des deux espèces étudiées (tomate et haricot) est beaucoup plus importante dans le milieu salin enrichi en NaCl comparativement au milieu salin à base de Na₂SO₄. Aussi, il y a lieu de noter que la production de proline est la plus dominante

chez le haricot compte tenu la sensibilité de l'espèce à la salinité. En effet, chez les plantes arrosées à la solution nutritive composée de macro et de micro éléments (témoins), la proline s'accumule faiblement dans les feuilles avec des teneurs oscillant entre 0.017 chez la tomate et 0.028 69 $\mu\text{g/g}$ MF chez le haricot se traduisant par une sensibilité accrue à la salinité et par voie de conséquence la production de proline est la plus importante .

Dans les milieux salés additionnés à l'acide salicylique aux différentes concentrations testées 0.5 et 0.25 mM, la proline libre s'accumule sensiblement dans les feuilles des deux espèces étudiées. Elle augmente chez les plantes de tomate menées milieu enrichi en Na_2SO_4 + 0.25mMole d'A.S pour atteindre respectivement 0.038 $\mu\text{g/g}$ MF comparativement aux plantes de haricot où la teneur en proline n'est que de 0.029 $\mu\text{g/g}$ MF. La teneur en proline reste moins importante en milieu enrichi en NaCl quelle que soit l'espèce testée.

Par contre, les feuilles de tomate et de haricot cultivés sur milieux additionnés à l'A.S à 0.5 mM accumulent moins de proline que celles issues des milieux à 0.25 mM .

Effectivement, l'analyse de ces résultats montre que la tomate cultivée au niveau des deux milieux nutritifs en présence de l'acide salicylique à 0.25 mM accumulent beaucoup plus des teneurs en proline dans les feuilles sous l'effet des concentrations de NaCl et de Na_2SO_4 , comparativement à ceux où la concentration en A.S est de 0.5 mM .

Les calculs statistiques à l'aide du test Fisher-Snedecor à $P=5\%$, l'interaction dose d'acide salicylique -traitement salin est significative pour les deux espèces testées. Par contre, l'effet dose d'acide salicylique, notamment celle de 0.25 mM est plus remarquable chez la tomate cultivée en présence de Na_2SO_4 . En revanche, la dose de 0.5mMole ne présente aucune action remarquable sur la production de proline quelle que soit l'espèce étudiée, et ce comparativement aux milieux salins dépourvus d'acide salicylique (T1 et T2).

Pour ce qui est de l'effet de la pulvérisation foliaire de l'acide salicylique sur les plantes de tomate et de haricot, les résultats présentés dans le tableau ? montrent que chez la tomate, les teneurs en proline sont plus importantes que celles enregistrées sur haricot et ce quelle que soit la concentration testée, en comparaison avec les mêmes traitements exemptés de pulvérisations foliaires.

La pulvérisation de l'AS à 0.5 mM sur les feuilles des deux espèces étudiées a induit une réduction significative des teneurs en proline au niveau des feuilles, et ce de façon plus marquée chez le haricot par rapport à la tomate. En revanche, le milieu (T10), conjugué à l'apport de l'acide salicylique à 0.25Mm + Pulvérisation foliaire a enregistré la teneur en proline la plus dominante notamment au niveau des feuilles de haricot où l'accumulation est de l'ordre de 0.215 $\mu\text{g/g}$ MF.

Discussion et conclusion

Nos résultats à l'instar de ceux précités, ont démontré que l'acide salicylique peut éliminer les effets négatifs de la salinité en augmentant les pigments chlorophylliens a et b. Il est mis en évidence d'autres composés supplémentaires qui sont impliqués dans la perturbation, sous stress salin, qui induit l'apparition des composés comme la proline, les acides aminés non protéiques, (**Ashraf and Harris, 2004**). Cette conclusion est soutenue par d'autres études sur plusieurs espèces végétales qui démontrent que le stress salin et hydrique induisent la proline (**Radhouane, 2013 ; Rivero et al. 2014**).

Les plantes expriment une aptitude à synthétiser de la proline quel que soit le traitement à la salinité ; sa teneur varie selon l'organe et la salinité du milieu. Des observations identiques sont signalées chez plusieurs espèces cultivées comme le blé (**Shaddad et al., 2013**), *Vicia faba* et *Pisum sativum* (**Dawood et al., 2014**), *Lycopersicon esculentum* L. (**Rivero et al 2014**) et *Oryza sativa* (**Bagdi et al., 2015**). Ces différents résultats prouvent que la réponse au stress salin dépend de l'espèce végétale, de la variété dans la même espèce végétale, du stade de développement de la plante, de la durée et la concentration saline. Dans le présent travail, les deux types d'eaux salines utilisées dont le sodium est tantôt lié aux chlorures (NaCl), tantôt lié aux sulfates (Na₂SO₄) influe sur la teneur de la proline dans les feuilles des deux espèces testées. Aussi, le contenu de la proline est plus important dans le milieu salin enrichi en NaCl que dans le milieu enrichi en Na₂SO₄, notamment chez le haricot avec une teneur de 0.078 µg/g MF. Selon **Manivannan et al. (2007)**, la présence de CaCl₂ au NaCl augmente la teneur en proline, principalement en raison de la dégradation des protéines riches en proline et la synthèse de la proline. D'après plusieurs auteurs, la proline survient généralement chez les plantes supérieures, son accumulation se fait plus que d'autres acides aminés sous l'effet du stress salin (**Babu et al. 2012 ; Eraslan et al., 2012 ; Rivero et al., 2014 ; Leung, 2015 et Iqbal et al., 2015**). Cette spécificité de la proline, est l'un des traits communs chez de nombreuses monocotylédones sous les conditions difficiles de stress de l'environnement (**Wyn Jones and Storey, 1978**). En outre, la tolérance à la salinité des variétés de tomate dépend de la capacité de synthétiser la proline dans des conditions de stress salin (**Maggio et al. 2002**). Des observations similaires sont menées par **Eraslan et al. (2012), Rivero et al. (2014) et Leung (2015)**. Toutefois, l'un des mécanismes le plus important chez les plantes supérieures sous le stress salin est l'accumulation de soluté compatible tel que la proline. **Rivero et al. (2014)** soulignent que l'accumulation de la proline est une réponse commune à un large éventail de stress biotique et abiotique tel que la salinité. Effectivement, cette accumulation est considérée comme une réaction de défense primaire afin de maintenir la pression osmotique cellulaire chez de nombreuses

cultures (**Babu et al., 2012**).

Par ailleurs, des études sont réalisées sur le riz, le sorgho et le maïs, en comparant les variétés résistantes et les variétés sensibles au niveau de la même espèce, montrent que la proline s'accumule en quantité importante dans les variétés tolérantes au sel que dans les variétés sensibles (**Iqbal et al. 2015**). Nous avons comparé nos deux espèces végétales, tomate et haricot sous l'effet de NaCl et de Na₂SO₄, nous avons décelé que la proline s'accumule faiblement chez la tomate par rapport au haricot quel que soit le milieu de culture utilisé, et ce en raison de la sensibilité du haricot à la salinité comparativement à la tomate qui est considérée comme plus tolérante. Les résultats obtenus par **Almeida et al. (2014)** confirment nos conclusions, puisque ces chercheurs ont travaillé sur des tomates sauvages et cultivées, où ils remarquèrent que l'accumulation de la proline dans les espèces de tomate sensible au sel, est plus élevée que dans les espèces sauvages tolérantes.

D'autres conclusions signalent qu'il existe une relation négative entre l'accumulation de la proline et la tolérance à la salinité chez **Vigna mungo (Ashraf, 1989)**. De même, **Lutts et al. (1999)** observent chez les variétés de riz résistantes au sel, une faible accumulation de proline dans leurs feuilles que chez les variétés sensibles au sel. Même constat est vu chez la tomate par **Aziz et al. (1998)**. L'accroissement du niveau de la proline est une réponse commune des plantes stressées, rapporté par **Eraslan et al., (2012) et Rivero et al. (2014)**

Aussi, il faut signaler le rôle de la proline dans l'osmorégulation, l'ajustement osmotique, la protection de la structure cellulaire et sa fonction dans la tolérance au sel est généralement discuté dans plusieurs travaux de recherche (**Ruiz-Lozano et al. 2012 ; Misra and Misra, 2012 ; Slama et al., 2014**). Enfin, l'accumulation endogène de la proline dans les plantes stressées au sel est considérée comme indicateur efficace pour la tolérance au sel.

Dans notre étude l'acide salicylique a réduit significativement la teneur en proline dans les feuilles des deux espèces testées soumises au stress salin. Nos résultats sont conformes avec certains travaux sur l'effet de l'AS sur d'autres plantes stressées à la salinité dont *Carthamus tinctorius* L. (**Shaki et al. 2018**), *Phaseolus vulgaris* L. (**Palma et al. 2009**), *Artemisia annual* (**Aftab et al., 2011**). Ces travaux ont observé une réduction de la proline suite au traitement des plantes par l'acide salicylique. Cette réduction indique une amélioration des effets délétères du stress salin par l'AS qui serait responsable du maintien de la croissance des plantes sous des conditions salines.

Aussi, la pulvérisation foliaire de l'acide salicylique dans notre étude a induit une augmentation dans les

teneurs en proline des feuilles des plantes stressées au sel. Les travaux de **El Tayeb (2005)** sur des cultures de maïs conduit sous des conditions de stress salin ont révélé que l'application de l'acide salicylique augmente les protéines et les acides aminés. **Shaki et al. (2018)** ont enregistré dans leur expérimentation un changement significatif dans la teneur en protéines suite à l'application exogène de l'acide salicylique. **Hayat et al. (2010)** reportent que l'apport exogène d'acide salicylique protège et augmente les enzymes impliqués dans le métabolisme azoté dans les environnements stressants, il interfère également dans le processus de formation de nodules chez les légumineuses, par conséquent le développement des nodules n'est pas entravé. La pulvérisation foliaire de l'acide salicylique peut atténuer le stress salin à travers une augmentation conséquente de la biosynthèse des composés phénoliques.

Conclusion générale et perspectives

Le travail réalisé pour l'élaboration de cette thèse est une contribution à l'étude de l'impact de l'acide salicylique dans deux types d'eaux salines tantôt enrichie en Na_2SO_4 , tantôt en NaCl dans la réponse à la salinité de deux glycophytes cultivées : une légumineuse alimentaire, le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.), et une solanacée, la tomate (*Lycopersicon esculentum* M) et ce à travers le comportement de ces deux espèces végétales vis-à-vis de ces deux milieux nutritifs par des mesures biométriques, des dosages biochimiques et phytochimiques accumulés notamment au niveau des feuilles et les tiges.

Notre travail se décline en deux essais, le premier essai portant sur l'impact de l'acide salicylique dans les deux types d'eaux salines identifiées sur la germination des graines des deux espèces retenues soumises à deux concentrations d'acide salicylique (0,25 et 0,50 mM) additionnées d'une part à une eau saline enrichie en NaCl , et au Na_2SO_4 de l'autre part.

Il résulte de notre étude que les graines de haricot et de tomate soumises aux différents traitements testés retardent ou réduisent leur précocité de germination, leur taux germinatif final et ralentissent leur cinétique de germination. Ces constatations sont confirmées par la haute signification des tests statistiques selon le facteur salinité.

A travers les principaux résultats issus de ce premier essai, nous pouvons conclure qu'après 07 jours d'incubation, la germination des graines de tomate est influencée par la présence de l'acide salicylique dans les milieux salins testés. La tomate enregistre respectivement des taux de germination plus élevés sous l'effet de l'AS, comparativement aux traitements salins naturels sans apport d'acide

salicylique à savoir T1 et T2 .Les graines du témoin marquent une germination de 61,25% et qui passe à 62,50% jusqu'à la durée complète de la germination .Cependant, les graines ayant reçues l'acide salicylique expriment une amélioration du taux de germination jusqu'à l'obtention d'un taux de 82,50 % au niveau du traitement à base de NaCl additionné à 0,25 mM d'A.S, jugé le plus élevé par rapport aux autres traitements testés. L'acide salicylique à 0,5 mM reste sans effet marqué sur les eaux salines testées et où le milieu enrichi en NaCl semble inhiber partiellement la germination des graines par rapport au milieu riche en Na₂SO₄. Ainsi, toutes les graines n'ont pas une capacité identique à tolérer la salinité

Au neuvième et dixième jour, les graines issues du milieu salin enrichi e Na₂SO₄ + 0,50 mM A.S manifestent un taux de germination légèrement supérieur montrant une adaptation développée des mécanismes complexes pour affronter les changements environnementaux.

Nous avons noté que les graines imbibées à l'eau révèlent une précocité de germination très élevée par rapport aux graines imbibées aux solutions salines, et cela est dû à la facilité de la réhydratation en absence de sel. Alors que durant le temps de germination, nous avons remarqué que les graines imbibées aux solutions salines relèvent un taux de germination final plus élevé par rapport celle imbibées à l'eau.

Nos observations montrent que l'effet combiné salinité/AS agit sur les graines de tomate et de haricot avec des taux de germination finale élevés, beaucoup plus chez le haricot que la tomate. Nos observations indiquent que la réaction de la tomate à la salinité diffère par rapport au haricot et au temps de germination. La durée dans le temps en conditions salines affaiblit beaucoup plus la vitesse de germination des graines de tomate par rapport à celle du haricot tout en retardant le processus de germination des graines des deux espèces , bien que le haricot montre une certaine tolérance par rapport à la tomate .

En ce qui concerne les principales observations recueillies à travers le second essai portant sur le comportement physiologique des deux espèces végétales étudiées. Les paramètres de croissance et de développement étudiés sont influencés sous l'effet des milieux salins testés et qui se manifestent nettement au niveau de la plante entière à des degrés variables selon les deux espèces, mais qui sont perceptibles à l'échelle de la croissance des plantes. Cet impact négatif des eaux salines naturelles étudiées s'est vu améliorer au niveau des paramètres de croissance mesurés par l'introduction de l'acide salicylique notamment à la dose de 0.25Mm. D'autre part, les impacts de la salinité enregistrés révèlent, d'une façon générale, une bonne tolérance manifestée par les deux espèces dans le milieu

enrichie en Na₂SO₄ comparativement au milieu enrichie en NaCl. Les résultats obtenus indiquent, en général, que la salinité exerce un effet dépressif considérable sur l'ensemble des paramètres de croissance étudiés, comparativement aux témoins des deux espèces testées. Il est à noter que l'effet combiné de l'acide avec la salinité se traduit par une amélioration de la longueur de la tige chez les deux espèces, néanmoins à la concentration de 0.5mM d'AS le milieu enrichi en Na₂SO₄ semble être moins agressif que celui en NaCl chez les deux espèces étudiées.

Cette étude a montré que le stress salin s'est traduit par un allongement de la date d'apparition des premières fleurs beaucoup plus marquée chez la tomate comparativement au haricot, se traduisant ainsi par un retard de la floraison, puis de la nouaison. Cette réponse à ce niveau semble dépendre de l'espèce et probablement du génotype considéré à l'intérieur de chaque espèce comme c'est généralement le cas pour les autres paramètres de croissance et de développement.

Aussi, le contenu relatif en eau des feuilles relative (CREf), les teneurs en chlorophylles 'a' et 'b', ainsi que le taux de proline ont été quantifiées dans les feuilles des plantes des deux variétés espèces étudiées.

En effet, l'analyse du contenu relatif en eau des feuilles (CREf), permet d'élucider d'une manière assez globale le bilan hydrique de la plante et de mesurer l'aptitude à instaurer une meilleure osmorégulation et de maintenir une turgescence cellulaire.

Le CREf diminue significativement sous l'effet de la salinité, et ce comparativement à celui issu du traitement à base de la solution nutritive composée de macro et de microéléments dans un rapport bien équilibré et adéquat à une nutrition parfaite des plantes. En outre, l'état hydrique des plantes de tomate cultivées dans le milieu salin enrichi en NaCl s'est montré légèrement supérieur que celui issu du milieu enrichi en Na₂SO₄, ceci revient probablement à l'effet du NaCl qui a favorisé de peu la disponibilité de l'eau à la plante. Le contenu relatif en eau foliaire (CREf) représente un bon indicateur de l'état hydrique. Il diminue légèrement chez les plantes stressées à la salinité. Il est bien admis que le choc salin induit des changements au niveau de l'état hydrique de la plante, réduit le CREf et l'absorption hydrique par les racines. Les données obtenues dans cette expérience peuvent aussi s'expliquer par le phénomène d'ajustement osmotique, caractérisé par la diminution du potentiel hydrique, permettant ainsi de maintenir les mouvements d'eau vers les feuilles et par conséquent leur turgescence. Selon nos résultats à l'instar de ceux précités, ont démontré que l'acide salicylique peut éliminer les effets négatifs de la salinité en augmentant les pigments chlorophylliens a et b. La teneur des pigments chlorophylliens a

été revue à la hausse rétablissant. Ainsi, les activités photosynthétique et enzymatique, aidant les plantes étudiées à contourner et à limiter les effets du sel ce qui leur a permis de poursuivre leur croissance dans un environnement stressant.

Les résultats relatifs au dosage de la proline nous a renseigné que l'addition de l'acide salicylique à 0.5 mole au milieu enrichi en NaCl (T2) a réduit la teneur en proline des feuilles beaucoup plus chez le haricot comparativement à la tomate, De ce constat, on peut déduire que le haricot est plus sensible au NaCl et au Na₂SO₄ comparativement à la tomate suite aux fortes concentrations de proline identifiées au niveau du haricot. Néanmoins, l'addition de l'AS à 0.5Mmole atténue remarquablement la production de proline chez le haricot par rapport à la tomate. L'augmentation de ce métabolite primaire démontre le recours de la plante à la synthèse et à l'accumulation de molécules osmorégulatrices dans son cytoplasme pour augmenter sa pressionosmotique afin de maintenir la turgescence cellulaire et protéger ainsi les différents organites et les fonctions nécessaires à sa croissance.

Par contre chez les plantes de tomate ayant reçu les milieux salins enrichis en NaCl et en Na₂SO₄, la production de proline a été plutôt revue à la baisse justifiant la tolérance plus marquée à la salinité.

L'amélioration de la tolérance des plantes cultivées aux excès de sels est un axe important de la recherche scientifique visant d'une part à maintenir une production durable des produits agricoles pour satisfaire les besoins alimentaires d'une population grandissante, d'autre part contribuant à préserver et à valoriser le patrimoine biologique et les ressources en sols. Les méthodes que nous avons testées dans le cadre de ce travail, à savoir l'enrichissement d'un milieu salin en NaCl puis en Na₂SO₄ avec introduction d'acide salicylique soit à 0,50 soit 0,25 Mmole sont des méthodes qui allient durabilité et rentabilité dans la mesure où elles peuvent s'intégrer facilement dans les pratiques culturales tout en réduisant les coûts écologiques et économiques de la salinité.

Par ailleurs, l'étude de la réaction physiologique de la tomate et du haricot en milieu salin n'est pas une finalité en soit, elle constitue le point de départ d'études plus ciblées. Ce type d'approche permet d'avoir une vue globale de la réaction physiologique des deux espèces à leur environnement, est potentiellement intéressante pour des études futures possibles sur l'identification des gènes conférant la tolérance aux stress abiotiques et leur transfert à des fonds génétiques plus performant. Aussi, le facteur hormonal comme de l'acide salicylique pour atténuer l'effet dépressif du sel sur la morpho-physiologie des deux espèces étudiées (tomate, et haricot) ce qui permettrait de préconiser son usage dans les programmes de l'amélioration des espèces maraichères aux stress abiotiques comme biotique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L. and Zou, C.M.** 2011. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. *J Agron Crop Sci* 197:177–185
2. **Abdesselam, A. (2012).** Contribution à l'étude de l'impact d'un boom à cyanobactérie toxiques sur la croissance de la tomate industrielle *Lycopersicum esculentum* L. (variété 61.08). Mémoire de Magister. « Agriculture et fonctionnement des écosystèmes ».centre universitaire d'El Taref. P : 50, 51,64.
3. **Ashraf M, Athar H. R., Harris P. J. C. and Kwon T. R., (2008)** – Some Prospective Strategies for Improving Crop Salt Tolerance. *Advances in Agronomy*, 97: 45-110.
4. **Ashraf, M, Foolad M, R, (2005):** Pre-sowing seed treatment-a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions, *Advances in Agronomy*, 88: 223-271
5. **RA, Hafez EE, Taha TH. (2013).** Acquired Resistant Motivated by Salicylic Acid Applications on Salt Stressed Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.).*American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 13, 50-57.
6. **Almeida, P., de Boer, G., and de Boer, A. H.** 2014. Differences in shoot Na⁺ accumulation between two tomato species are due to differences in ion affinity of HKT1;2. *J. Plant Physiol.* 171, 438–447.
7. **Ashraf, M. 2002.** Salt tolerance of cotton: some new advances. – *Crit. Rev. Plant Sci.* 21(1): 1–30.
8. **Alaoui, M. M., El Jourmi, L., Ouarzane, A., Lazar, S., El Antri, S., Zahouily, M., & Hmyene, A. (2013).** *J. Mater. Environ. Sci.* n° 4 :997 p.
9. **Andrews, M., & Andrews, M. E. (2017).** Specificity in legume-rhizobia symbioses. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(4), 705.
10. **Abdelkader, S., Ramzi, C., Mustapha, R., Houcine, B., M'barek, B. N., Inagaki, M. N., & Abdallah, B.** 2015. Effect of Salt Stress on Germination and Biological Growth of 50 Genotypes of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf). *Pakistan Journal of Nutrition*, 14(12), 957.

11. **Alarcon, J.J., Sanchez-blanco, M.J., Bolarin, M.J., & Torrecillas, A. (1994).** Growth and osmotic adjustment of two tomato cultivars during and after saline stress. *Plant Soil*, Vol. 66: 75-82 p.
12. **Alem, C., & Amri A. (2005).** Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Review in Biology and Biotechnology*, Vol. 4(1) :20-31 p.
13. **Amougou Akoa. 2009.** Effects of salinity stress on growth, ions partitioning and yield of some cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) cultivars. *Int. J. Bot.* 5(2): 135-145.
14. **Asloum, H. (1990).** Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicum esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis (France): 118 p.
15. **Alam, S.M. (1994).** Nutrient Uptake by plants under stress conditions. In: Pessaraki M. Hand book of plants and crop-stress. New York.
16. **Atia A, Smaoui A, Barhoumi Z, Abdelly C, Debez A. 2011.** Differential response to salinity and water deficit stress in *Polypogon monspeliensis* (L.) Desf. Provenances during germination. *Plant Biol*; 13:541-5.
17. **R.B.R., Lohaus, R., Srinivasan, S., Dang, K.K., & Burch, C.L. (2006).** Sexual reproduction selects for robustness and negative epistasis in artificial gene networks. *Nature* 440(7080): 87—90 p.
18. **Aubert, G. (1982).** Les sols sodiques en Afrique du Nord. Cahier O.R.S.T.O.M. service Pédologie. 194 p.
19. **Alvarez ME ; 2000** -Acide salicylique dans les machines de la mort de cellules et de la résistance de maladie hypersensibles. *Usine mole. Biol* ; 44:429 - 442.
20. **Anandhi S. et Ramanujam MP ; 1997** -Effect of salicylic acid on black gram (*Vigna mungo*) cultivars. *Ind. J. Plant Physiol* ; 2: 138-141.
21. **Antipolis, S. (2003).** les menaces sur les soles dans les pays méditerranéens les cahiers du plan Bleu.,
22. **Ashraf, M. 2004.** Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants, *Flora* 199, 361-376.
23. **Aiazzi M T., P D. Carpone, J A Rienzo and J A. Arguello., (2002)- Effects** of salinity and temperature on the germination and early seedling growth of *Atriplex cordobensis* Gandoger et Stuckert (Chenopodiaceae). *Seed Sci. Technol.*, 30, 329-338.

- 24. Aghamir, F., Bahrami, H. A., Malakouti, M. J., Eshghi, S.** 2015. Magnetized Water Effectson Seed Germination and Seedling Growth of Corn (*Zea mays*) Under Saline Conditions. *American Journal of Life Science Researches*, 3(2).
- 25. Afzal I, Shahzad MA, Basra MF, Nawaz A.** 2006. Alleviation of Salinity Stress in Spring Wheat by Hormonal Priming with ABA, Salicylic Acid and Ascorbic Acid. *International Journal of Agriculture Biology* 1, 23-28.
- 26. Anaya, F., Fghir, R., Wahbi, S. and Loutfi, K.,** 2015. Influence of salicylic acid on seed germination of *Vicia faba* L. under salt stress. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.
- 27. Arberg B;** 1981 -Plant growth regulators. Monosubstituted benzoic acid. *Swed. Agric.Res;* 11: 93-105.
- 28. Abdelgawad KF, El-Mogy MM, Mohamed MIA, Garchery C, Stevens RG.** 2019. Increasing Ascorbic Acid Content and Salinity Tolerance of Cherry Tomato Plants by Suppressed Expression of the Ascorbate Oxidase Gene. *Agronomy*,9(51):1-14.
- 29. Ali HEM, Ismail GSM.** 2014. Tomato fruit quality as influenced by salinity and nitricoxide. *Turk J. Bot.*, 38: 122-129
- 30. Assimakopoulou A, Nifakos K, Salmas I, Kalogeropoulos P.** 2015. Growth, ion uptake, and yield responses of three indigenous small-sized greek tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivars and four hybrids of cherry tomato under NaCl salinity stress. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 46: 2357–2377.
- 31. Ashraf, M.** 1989. The effect of NaCl on water relations, chlorophyll, and protein and proline contents of two cultivars of blackgram (*Vigna mungo* L.). – *Plant Soil* 119: 205– 210
- 32. Ashraf, M. P. J. C., Harris, P. J. C.** (2004). Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant science*, 166(1), 3-16.
- 33. Amirinejad, A. A., Sayyari, M., Ghanbari, F., & Kordi, S.** (2017). Salicylic acid improves salinity-alkalinity tolerance in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Advances in Horticultural Science*, 31(3), 157-163.
- 34. Agarwal, S., Sairam, R. K., Srivastava, G. C., & Meena, R. C.** (2005). Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. *Biologia Plantarum*, 49(4), 541-550.

- 35. Aziz, A., J. Martin-Tanguy, J. and F. Larher, F.** 1998. Stress-induced changes in polyamine and tyramine levels can regulate proline accumulation in tomato leaf discs treated with sodium chloride, *Physiol. Plant.* 104: 195–202.
- 36. Boumendjel, M., Houhamdi, M., Samar, M., Sabeg, H., Boutebba, A., et Soltane, M.** 2012. Effet des traitements thermiques d'appertisation sur la qualité biochimique, nutritionnelle et technologique du simple, double et triple concentré de tomate. *Sciences & Technologie C*, (36), 51-59.
- 37. Boscaiu, M., & Fita, A. (2020).** Physiological and Molecular Characterization of Crop Resistance to Abiotic Stresses. *Agronomy*, 10(9), 1308.
- 38. Basu, S., & Kumar, G. (2020).** Nitrogen Fixation in a Legume-Rhizobium Symbiosis: The Roots of a Success Story. In *Plant Microbe Symbiosis* (pp. 35-53). Springer, Cham.
- 39. Babu, M.A., Singh, D. and Gothandam, K.M.** 2012. The effect of salinity on growth, hormone and mineral elements in leaf and fruit of tomato cultivar PKM1. *J Anim Plant Sci* 22:159–164.
- 40. Ben Miled, D., M. Boussaid, A. Abdelkefi et A. Cherif, (1986),** Tolérance au sel d'espèces annuelles du genre *Medicago* au cours de la germination. Séminaire international sur les végétaux en milieu aride, 8 au 10 septembre, Jerba, Tunisie, pp. 586-593
- 41. Bryssine G. (1961).** Salinité du sol et ses problèmes. *Cahiers de la recherche Agronomique*, 12p
- 42. Berthomeu, P., Conjero, G., Nublat, A., Brachenburry, W.J., Lambert, C., Savio, C., Uozomi, N., Oiki, S., Yamada, K., Cellier, F., Gosti, F., Simonneau, T., Essah, P.A., Tester, M., Very, A.A., Sentenac, H., & Casse, F. (2003).** Functional analysis of *AtHKT1* in *Arabidopsis* shows that Na^+ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *EMBO Journal*, Vol. 22: 2004-2014.
- 43. Bewley, J. D. & Black, M. (2012).** Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination: Vol. 2: Viability, dormancy, and environmental control. Springer Science & Business Media.
- 44. Bouda, S., & Haddioui, A. (2011).** Effet du stress salin sur la germination de quelques espèces du genre *Atriplex*. *Revue « nature et technologie »*. N° 05/juin 2011. 72-79 p.
- 45. Boulghalagh, J., Berrichi, A., El halouani, H., & Boukroute, A. (2006).** Effet de stress salin et hydrique sur la germination des graines du jojoba (*Simmondsia Chinensis* [link] Schneider). *Proceedings du Premier congrès national « Amélioration de la production agricole »* Settat, les 16 et 17 mars 2006.

- 46. Burkhanova E. A., Fedina A. B., Kulaeva O. N., 1999-** Effect of salicylic acid and oligoadenylates on protein synthesis in tobacco leaves under heat shock conditions : A comparative study. *Russ. J. of Plant Physiol.*, 46, 16–22.
- 47. Brown, M. T. (2019).** Understanding the Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Transcriptome in Response to Salinity Stress. Doctoral dissertation, 94 p. Delaware State University.
- 48. Ben Miled D., Bousaid M., Adblkeffi A. (1986).** *Colloque sur les végétaux en milieu aride. Djerba 8- 10 sept. 1986. Fac. Sci. de Tunis ept. ACCTT* 586.
- 49. Barkosky RR. et Einhellig FA; 1993** -Effects of salicylic acid on plant waterrelationship. *J. Chem. Ecol*; **19**: 237–247.
- 50. Bouassaba. K et Chougui. S. 2018,** « Effet Du Stress Salin Sur Le Comportement Biochimique Et Anatomique Chez Deux Variétés De Piment (*Capsicum Annuum* L.), *European Scientific Journal, ESJ* , vol. 14, n° 15, pp. 159-159,
- 51. Bouaouina S., Zid E., Hajji M. (2000) :** Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.) Série A. Séminaires Méditerranéens ; pages 239-243
- 52. Bagdi, D.L. and Shaw, B.P. 2015.** Analysis of proline metabolic enzymes in *Oryza sativa* undersalt stress. *J.Expt. Biol.*34, 677-681.
- 53. Chamekh, Z. (2010).** Analyse de la réponse de quelques génotypes de blé dur (*TriticumTurgidumssp.durum*) a la contraintes saline dans trois gouvernorats du centre de la Tunisie, Master en agronomie et Biotechnologie Végétale, Institut nationale agronomique de Tunisie, 4 p.
- 54. Cuartero J, Fernandez-Munoz R. 1999.** Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae* **78**, 83–125.
- 55. Chaux, C., &Foury, CL. (1994).** Cultures légumières et maraichères.Tom 3.légumineuses potagères, légumes fruit. *Tec et Doc Lavoisier*, Paris, 563 p.
- 56. Cha-Um, S., and Kirdmanee, C. 2009.** Proline accumulation, photosynthetic abilities, and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. *Agric Sci China* 8: 51-58.
- 57. Cramer, M. D., Schierholt, A., Wang, Y. Z., and Lips, S. H. 1995.** The influence of salinity on the utilization of root anaplerotic carbon and nitrogen metabolism in tomato seedlings. *Journal of Experimental Botany*, 46(10), 1569-1577.

- 58. Cuartero, J., and Fernandez-Munoz, R.** 1999. Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae*; 78, 83–125.
- 59. Couée, Sulmon, C., Gouesbet, G., & El Amrani, A. (2006).** Involvement of soluble sugars in reactive oxygen species balance and responses to oxidative stress in plants. *Journal of Experimental Botany* 57, 449–459 p.
- 60. Chang, C., Wang, B., Shi, L., Li, X., Duo, L. and Zhang, W.** 2010. Alleviation of salt stress-induced inhibition of seed germination in cucumber (*Cucumis sativus* L.) by ethylene and glutamate, *Journal of Plant Physiology*. 167:1152-1156.
- 61. Clériveret, A., Alami, I., Breton, F., Dominique Garcia, D & Christine Sanier. CH 2013** Les composés phénoliques et la résistance des plantes aux agents pathogènes pp 531-538 |
- 62. Carbas, B., Machado, N., Oppolzer, D., Ferreira, L., Queiroz, M., Brites, C., ... & Barros, A. I. (2020).** Nutrients, Antinutrients, Phenolic Composition, and Antioxidant Activity of Common Bean Cultivars and their Potential for Food Applications. *Antioxidants*, 9(2), 186.
- 63. Chen, Y., Zhang, H., Liu, R., Mats, L., Zhu, H., Pauls, K. P., ... & Tsao, R. (2019).** Antioxidant and anti-inflammatory polyphenols and peptides of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) milk and yogurt in Caco-2 and HT-29 cell models. *Journal of Functional Foods*, 53, 125-135.
- 64. Dempsey, D.A., Vlot, A.C., Wildermuth, M.C., and Klessig, D.F., 2011-** Salicylic Acid biosynthesis and metabolism. *Arabidopsis Book* 9, e0156. Doi : 10.1199/tab.0156
- 65. Djavanshir and H. Pourbeik (1976),** Introduction increased speed of germination, or higher total germination. Many seed analysis Germination Value-A New Formula <https://www.thuenen.de> Vol._25_Heft_2
- 66. Dawood, M. G., Taie, H. A. A., Nassar, R. M. A., Abdelhamid, M. T., and Schmidhalter, U. 2014.** The changes induced in the physiological, biochemical and anatomical characteristics of *Vicia faba* by the exogenous application of proline under seawater stress. *South African Journal of Botany*, 93, 54-63.
- 67. Dhanyalakshmi, K.H, C. Vijayalakshmi (2013),** Evaluation of physiological and biochemical responses of rice (*Oryza sativa* L.) Varieties to April 2013 *Indian Journal of Agricultural Research* 47(2):91-99
- 68. Djerroudi, O., Bissati, S., Belkhodja, M.** 2011. Biochemical response of two *Atriplex* species (*Atriplex halimus* L. and *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt) under salt stress conditions. *IJPPB*, 3: 163-168.

- 69. Echi, R.M., Asli, D.E., Vajedi, S.J. and Kashani, Z.F.** 2013. The effect of kinetin treatment on indices of germination and activity of canola seed enzymes under salt stress, *International Journal of Biosciences*, Vol. 3, No. 6, p. 190-197.
- 70. Estrella, I., García-Gasca, T. D. J., ... & Rocha-Guzmán, N. E. (2015).** Phenolic composition changes of processed common beans: their antioxidant and anti-inflammatory effects in intestinal cancer cells. *Food Research International*, 76, 79-85.
- 71. El-Tayeb MA.** 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation* **45**, 212–24.
- 72. El Keblawy A. and A. Al-Rawai., (2005)**-Effect of salinity, temperature and light on germination of invasive *Prosopis juliflora* (Sw.) D.C. J. *Arid Environ.*, 61, 555-565
- 73. Enyedi a j., Yalpani n., Sliverman p., Raskin I., 1992**-SIGNAL molecule in systemic plant resistance to pathogens and pests . cell 70.879-886.
- 74. Eberhard S; Doubrava N; Marta V; Mohnen D. et Southwick A; 1989** -les fragments pectiques de paroi cellulaire règlent la morphogénèse explant de couche mince de cellules de tabac. *Cellule d'usine* ; **1** :747- 755.
- 75. Esfandiari, E., Shekari, F., Shekari, F. and Esfandiari, M.** 2007. The effect of salt stress on antioxidant enzymes activity and lipid peroxidation on the wheat seedling. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.* 35(1): 48-56.
- 76. Escudier, J-L, B. Gillery, H. Ojeda et H. Etchebarne., (2019),** Maitrise de la salinité des eaux d'irrigation pour la viticulture, *BIO Web of Conferences*, Les Ulis vol. 12, Les Ulis : EDP Sciences, en ligne
- 77. Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A., Alpaslan, M., and Atikmen, N. C.** 2015. Comparative Physiological and Growth Responses of Tomato and pepper Plants to Fertilizer Induced Salinity and Salt Stress. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(5 A), 1774-1778.
- 78. El Keblawy A. and A. Al-Rawai., (2005)**-Effect of salinity, temperature and light on germination of invasive *Prosopis juliflora* (Sw.) D.C. J. *Arid Environ.*, 61, 555-565
- 79. Estrella, I., García-Gasca, T. D. J., ... & Rocha-Guzmán, N. E. (2015).** Phenolic composition changes of processed common beans: their antioxidant and anti-inflammatory effects in intestinal cancer cells. *Food Research International*, 76, 79-85.
- 80. El Keblawy A. and A. Al-Rawai., (2005)**-Effect of salinity, temperature and light on germination of invasive *Prosopis juliflora* (Sw.) D.C. J. *Arid Environ.*, 61, 555-565

- 81. Enyedi a j., Yalpani n., Sliverman p., Raskin I., 1992**-SIGNAL molecule in systemic plant resistance to pathogens and pests . cell 70.879-886.
- 82. El-Tayeb MA.** 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation* **45**, 212–24.
- 83. Eberhard S; Doubrava N; Marta V; Mohnen D. et Southwick A; 1989** -les fragments pectiques de paroi cellulaire règlent la morphogenèse explant de couche mince de cellules de tabac. *Cellule d'usine* ; **1** :747- 755.
- 84. Esfandiari, E., Shekari, F., Shekari, F. and Esfandiari, M.** 2007. The effect of salt stress on antioxidant enzymes activity and lipid peroxidation on the wheat seedling. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.* 35(1): 48-56.
- 85. Echi, R.M., Asli, D.E., Vajedi, S.J. and Kashani, Z.F.** 2013. The effect of kinetin treatment on indices of germination and activity of canola seed enzymes under salt stress, *International Journal of Biosciences*, Vol. 3, No. 6, p. 190-197.
- 86. Estrella, I., García-Gasca, T. D. J., ... & Rocha-Guzmán, N. E. (2015).** Phenolic composition changes of processed common beans: their antioxidant and anti-inflammatory effects in intestinal cancer cells. *Food Research International*, 76, 79-85.
- 87. El-Tayeb MA.** 2005. Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation* **45**, 212–24.
- 88. El Keblawy A. and A. Al-Rawai., (2005)**-Effect of salinity, temperature and light on germination of invasive *Prosopis juliflora* (Sw.) D.C. *J. Arid Environ.*, 61, 555-565
- 89. Eberhard S; Doubrava N; Marta V; Mohnen D. et Southwick A; 1989** -les fragments pectiques de paroi cellulaire règlent la morphogenèse explant de couche mince de cellules de tabac. *Cellule d'usine* ; **1** :747- 755.
- 90. Elwan, M. W. M., & El-Shatoury, R. S. A. (2014).** Alleviation of NaCl stress in summer squash 'Eskandrani' by foliar application of salicylic acid. *Journal of Horticultural Research*, 22(2), 131-137.
- 91. Eraslan, F., Elkarim, A. K. H. A., Gunes, A., and Inal, A.** 2012. Effect of nutrient induced salinity on growth, membrane permeability, nitrate reductase activity, proline content and macronutrient concentrations of tomato grown in greenhouse. In *Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology* (No. 71, p. 1915). World Academy of Science, Engineering and Technology (WASET).

- 92. Echi, R.M., Asli, D.E., Vajedi, S.J. and Kashani, Z.F.** 2013. The effect of kinetin treatment on indices of germination and activity of canola seed enzymes under salt stress, *International Journal of Biosciences*, Vol. 3, No. 6, p. 190-197.
- 93. Esfandiari, E., Shekari, F., Shekari, F. and Esfandiari, M.** 2007. The effect of salt stress on antioxidant enzymes activity and lipid peroxidation on the wheat seedling. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj*. 35(1): 48-56.
- 94. Echi, R.M., Asli, D.E., Vajedi, S.J. and Kashani, Z.F.** 2013. The effect of kinetin treatment on indices of germination and activity of canola seed enzymes under salt stress, *International Journal of Biosciences*, Vol. 3, No. 6, p. 190-197.
- 95. Enyedi a j., Yalpani n., Sliverman p., Raskin I.,** 1992-SIGNAL molecule in systemic plant resistance to pathogens and pests . *Cell* 70:879-886.
- 96. Esfandiari, E., Shekari, F., Shekari, F. and Esfandiari, M.** 2007. The effect of salt stress on antioxidant enzymes activity and lipid peroxidation on the wheat seedling. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj*. 35(1): 48-56.
- 97. Fatkhutdinova DR.** 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science* **164**, 317–322.
- 98. Faramarzi, M., Abbaspour, K. C., Vaghefi, S. A., Farzaneh, M. R., Zehnder, A. J., Srinivasan, R., & Yang, H. (2013).** Modeling impacts of climate change on freshwater availability in Africa. *Journal of Hydrology*, 480, 85-101.
- 99. Faessel L. et Tostivint C., 2016** – Les produits de stimulations en agriculture : un état des connaissances. *NESE*, 40 : 7-39.
- 100. Fariduddin Q; Hayat S; et Ahmad A; 2003** -Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica* ; **41**: 281-284.
- 101. Faye, B., D. Tine, D. Ndiaye, C. Diop, G. Faye et A. Ndiaye, (2019),** Évolution des terres salées dans le nord de l'estuaire du Saloum (Sénégal). *Géomorphologie : relief, processus, environnement* [En ligne], vol. 25
- 102. Faye, E., M. A. Touré, M. Diatta et M. Sarr, (2019),** Performances de *Tamarix aphylla* (L.) H.Karst. var *erectus* sur sols sulfatés acides salés du terroir de Ndiaffate, Kaolack (Sénégal), *International Journal of Innovation and Scientific Research*, vol. 40, 2, pp. 359-367
- 103. Flowers, T.J. and Colmer, T.D.** 2008. Salinity tolerance in halophytes. *New Phytol.*, 179: 945-963.
- 104. FAO. (2008).** Annuaire statistique de la FAO. n°2 : 44 p.

- 105. Flowers, T.J., Galal, H.K. and Bromham, L.** 2010. Evolution of halophytes: multiple origins of salt tolerance in land plants. *Functional Plant Biology* 37(7) 604–612.
- 106. Guignard, L. (2000).** *Biochimie végétale*. 274p.
- 107. Giusti, F., Caprioli, G., Ricciutelli, M., Vittori, S., & Sagratini, G. (2017).** Determination of fourteen polyphenols in pulses by high performance liquid chromatography-diode array detection (HPLC-DAD) and correlation study with antioxidant activity and colour. *Food chemistry*, 221, 689-697.
- 108. Giri, N., & Joshi, N. C. (2010).** Growth and yield response of chick pea (*Cicer arietinum*) to seed inoculation with *Rhizobium* sp. *Nature and Science*, 8(9), 232-236
- 109. Gomes, M. J., Lima, S. L., Alves, N. E., Assis, A., Moreira, M. E., Toledo, R. C., ... & Martino, H. S. (2020).** Common bean protein hydrolysate modulates lipid metabolism and prevents endothelial dysfunction in BALB/c mice fed an atherogenic diet. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 30(1), 141-150.
- 110. Gaur, Y. D., & Sen, A. N. (1979).** Cross inoculation group specificity in Cicer-rhizobium symbiosis. *New Phytologist*, 83(3), 745-754.
- 111. Gomez L; Blanca L. et Antonio CS ; 1993** -Evidence of the beneficent action of the acetyl salicylic acid on wheat genotypes yield under restricted irrigation. In : Proc. Scientific meeting on Forestry, Livestock and Agriculture Mexico ; 112p.
- 112. Ghanem ME, Martinez-Andujar C, Albacete A, Pospisilova H, Dodd IC, Perez Alfocea F, et al. 2011.** Nitrogen form alters hormonal balance in salt-treated tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *J Plant Growth Regul*; 30:144–57.
- 113. Garcia-Abellan, J. O., Fernandez-Garcia, N., Lopez-Berenguer, C., Egea, I., Flores, F. B., Angosto, T., and Olmos, E. 2015.** The tomato res mutant, which accumulates JA in roots in non-stressed conditions, restores cell structure alterations under salinity. *Physiologia plantarum*, 155(3), 296-314.
- 114. Gutierrez c.m.a. Trejo l.c., Larque s.a., 1998-** Effects of salicylic acid on the growth of roots and shoots in soybean. *Plant Physiology and Biochemistry Paris* 36 :563-565
- 115. Gavassi, M. A., Fernandes, G. C., Monteiro, C.C., Pereira Peres, L. E., Carvalho, R.F.** 2014. Seed Germination in Tomato: A Focus on Interaction between Phytochromes and Gibberellins or Abscisic Acid. *American Journal of Plant Sciences*, 4, 5, 2163-2169.

- 116. Gama, P.B.S., Inanaga, S., Tanaka, K. and Nakazawa, R.** 2007. Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. *African Journal of Biotechnology* Vol. 6 (2), pp. 079-088.
- 117. Galford, G. L., Melillo, J., Mustard, J. F., Cerri, C. E. P., & Cerri, C. C. (2010).** The Amazon frontier of land-use change: croplands and consequences for greenhouse gas emissions. *Earth Interact.* 14, 1-24.
- 118. Grahn, C. M., Hellier, B., Benedict, C., and Miles, C.** 2015. Screening USDA Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Germplasm for Ability to Germinate under Cold Conditions. *HortScience*, 50(8), 1155-1159.
- 119. Ghoohestani, A., Gheisary, H., Zahedi, S. M., and Dolatkhahi, A.** 2012. Effect of seed priming of tomato with salicylic acid, ascorbic acid and hydrogen peroxide on germination and plantlet growth in saline conditions. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 3 (Special Issue), 700-704.
- 120. Gulzar, S, Khan, M (2001) :** Seed germination of a halophytic grass *Aeluropus lagopoides* ,*Annals of Botany*, volume 87, issue 3, pp 319-324
- 121. Ghai, N., Setia, R. C., & Setia, N. E. E. L. A. M. (2002).** Effects of paclobutrazol and salicylic acid on chlorophyll content, hill activity and yield components in *Brassica napus* L.(cv. GSL-1). *Phytomorphology*, 52, 83-87.
- 122. Hernández, JA., Talavera, JM., Martínez-Gómez, P., Dicenta, F., & Sevilla, F.(2001).** Response of antioxidant enzymes to plum-pox virus in two apricot cultivars. *Physiol*
- 123. Hopkins, W.G. (2003).** *Physiologie végétale*. 2^{ème} édition. De Boeck, Bruscelles :476 p.
- 124. Hammou, B. (2010).** Recherche de marqueur génétique liés à la tolérance a la salinité chez des écotypes d'espèces annuelles de médicago. Thèse magister amélioration des plantes, Université d'Oran Essenia, 21 p.
- 125. Haoualla, F., Ferjani, H., & Ben el-hadj, S. (2007).** Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca⁺⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, Vol. 11, N° 3 : 235- 244 p.
- 126. Heller, R., Esnault, R., & Lance, C. (1998).** *Physiologie végétale*. Tome1. Nutrition. 6^{ème} édition, DUNOD, Paris : 134-135 p.
- 127. Hayachi, H., & Murata, N. (1998).** Genetically engineered enhancement of salt tolerance in higher plants. In: Sato Murata N, (Ed.), *Stress Response of Photosynthetic Organisms:*

Molecular Mechanisms and Molecular Regulation. Elsevier, Amsterdam : 133-148 p.

- 128. Hanana, M., Hamrouni, L., Cagnac, O., & Blumwald, E. (2011).** Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes.
- 129. Idrees, M., Naeem, M., Aftab, T., & Khan, M. M. A. (2011).** Salicylic acid mitigates salinity stress by improving antioxidant defence system and enhances vincristine and vinblastine alkaloids production in periwinkle [*Catharanthus roseus* (L.) G. Don]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(3), 987-999.
- 130. Iqbal, N., Umar, S., and Khan, N. A. 2015.** Nitrogen availability regulates proline and ethylene production and alleviates salinity stress in mustard (*Brassica juncea*). *Journal of plant physiology*, 178, 84-91.
- 131. Iqbal M, Ashraf M. 2013.** Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis. *Environmental and Experimental Botany* 86, 76– 85
- 132. Ismail, A.M. 2003.** Effect of Salinity on the physiological responses of selected lines/variety of wheat. *Acta Agronomica Hungarica*, 51(1), pp. 1-9.
- 133. Iantcheva, A., Mysore, K. S., & Ratet, P. (2013).** Transformation of leguminous plants to study symbiotic interactions. *International Journal of Developmental Biology*, 57(6-7-8), 577-586.
- 134. Ismail, A.M.A. (1990).** Germination ecophysiology in populations of *Zygophyllum qatarense*. Hadidi from contrasting habitats. Effect of temperature, salinity and growth regulators with special reference to fuscocin. *Journal of Arid Environments*, (18): 185- 194 p.
- 135. Jayakannan, M., Bose, J., Babourina, O., Rengel, Z., and Shabala, S. 2015.** Salicylic acid in plant salinity stress signalling and tolerance. *Plant Growth Regulation*, 76(1), 25-40.
- 136. Janda T; Szalai G; Rios-Gonzalez K; Veisz O. et Páldi E; 2003** -Comparative study of frost tolerance and antioxidant activity in cereals. *Plant Sci*; 164: 301-306.
- 137. Jafar, M. Z., Farooq, M., Cheema, M. A., Afzal, I., Basra, S. M. A., Wahid, M. A., and Shahid, M. 2012.** Improving the performance of wheat by seed priming under saline conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 198(1), 38-45.
- 138. Khan M.A. and S Gulzar., (2003)-** germination responses of sporobolus ioclados : asaline desert grass. *j. arid environ.* 53, 387-394.
- 139. Khan, M.A., Shirazi, M.U., Khan, M.A., Mujtaba, S.M., Islam, E., Mumtaz, S., Shereen, A., Ansar R.U. and Ashraf. M.Y. 2009.** Role of Proline, K/Na Ratio and Chlorophyll Content

- in Salt Tolerance of Wheat (*Triticum Aestivum* L.). Pak. J. Bot. 41(2): 633-638.
- 140. Kaya, C., Ashraf, M. and Sönmez, O.** 2015. Promotive effect of exogenously applied thiourea on key physiological parameters and oxidative defense mechanism in salt-stressed *Zea mays* L. plants. Turk J Bot. 39: 786-795.
- 141. Khan W; Prithviraj B. et Smith DL; 2003** -Photosynthetic responses of corn andsoybean to foliar application of salicylates. J. Plant Physiol ; **160**: 485-492.
- 142. Kotchoni, S.O.E.W., Gachomo, B.O., Omafuvbe., &Shonukan, O.O. (2006).** Purification and Biochemical Characterization of CarboxymethylCellulase (CMCase) from a Catabolite Repression Insensitive Mutant of *Bacillus pumilus*. Int. J. Agri. Biol. 8: 286– 292 p.
- 143. Kaur, S., Gupta, A.K. and Kaur, N.** 1998. Gibberellic acid and kinetin partially reverse the effect of water stress on germination and seedling growth. Plant Growth Regul., 25: 29-33.
- 144. Klarzynski O., Fritig B., 2001-** Stimulation des défenses naturelles des plantes. C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie / Life Sciences 324 : 953–963
- 145. Kaya, C., Ashraf, M. and Sönmez, O (2015).** Promotive effect of exogenously applied thiourea on key physiological parameters and oxidative defense mechanism in salt-stressed *Zea mays* L. plants. Turk J Bot. 39: 786-795.
- 146. Kusvuran, S., Kiran, S., & Ellialtioglu, S. S. (2016).** Antioxidant enzyme activities and abiotic stress tolerance relationship in vegetable crops. Abiotic and biotic stress in plants-recent advances and future perspectives [Internet]. 1st ed. *Croatia: InTech*, 481-503.
- 147. Khan . M A, Bilquees Gul, and Darrell J Weber** (2004) Action of plant growth regulators and salinity on seed germination of *Ceratoides lanata* Canadian Journal of Botany • <https://doi.org/10.1139/b03-140> Home Canadian Journal of Botany Volume 82, Number 1,
- 148. Khadri M., Pliego L. Soussi M., Lluch C., Ocana A. (2001)** : Ammonium assimilation and ureide metabolism in common bean (*Phaseolus vulgaris*) nodules under salt stress. Agronomy. 21, 635-643.
- 149. Kpinkoun KJ, Amoussa AM, Mensah ACG, Assogba-Komlan F, Lagnika L, Gandonou CB. 2019.** Effect of salt stress on flowering, fructification and fruit nutrients concentration in local cultivar of chili pepper (*Capsicum frutescens* L.). *Int. J. Plant Physiol. Biochem.*, **11**(1): 1-7
- 150. Kramou, R. (2011).** Etude de l'effet de deux types d'engrais organiques sur la production de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) conduite en système biologique cultivée sous serre. Thèse : Ing. Agro. Blida 80p.

- 151. Kouadria, M., Sehari, M., Hassani, A., Koulali, F., & Zouablia, S. (2020).** Effet du stress salin sur le système foliaire d'une légumineuse vivrière (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivée dans un sol de bentonite. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 8(1).
- 152. Khodary, S. E. A. (2004).** Effect of salicylic acid on the growth, photosynthesis and carbohydrate metabolism in salt stressed maize plants. *Int. J. Agric. Biol.*, 6(1), 5-8.
- 153. Kyldiarova I., Shakirova F., 2001-**The role of hormonal changes in protective action of salicylic acid on growth of wheat seedlings under water deficit. *Agrochemiya (Russ)*, 2, 51–54.
- 154. Kumar, S., Meena, R. S., Datta, R., Verma, S. K., Yadav, G. S., Pradhan, G., ... & Mashuk, H. A. (2020).** Legumes for Carbon and Nitrogen Cycling: An Organic Approach. In *Carbon and Nitrogen Cycling in Soil* (pp. 337-375). Springer, Singapore.
- 155. Kebede, E. (2020).** Grain legumes production and productivity in Ethiopian smallholder agricultural system, contribution to livelihoods and the way forward. *Cogent Food & Agriculture*, 6(1), 1722353.
- 156. Kan, L., Nie, S., Hu, J., Wang, S., Bai, Z., Wang, J., ... & Song, K. (2018).** Comparative study on the chemical composition, anthocyanins, tocopherols and carotenoids of selected legumes. *Food Chemistry*, 260, 317-326.
- 157. Kheloufi, A., Chorfi, A., Mansouri, L. M., & Benyamina, H. (2018).** Morpho-physiological characterization and photosynthetic pigment contents of *Acacia karroo* Hayne seedlings under saline conditions. *Agricult. Forest.* 64(2), 87-99.
- 158. Lang A., (1965),** Effects of some internal and external conditions on seed germination. *Handb. der Pflanzenphysiol.* 15, 2, 848-893.93.
- 159. Li, X., Guo, C., GU, J., Duan, W., Zhao, M., Ma, C., and Xiao, K. 2014.** Overexpression of VP, a vacuolar H⁺-pyrophosphatase gene in wheat (*Triticum aestivum* L.), improves tobacco plant growth under Pi and N deprivation, high salinity, and drought. *Journal of experimental botany*, 65(2), 683-696.
- 160. Lutts, S., Majerus, V. and Kinet, J.M. 1999.** NaCl effects on proline metabolism in rice (*Oryza sativa*) seedlings. *Physiol. Plant.* 105: 450–458.
- 161. Lopez-Climent, M.F., Arbona, V., Pérez-Clemente, R.P. and Gomez-Cadenas, A. 2008.** Relationship between salt tolerance and photosynthetic machinery performance in citrus. *Environmental and Experimental Botany.* 62: 176–184.

- 162. Lakdhary, H., (2009).** Les conséquences du changement climatique sur l'agriculture algérienne. Quelle stratégie d'adaptation face à la rareté de l'eau ? Cinquième colloque international : « Energie, changement climatique et développement durable ». Hammamet (Tunisie). 15-17 juin 2009.
- 163. Lexer, C. (2005).** Barrier to gene flow between two ecologically divergent *Populus* species, *P. alba* (white poplar) and *P. tremula* (European aspen): the role of ecology
- 164. Langridge, R., Christian-Smith, J., & Lohse, K.L. (2006).** Access and resilience: analyzing the construction of social resilience to the threat of water scarcity. *Ecology and Society* **11**(2): 18 p.
- 165. Lemée, G. (1978) :** *Précis d'écologie végétale, Paris, Masson, 285 p., 114 fig.,*
- 166. Lee, S., Kim, S-G, and Park, C-M. 2010.** Salicylic acid promotes seed germination under high salinity by modulating antioxidant activity in *Arabidopsis*. *New Phytologist*, Vol. 188, Issue 2, pp. 626-637.
- 167. Levitt, J. (1980).** Responses of plants to environmental stresses. Water radiation, salt and others stresses. Academic Press, New York, Vol. 2: 365-406 p.
- 168. Lee H., Leon J., Raskin I., 1995-** Biosynthesis and metabolism of salicylic acid. *Proc Natl Acad. Sci. USA* 92: 4076–4079
- 169. Lian B; Zhou X; Miransari M. et Smith DL 2000** -Effects of salicylic acid on the development and root nodulation of soybean seedlings. *J. Agron. Crop Sci* ; **185**: 187- 192.
- 170. Latéf, A. A. H. A., and Chaoxing, H. 2011.** Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. *Scientia Horticulturae*, 127(3), 228-233.
- 171. Lovelli, S., Scopa, A., Perniola, M., Di Tommaso, T., and Sofo, A. 2012.** Abscisic acid root and leaf concentration in relation to biomass partitioning in salinized tomato plants. *Journal of plant physiology*, 169(3), 226-233.
- 172. Lozano, J. M., Porcel, R., Azcón, C., and Aroca, R. 2012.** Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. *Journal of Experimental Botany*, 63(11), 4033-4044
- 173. Matty F. et M. Diatta, (2018),** Le phénomène de salinisation : impacts sur les sols et la végétation, pp. 1-5, dans : Faye E., A. Tamba et M. Diatta (eds), Actes du séminaire national "Lutte contre la salinisation et valorisation des terres salées au Sénégal : état des connaissances et perspectives", Dakar, Sénégal, 244 p.

- 174. Muhammad Amjad^{ab} Javaid Akhtar^a Muhammad Anwar-ul Haq^b Aizheng Yang^b Saqib Saleem Akhtar^{bc} Sven-Erik Jacobsen^b (2014) *Scientia Horticulturae* Volume 172, Pages 109-116**
- 175. Medvedev, S.S. & I. V. Markova 1991** Role of Calcium Ions in Plant Growth and Mechanism of IAA Action. *Phytohormones in Plant Biotechnology and Agriculture* pp 157–169
- 176. Marcheix J-J., A. Fleuriet, J-J. Macheix, A. Fleuriet, C-J. Allemand., 2005-** Les composés phénoliques des végétaux : Un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. PPUR presses polytechniques. Pp 216.
- 177. Munns R. 2005.** Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.* 167:645–63.
- 178. Munns, R., & Tester, M. (2008).** Mechanisms of salinity tolerance, *Annu. Rev. Plant Biol.* 59-81p
- 179. Maniguet, M. (2003).** Les pays secs environnement et développement. Ellipse Edition Marketing. Paris. Thèse magister en science agronomique, Université de EL Hadj lakdar- Batna, Alger, 11 p.
- 180. Munné-Bosch, S., & Alegre, L. (2004).** Die and let live : leaf senescence contributes to plant survival under drought stress. *Funct Plant Biol* 31: 203–213 p.
- 181. Majoul, T., Bancel, E., Triboui, E., Ben Hamida, J., & Branlard, G. (2003).** Proteomic analysis of the effect of heat stress on hexaploid wheat grain : characterization of heat responsive proteins from total endosperm. *Proteomics* 3, 175–183 p.
- 182. Munns, R., & Tester, M. (2008).** Mechanisms of salinity tolerance, *Annu. Rev. Plant Biol.* 59-81p
- 183. Munns, R., James, R.A., & André Lauchli, A. (2006).** Approches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journ. of Exper. Bot.*, vol. 57, N°. 5, 1025- 1043 p.
- 184. Murphy C S; Singh DP; et Carr JP; 1999** -Résistance acide-induite salicylique aux virus et à d'autres microbes pathogènes : un départ ou les manières ? *Usine Sci de tendances* ; **4**:155 - 160.
- 185. Misra N. et Dwivedi UN ; 2004** -Genotypic difference in salinity tolerance of green gram cultivars. *Plant Sci* ; **166**: 1135-1142.
- 186. Morris K., S. A.-H. Mackerness, T. Page et al, 2000-** Salicylic acid has a role in regulating gene expression during leaf senescence. *Plant J.*, 23, 677– 685.

- 187. Martinez, V.** 2014. The combined effect of salinity and heat reveals a specific physiological, biochemical and molecular response in tomato plants *Plant, Cell and Environment* 37, 1059–1073.
- 188. Morant-Manceau A; Pradier E. et Tremblin; 2004** -Osmotic adjustment, gas exchanges and chlorophyll fluorescence of a hexaploid triticale and its parental species under salt stress. *J. Plant Physiol*; **161**:25-33
- 189. Moreno-Jiménez, M. R., Cervantes-Cardoza, V., Gallegos-Infante, J. A., González-Laredo, R. F., Mojica, L., de Mejia, E. G., Granados-Silvestre, M. Á., & Menjivar, M. (2017).** Evaluation of the hypoglycemic potential of a black bean hydrolyzed protein isolate and its pure peptides using in silico, in vitro and in vivo approaches. *Journal of Functional Foods*, 31, 274-286.
- 190. Monneveux. P and Nemmar .M, 1986,** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement, *Agronomie* 6 (1986) 583-590, DOI : 10.1051/agro : 19860611
- 191. Motamedi M, Khodarahmpour Z, Ahakpaz F.** 2013. Influence of salicylic acid pretreatment on germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under salt stress. *IJB* 3, 226-233.
- 192. Miura, K. and Tada, Y.** 2014. Regulation of water; salinity and cold stress responses by salicylic acid. *Front. Plant Sci.* 4, 5, e4
- 193., R., James, R.A. and Lauchli, A.** 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *J. Exp. Bot.* 57: 1025–43.
- 194. Munns, R., and Tester, M.** 2008. Mechanisms of salinity tolerance, *Annu. Rev. Plant Biol.* 59:651-81.
- 195. Munns, R., Hare, R. A., James, R. A. and Rebetzke, G. J.** 2000. Genetic variation for salt tolerance of durum wheat. – *Aust. J. Agric. Res.* 51: 69– 74.
- 196. Martinez, V.** 2014. The combined effect of salinity and heat reveals a specific physiological, biochemical and molecular response in tomato plants *Plant, Cell and Environment*, 37, 1059–1073.
- 197. Manivannan, P., Jaleel, C. A., Sankar, B., Somasundaram, R., Murali, P. V., Sridharan, R., and Panneerselvam, R.** 2007. Salt stress mitigation by calcium chloride in *Vigna radiata* (L.) Wilczek. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 49(2), 105-109.

- 198. Maggio, A., Miyazaki, S., Veronese, P. and Fujita, T.** 2002. Does proline accumulation play an active role in stress-induced growth reduction? *Plant J.* 31, 699–712.
- 199. Misra, N., and Misra, R.** 2012. Salicylic acid changes plant growth parameters and proline metabolism in *Rauwolfia serpentina* leaves grown under salinity stress. *American-Eurasian J Agric Environ Sci*, 12(12), 601-1609.
- 200. Mikolajczyk M., Awotunde O. S., Muszynska G., 2000-** Osmotic stress induces rapid activation of a salicylic acid-induced protein kinase and a homolog of protein kinase ASK1 in tobacco cell. *Plant Cell*, 12, 165–178.
- 201. Morard, S. (2013).** Guide pratique. Mes tomates du jardin à la cuisine. SMACT, 20 p.
MADR 2020 N°976. LA PRODUCTION AGRICOLE Campagne 2019/2020
- 202. Naceur Y., Q. Guo J. L., Batoz C., Knop f., Lenoir 2001.** Optimization of drawbead restraining forces and drawbead design in sheet metal forming process *International Journal of Mechanical Sciences* Volume 43, Issue 10, Pages 2407-2434
- 203. Ndène, M.S., (2018),** Capitalisation de l'Expérience de l'ANCAR dans l'appui conseil à la lutte contre la salinisation des rizières du département d'Oussouye (Région de Ziguinchor), pp. 61-81, dans : Faye E., A. Tamba et M. Diatta (eds), Actes du séminaire national "Lutte contre la salinisation et valorisation des terres salées au Sénégal : état des connaissances et perspectives", Dakar, Sénégal, 244 p.
- 204. Ndiaye, A., E. Faye et M. A. Touré, (2014),** Effets du stress salin sur la germination des graines de *Gossypium hirsutum* L. *J. Appl. Biosci.*, 80, pp. 7081-7092
- 205. Neil C. Turner 1981,** Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status, *Plant and Soil* volume 58, pages 339–366
- 206. Noomene, H. (2011).** Etude la salinité des sols par la méthode de détection électromagnétique dans le périmètre irrigué de kalacatlandelous en Tunisie: cas d'une parcelle de courge, Master de recherche environnement aménagement, faculté de lettres, 22p.
- 207. Nemecek, T., Hayer, F., Bonnin, E., Carrouée, B., Schneider, A., & Vivier, C. (2015).** Designing eco-efficient crop rotations using life cycle assessment of crop combinations. *European Journal of Agronomy*, 65, 40-51.
- 208. Prado F.E., C. Boero, M. Gallardo et J.A Gonzalez, (2000),** Effect of NaCl on germination, growth and soluble sugar content in *Chenopodium quinoa* Willd. Seeds. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 41, pp. 27-34

- 209. Parker, S. K., Williams, H. M., & Turner N., (2006).**-Modeling the antecedents of proactive behavior at work. *Journal of Applied Psychology*, 91: 636-652 p.
- 210. Phee, BK., Cho, JH., Park, S., Jung, JH., Jeon, JS., Bhoo, SH.,& Hahn, TR. (2004).** Proteomic analysis of the responses of Arabidopsis chloroplast proteins to high light stress. *Proteomic* 4:3560-3568 p.
- 211. Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., and Prasad, S. M. 2015.** Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(6), 4056-4075.
- 212. Peleg Z, Blumwald. E (2011),** Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants *Current Opinion in Plant Biology* Volume 14, Issue 3, June 2011, Pages 290-295
- 213. Pancheva TV ; Popova LP ; et Uzunova AM ; 1996** -Effect of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. *J. Plant Physiol*; **149**: 57-63.
- 214. Parida, A.K., Das, A.B., sanda, Y., & Mohanty, P. (2004).** Effects of salinity on biochemical components of the mangrove ; *Aecerascorniculatum*. *Aquat. Bot* 80,77-87 p.
- 215. Piri, K., Anceau, C., El jaafari, S., Lepoivre, P., & Semal, J. (1994).** Sélection in vitro de plantes androgénétiques de blé tendre résistantes à la salinité. *L'amélioration des Plantes*. Ed. AUPELF-UREF, Paris : 311-320.
- 216. Pancheva TV; Popova LP. et Uzunova AM; 1996** -Effect of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. *J. Plant Physiol*; **149**: 57-63.
- 217. Pereira JL, Queiroz RM, Charneau SO, Felix CR, Ricart CA, da Silva FL, Steindorff AS, Ulhoa CJ, Noronha EF. 2014** Analysis of *Phaseolus vulgaris* Response to Its Association with *Trichoderma harzianum* (ALL-42) in the Presence or Absence of the Phytopathogenic Fungi *Rhizoctonia solani* and *Fusarium solani*. *PLoS One*. 2014;9(5):e98234.
- 218. Pérez-Montaña, F., Alías-Villegas, C., Bellogín, R. A., Del Cerro, P., Espuny, M. R., Jiménez-Guerrero, I., López-Baena, F. J., & Cubo T. (2014).** Plant growth promotion in cereal and leguminous agricultural important plants: from microorganism capacities to crop production. *Microbiological Research*, 169(5), 325-336.

- 219. Palma F, Lluch C, Iribarne C, Garcia-Garrido JM, Tejera Garcia NA.** 2009. Combined effect of salicylic acid and salinity on some antioxidant activities, oxidative stress and metabolite accumulation in *Phaseolus vulgaris*. *Plant Growth Regulation* **58**, 307–316.
- 220. Qin, F., Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K.** 2011. Achievements and challenges in understanding plant abiotic stress responses and tolerance. *Plant Cell Physiol* **52**:1569–1582.
- 221. Radhouane, L.** 2013. Comparaison de la nutrition minérale du mil (*Pennisetum glaucum* LR Br.) en présence de stress hydrique et de stress salin. *Journal of Applied Biosciences*, **66**, 5114-5129.
- 222. Rivero, R.M. Teresa C. M., Mittler, R. Francisco Rubio, F. Garcia-Sanchez, F. and Ruiz-Leung, D. W.** 2015. Relationship between Changes in Contents of Nitric Oxide and Amino Acids Particularly Proline in Plants under Abiotic Stress. In *Reactive Oxygen Species and Oxidative Damage in Plants under Stress* (pp. 341-352). Springer International Publishing
- 223. Rivero, R.M. Teresa C. M., Mittler, R. Francisco Rubio, F. Garcia-Sanchez, F. and Martinez, V.** 2014. The combined effect of salinity and heat reveals a specific physiological, biochemical and molecular response in tomato plants *Plant, Cell and Environment*, **37**, 1059–1073.
- 224. Rajoria, A., Kumar, J., and Chauhan, A. K.** 2010. Anti-oxidative and anti-carcinogenic role of lycopene in human health-a review. *Journal of Dairying Foods & Home Sciences*, **29**.
- 225. Renauld, V. (2003).** Tous les légumes courants, rares ou méconnus cultivables sous nos climats : tomates. Ulmer. Paris, p 135-137 p.
- 226. Rivero, R.M. Teresa C. M., Mittler, R. Francisco Rubio, F. Garcia-Sanchez, F. and Rahnama, H., &Ebrahim, H. (2005) :** The effect of NaCl on antioxidant enzyme activities in potato seedling. *Biol Plant*.93-97 p.
- 227. Rejili, M., Vadel, M. A., &Neffatp, M. (2006).** Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, Vol. **17**,N°.1 : 65-78
- 228. Rai VK ; Sharma SS. et Sharma S; 1986** -Reversal of ABA-induced stomatal closure by phenolic compounds. *J. Exp. Bot* ; **37**: 129-134
- 229. Rane J ; Lakkineni KC ; Kumar PA. et Abrol YP ; 1995** -Salicylic acid protects nitrate reductase activity of wheat leaves. *Plant Physiol. Biochem* ; **22**: 119-121

- 230. Raskin I; 1992** -Role of salicylic acid in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol.Biol* ; **43**: 439-463.
- 231. Raskin I; 1995** -Salicylic acid. In : *Plant hormones. Physiology, Biochemistry and Molecular Biology 2nd Edition*, P. J., Davies ed. Kluwer Acad. Publ. Dordrecht, The Netherlands ; 188-205.
- 232. Raskin LA ; Ehrnann W ; Melander R et Meeuse B J D. 1987** - Salicylic acid : A natural inducer of heat production in Arum lilies.*Scien237(4822)* :1601-1602.
- 233. Rampino, P., Mita, G., Fasano, P., Borrelli, G. M., Aprile, A., Dalessandro, G., and Perrotta, C. 2012.** Novel durum wheat genes up regulated in response to a combination of heat and drought stress. *Plant physiology and biochemistry*, 56, 72-78.
- 234. Reverri, E. J., Randolph, J. M., Kappagoda, C. T., Park, E., Edirisinghe, I., & Burton-Freeman, B. M. (2017).** Assessing beans as a source of intrinsic fiber on satiety in men and women with metabolic syndrome. *Appetite*, 118, 75-81.
- 235. Ramanujam MP; Abdul Jaleel V. et Kumaravelu G; 1998** -Effect of salicylic acid on nodulation, nitrogenous compounds and related enzymes of *Vigna mungo*. *Biol. Plant*;**41**: 307-311.
- 236. Rubio-Casal A.E., J.M Castillo, C.J Luque and M.E. Figueroa., (2003)-**
Influence-of salinity on germination and seeds viability of two primary colonizers of Mediterranean salt pans. *J. Arid Environ.*, 53, 145-154
- 237. Rajasekaran LR; montants A; et Caldwell CD; 2002** -Tenir l'établissement en traitant des effets de carottes de divers régimes de la température sur la germination et le rôle des salicylates en favorisant la germination à de basses températures. *Pouvoir. J. Planter Sci* ; **82**:443 -450.
- 238. Raskin I; 1995** -Salicylic acid. In: *Plant hormones. Physiology, Biochemistry and Molecular Biology 2nd Edition*, P. J., Davies ed., Kluwer Acad. Publ. Dordrecht, The Netherlands; 188-205
- 239. Rivero, R.M. Teresa C. M., Mittler, R. Francisco Rubio, F. Garcia-Sanchez, F. and Ruiz- Leung, D. W. 2015.** Relationship between Changes in Contents of Nitric Oxide and Amino Acids Particularly Proline in Plants under Abiotic Stress. In *Reactive Oxygen Species and Oxidative Damage in Plants under Stress* (pp. 341-352). Springer International Publishing

- 240. Rivero, R.M. Teresa C. M., Mittler, R. Francisco Rubio, F. Garcia-Sanchez, F. and Martinez, V. 2014.** The combined effect of salinity and heat reveals a specific physiological, biochemical and molecular response in tomato plants *Plant, Cell and Environment*, 37, 1059–1073.
- 241. Rajoria, A., Kumar, J., and Chauhan, A. K. 2010.** Anti-oxidative and anti-carcinogenic role of lycopene in human health-a review. *Journal of Dairying Foods & Home Sciences*, 29.
- 242. Renault, V. (2003).** Tous les les légumes courants, rares ou méconnus cultivables sous nos climats : tomates. Ulmer. Paris, p 135-137 p.
- 243. Rivero, R.M. Teresa C. M., Mittler, R. Francisco Rubio, F. Garcia-Sanchez, F. and Rahnama, H., &Ebrahim, H. (2005) :** The effect of NaCl on antioxidant enzyme activities in potatoseedling. *Biol Plant*.93-97 p.
- 244. Rejili, M., Vadel, M. A., &Neffatp, M. (2006).** Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, Vol. 17, N°.1 : 65-78
- 245. Rai VK ; Sharma SS. et Sharma S; 1986** -Reversal of ABA-induced stomatal closure by phenolic compounds. *J. Exp. Bot* ; 37: 129-134
- 246. Rane J ; Lakkineni KC ; Kumar PA. et Abrol YP ; 1995** -Salicylic acid protects nitrate reductase activity of wheat leaves. *Plant Physiol. Biochem* ; 22: 119-121
- 247. Raskin I; 1992** -Role of salicylic acid in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol* ; 43: 439-463.
- 248. Raskin I; 1995** -Salicylic acid. In : *Plant hormones. Physiology, Biochemistry and Molecular Biology* 2nd Edition, P. J., Davies ed. Kluwer Acad. Publ. Dordrecht, The Netherlands ; 188-205.
- 249. Raskin LA ; Ehrmann W ; Melander R et Meeuse B J D. 1987** - Salicylic acid : A natural inducer of heat production in Arum lilies. *Scienc*237(4822) :1601-1602.
- 250. Rampino, P., Mita, G., Fasano, P., Borrelli, G. M., Aprile, A., Dalessandro, G., and Perrotta, C. 2012.** Novel durum wheat genes up regulated in response to a combination of heat and drought stress. *Plant physiology and biochemistry*, 56, 72-78.

- 251. Reverri, E. J., Randolph, J. M., Kappagoda, C. T., Park, E., Edirisinghe, I., & Burton-Freeman, B. M. (2017).** Assessing beans as a source of intrinsic fiber on satiety in men and women with metabolic syndrome. *Appetite*, 118, 75-81.
- 252. Ramanujam MP; Abdul Jaleel V. et Kumaravelu G; 1998** -Effect of salicylic acid on nodulation, nitrogenous compounds and related enzymes of *Vigna mungo*. *Biol. Plant*; **41**: 307-311.
- 253. Rubio-Casal A.E., J.M Castillo, C.J Luque and M.E. Figueroa., (2003)-** Influence-of salinity on germination and seeds viability of two primary colonizers of Mediterranean salt pans. *J. Arid Environ.*, 53, 145-154
- 254. Rajasekaran LR; montants A; et Caldwell CD; 2002** -Tenir l'établissement en traitant des effets de carottes de divers régimes de la température sur la germination et le rôle des salicylates en favorisant la germination à de basses températures. *Pouvoir. J. Planter Sci* ; **82**:443 -450.
- 255. Robertson, G. P., Bruulsema, T. W., Gehl, R. J., Kanter, D., Mauzerall, D. L., Rotz, C. A., & Williams, C. O. (2013).** Nitrogen–climate interactions in US agriculture. *Biogeochemistry*, 114(1-3):41-70.
- 256. Ruiz-Lozano, J. M., Porcel, R., Azcón, C., and Aroca, R. 2012.** Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. *Journal of Experimental Botany*, 63(11), 4033-4044
- 257. Rémond, D., & Walrand, S. (2017).** Les graines de légumineuses : caractéristiques nutritionnelles et effets sur la santé. *Innovations Agronomiques, INRA*, 60.
- 258. Shabala, S., and Munns, R. 2012.** Salinity stress: physiological constraints and adaptive mechanisms. *Plant stress physiology*, 59-93.
- 259. Szepesi A, Csiszár J, Bajkán S, Gémes K, Horváth K, Erdei L, Deér AK, Simon ML, Tari 2005.** Role of salicylic acid pre-treatment on the acclimation of tomato plants to salt and osmotic stress. *Acta Biologica* **49**, 123-125.
- 260. Sayyari M., Ghavami M., Ghanbari F., Kordi S., (2013)-** Assessment of salicylic acid impacts on growth rate and some physiological parameters of lettuce plants under drought stress conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences Vol.*, 5 (17), 1951-1957, 2013

- 261. Shiyab, S.M., Shatnawi, M.A., Shibli, R.A., AlS meirat, N.G., Ayad, J., and Akash, M.W (2013).** Growth, nutrient acquisition, and physiological responses of hydroponic grown tomato to sodium chloride salt induced stress. *Journal of plant nutrition*, 36(4), 665-676.
- 262. Saboora, A., Kiarostami, K., Behroozbayati, F., and Hajhashemi, S.** 2006. Salinity (NaCl) tolerance of wheat genotypes at germination and early seedling growth. *Pak. J. Biol. Sci*, 9(11), 2009-2021.
- 263. Sharp, R.E., Poroyko, V., Hejlek, L.G., Spollen, W.G. Springer, G.K.** et al. 2004. Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. *Journal of Experimental Botany* 55: 2343-51
- 264. Shahba, Z., Baghizadeh, A., Yousefi, M., and Ohadi, M.** 2014. Effect of Salicylic Acid on Oxidative Stress Caused by NaCl Salinity in *Lycopersicum Esculentum* Mill. *Research Journal of Environmental Sciences*, 8(1), 49.
- 265. Sakhabutdinova AR, Fatkhutdinova DR, Bezrukova MV, Shakirova FM.** 2003. Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. *Bulgarian Journal Plant Physiology* **29**, 314-319.
- 266. Smirnov, N. (1993)** The Role of Active Oxygen in the Response of Plants to Water Deficit and Desiccation. *New Phytologist*, 125, 27-58 p.
- 267. Sakhabutdinova A. R., Fatkhutdinova D. R., Bezrukova M. V. et Shakirova F. M., 2003-** Salicylic acid prevents the damaging action of stress factors on wheat plants. *BULG. J. PLANT PHYSIOL., SPECIAL ISSUE*, 314–319.
- 268. T; Touchell D; Bunn E. et Dixon K; 2000** -Acetyl salicylic acid (Aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. *Plant Growth Regul*; **30**: 157-161.
- 269. Shakirova FM, Sakhabutdinova AR, Bezrukova MV, Fatkhutdinova RA,**
- 270. Sato T; Fujikaki H; Ohtake N; Sueyoshi K; Takahashi T; Sato A. et Ohyama T; 2002** -Effect of exogenous salicylic acid on nodule formation of hypernodulating mutant and wild type of soybean. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 48p.
- 271. Sentenac, H., & Berthomieu, P. (2003).** Découverte d'un nouveau mécanisme de tolérance des plantes au sel. *UMR Biochimie et physiologie moléculaire des plantes (Unité mixte Ecolationale supérieure agronomique de Montpellier, Service Presse INRA*, 34 p.

- 272. Santiago, L.S., Lau, T.S., Melgher, P.J., Steeleo, C., & Goldstein, G. (2000).** Morphological and physiological responses of hawaiian *Hibiscus tiliaceus* populations to light and salinity. *Int. J. Plant Sci.* 161: 99-106 p.
- 273. Siddique, M. A., Sundaram, S., Chandrasekaran, M., Kim, K., Selvakumar, G., and Sa, T. 2015.** Halotolerant bacteria with ACC deaminase activity alleviate salt stress effect in canola seed germination. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 58(2), 237-241.
- 274. Serrano, R., & Gaxiola, R. (1994).** Microbial models and salt stress tolerance in plants. *Crit. Rev. Plant Sci*, Vol. 13: 121-138 p.
- 275. Saeed, R., Ahmad, R., Mirbahar, A. A., and Jehan, B. 2014.** Germination indices of egg plant (*Solanum melongena* L.) under sea salt salinity. *Int. J. Biol. Biotech*, 11(1), 51-55.
- 276. Sarry, J-E., Kuhn, L., Lay, P.L., Garin, J. & Bourguignon, J. (2006).** Dynamics of *Arabidopsis thaliana* soluble proteome in response to different nutrient culture conditions. *Electrophoresis* 27:495–507 p.
- 277. Shah, J., Kachroo, P., Klessig, D., 1999.** The *Arabidopsis* *ssi1* mutation restores PR gene expression in SA-Insensitive (*npr1*) plants and renders PDF1.2 (Defensin) gene expression SA dependent. *Plant Cell*, 11:191-206.
- 278. Srivastava M.K., Dwivedi U.N., 2000-** Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. *Plant Science*, 158, 87–96.
- 279. Shilpi, M., & Narendra. (2005).** Cold, Salinity and Drought Stresses An Overview,” *Archives of Biochemistry and Biophysics*, Vol. 444, No. 2, , pp. 139-158 p
- 280. Shiyab, S. M., Shatnawi, M. A., Shibli, R. A., Al Smeirat, N. G., Ayad, J., and Akash, M.W. 2013.** Growth, nutrient acquisition, and physiological responses of hydroponic grown tomato to sodium chloride salt induced stress. *Journal of plant nutrition*, 36(4), 665-676.
- 281. Sardoei, A. S., and Mohammadi, G. A. 2014.** Study of salinity effect on germination of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) genotypes. *European Journal of Experimental Biology*, 4(1), 283-287.
- 282. Shahba, Z., Baghizadeh, A., Yousefi, M., and Ohadi, M. 2014.** Effect of Salicylic Acid on Oxidative Stress Caused by NaCl Salinity in *Lycopersicum Esculentum* Mill. *Research Journal of Environmental Sciences*, 8(1), 49.
- 283. Szepesi A, Csiszár J, Bajkán S, Gémes K, Horváth K, Erdei L, Deér AK, Simon ML, Tari 2005.** Role of salicylic acid pre-treatment on the acclimation of tomato plants to salt and osmotic stress. *Acta Biologica* 49, 123-125.

- 284. Snoussi S.A. 2001** « Valorisation des eaux salines pour la nutrition des plantes cultivées ». Thèse Doctorat. D'Etat en Sciences Agronomiques I.N.A El- Harrach .Alger. Algérie. pp152
- 285. Sabagh, A. E., Hossain, A., Islam, M. S., Fahad, S., Ratnasekera, D., Meena, R. S., & Fatima, M. (2020).** Nitrogen Fixation of Legumes Under the Family Fabaceae: Adverse Effect of Abiotic Stresses and Mitigation Strategies. In *The Plant Family Fabaceae* (pp. 75-111). Springer, Singapore.
- 286. Shankara N. , Josep Van Lido de J., Marja G., Martin H., Barbara Van Dama., 2005 .** La culture des tomates production, transformation et commercialisation, Ed. Fondation Agromisa et CTA, Wageningen. Pp 6-18
- 287. Sinclair, T. R., & Vadez, V. (2012).** The future of grain legumes in cropping systems. *Crop and Pasture Science*, 63(6), 501-512.
- 288. Sierra, J., & Tournebize, R. (2019).** Fixation symbiotique d'azote par les légumineuses en association. Résultats obtenus en Guadeloupe. 12 p. (hal-02373208).
- 289. Shakirova FM, Sakhabutdinova AR, Bezrukova MV, Fatkhutdinova RA, Fatkhutdinova DR. 2003.** Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science* **164**, 317–322.
- 290. Saboora, A., Kiarostami, K., Behroozbayati, F., and Hajhashemi, S. 2006.** Salinity (NaCl)tolerance of wheat genotypes at germination and early seedling growth. *Pak. J. Biol. Sci*, 9(11), 2009-2021.
- 291. Sharp, R.E., Poroyko, V., Hejlek, L.G., Spollen, W.G. Springer, G.K. et al. 2004.** Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. *Journal of Experimental Botany* 55: 2343-51.
- 292. Saidi, Y, Chtourou, W ; 2014 :** Selenium alleviates cadmium toxicity by preventing oxidative stress in sunflower (*Helianthus annuus*) seedlings, *Journal of Plant Physiology*, Volume 171, Issue 5, pp 85-91
- 293. Slama, I., Abdelly, C., Bouchereau, A., Flowers, T., and Savouré, A. 2015.** Diversity, distribution and roles of osmoprotective compounds accumulated in halophytes under abiotic stress. *Annals of botany*, 115(3), 433-447.
- 294. Shaki Fatemeh, Hasan Ebrahimzadeh Maboud, Vahid Niknam , 2018,** Growth enhancement and salt tolerance of Safflower (*Carthamus tinctorius L.*), by salicylic acid *Current Plant Biology* Vol13, pp16-22

- 295. Shaddad, M. A. K., HM, A. E. S., and Mostafa, D.** 2013. Role of gibberellic acid (GA3) in improving salt stress tolerance of two wheat cultivars. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 5(4), 50-57.
- 296. Shi, Q., Bao, Z., Zhu, Z., Ying, Q., & Qian, Q.** (2006). Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. *Plant growth regulation*, 48(2), 127-135.
- 297. Tari I., Csiszar J., Szalai G., Horvath F., Pecsvaradi A., Kiss G., Szepesi A., Szabo M., Erdei L., (2002)-** Acclimation of tomato plants to salinity stress after a salicylic pretreatment. *Acta Biol Szegediensis* 46 : 55-56
- 298. Taffouo, V. D., Nouck, A. H., Dibong, S. D., and Amougou, A.** 2013. Effects of salinity stress on seedlings growth, mineral nutrients and total chlorophyll of some tomato (*Lycopersicum esculentum* L.) cultivars. *African Journal of Biotechnology*, 9(33).
- 299. Taffouo. V.D (2010)** Effects of salinity stress on seedlings growth, mineral nutrients and total chlorophyll of some tomato (*Lycopersicum esculentum* L.) cultivars September University of Douala *African Journal of Biotechnology* 9 (33):5366-5372
- 300. Tremblin G. & Binet P., (1984),** Halophilie et résistance au sel chez *Halopeplis amplexicaulis* (Vahl) Ung. *Oecol. Plant*, 5, 291-223.
- 301. Taffouo, V.D., Kemdem Kouamou, J., Tchiengue Ngalangue, L.M., Nandjou Ndjeudji, B.A., Luttge, U., Kluge, M., & Bauer, G. (2002).** *Botanique*. 3^{ème} édition, Tec et Doc-Lavoisier, Paris : 439-450 p.
- 302. Tremblin, G. (2000).** Comportement auto-écologique de *Halopeplis amplexicaulis* : plante pionnière des sebkhas de l'ouest algérien. *Sécheresse*, 11(2):109-116 p.
- 303. Taji, T., Ohsumi, C., Iuchi S., Seki, M., Kasuga, M., Kobayashi, M., Yamaguchi, Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2002).** Important roles of drought- and cold inducible genes for galactinol synthase in stress tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Plant J.* n° 29(4) :417–426 p.
- 304. Taffouo, V.D., Kemdem Kouamou, J., Tchiengue Ngalangue, L.M., Nandjou Ndjeudji, B.A., Luttge, U., Kluge, M., & Bauer, G. (2002).** *Botanique*. 3^{ème} édition, Tec et Doc-Lavoisier, Paris : 439-450 p.
- 305. Tremblin, G. (2000).** Comportement auto-écologique de *Halopeplis amplexicaulis* : plante pionnière des sebkhas de l'ouest algérien. *Sécheresse*, 11(2):109-116 p.

- 306. Tremblin, G., & Coudret, A. (1986).** Salinité, transpiration et échanges de CO₂ chez *Halopeplis amplexicaulis* (Vahl.) Ung. Oecol. Plant, 7 (21) :417-431 p
- 307. Taylor, B. N., Simms, E. L., & Komatsu, K. J. (2020).** Plus qu'un groupe fonctionnel : la diversité au sein du mutualisme légumineuse-rhizobium et sa relation avec la fonction de l'écosystème. *Diversité*, 12(2), 50.
- 308. Toews, R., & Wang, N. (2013).** Physicochemical and functional properties of protein concentrate from pulses. *Food Research International*, 52(2), 445-451.
- 309. Tariq Aftab, M. Masroor A. Khan, Jaime A. Teixeira da Silva, Mohd. Idrees, M. Naeem & Moinuddin : (2011)** Role of Salicylic Acid in Promoting Salt Stress Tolerance and Enhanced Artemisinin Production in *Artemisia annua* L. *Journal of Plant Growth Regulation* volume 30, pages 425–435
- 310. Ungar, I.A.** 1995. Seed germination and seed-bank ecology of halophytes, in : J. Kigel, G.Galili (Eds.), *Seed Development and Germination*, Marcel Dekker, New York. Pp. 599–627.
- 311. Vasyukova, N.I., Ozeretskoykaya, O.L., 2007-** Induced Plant Resistance and Salicylic Acid : A Review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 43: 367–373.
- 312. Vlot, A.C., Wildermuth, M.C., and Klessig, D.F., (2011)-** Salicylic Acid biosynthesis and metabolism. *Arabidopsis Book* 9, e0156. doi: 10.1199/tab.0156 DEMPSEY,
- 313. Wang, F., Xu, Y.G., Wang, S., Shi, W., Liu, R., Feng, G., and Song, J. (2015).** Salinity affects production and salt tolerance of dimorphic seeds of *Suaeda salsa*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 95: 41-48.
- 314. Wiebe, B. H., Eilers, R.G., Eilers, W.D., & Brierley, J. A. (2001).** Risque de salinisation du sol, l'agriculteur écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agro environnementaux .Rapport n°2 : 121 p.
- 315. Yamburenko, M.V., Zubo, Y.O., Vanková, R., Kusnetsov, V.V., Kulaeva, O.N., Börner, T. 2013.** Abscisic acid represses the transcription of chloroplast genes. *J Exp Bot* 64 (14): 4491–4502.
- 316. Yalpani N, Silverman P, Wilson TM, Kleier DA, Raskin I, 1991** Salicylic acid is a systemic signal and an inducer of pathogenesis-related proteins in virus-infected tobacco. *Plant Cell* 3: 809-818

- 317. Vasconcelos, M. W., Grusak, M. A., Pinto, E., Gomes, A., Ferreira, H., Balázs, B., ... & Williams, M. (2020).** The Biology of Legumes and Their Agronomic, Economic, and Social Impact. In *The Plant Family Fabaceae* (pp. 3-25). Springer, Singapore
- 318. Van Zandt PA, Mopper S. 2002.** Delayed and Carryover Effects of Salinity on Flowering in *Iris hexagona* (Iridaceae). *American Journal of Botany*, **89**(11): 1847-1851. Van Zandt PA, Mopper S. 2002. Delayed and Carryover Effects of Salinity on Flowering in *Iris hexagona* (Iridaceae). *American Journal of Botany*, **89**(11): 1847-1851.
- 319. World Health Organization. (2020).** Regional Overview of Food Security and Nutrition in the Near East and North Africa 2019: Rethinking food systems for healthy diets and improved nutrition. Food & Agriculture Org.
- 320. Wang, Y., Li, L., Cui, W., Xu, S., Shen, W., and Wang, R. 2012.** Hydrogen sulfide enhances alfalfa (*Medicago sativa*) tolerance against salinity during seed germination by nitric oxide pathway. *Plant and soil*, 351(1-2), 107-119.
- 321. Wang, F., Xu, Y. G., Wang, S., Shi, W., Liu, R., Feng, G., and Song, J. 2015.** Salinity affects production and salt tolerance of dimorphic seeds of *Suaeda salsa*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 95, 41-48.
- 322. Wyn Jones, R.G. and Storey, R. 1978.** Salt stress and comparative physiology in the Gramineae: IV. Comparison of salt stress in *Spartina X townsendii* and three barley cultivars, *Aust. J. Plant Physiol.* 5 : 839–850.
- 323. Yang, Q. Q., Farha, A. K., Cheng, L. Z., Kim, G., Zhang, T., & Corke, H. (2020).** Phenolic content and in vitro antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are not directly related to anti-proliferative activity. *Food Bioscience*, 100662.
- 324. Yadav, S., Modi, P., Dave, A., Vijapura, A., Patel, D., & Patel, M. (2020).** Effect of Abiotic Stress on Crops. *Sustainable Crop Production*, 3.
- 325. Zhang P, Senge M, Dai Y. 2016.** Effects of salinity stress on growth, yield, fruit quality and water use efficiency of tomato under hydroponics system. *Reviews in Agricultural Science*, **4**: 46-55.
- 326. Zapryanova N, Atanassova B. 2009.** Effects of Salt Stress on Growth and Flowering of Ornamental Annual Species. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, **23**(1) :177-179.
- 327. Zhang, H., Liu, Y., Wen, F., Yao, D., Wang, L., Guo, J. and Jiang, M. 2014.** A novel rice C2H2-type zinc finger protein, ZFP36, is a key player involved in abscisic acid-induced antioxidant defence and oxidative stress tolerance in rice. *Journal of experimental botany*, 65(20), 5795-5809.

- 328. Zhang, Y., Meenu, M., Yu, H., & Xu, B. (2020).** An Investigation on Phenolic and Antioxidant Capacity of Under-utilized Food Legumes Consumed in China. *Foods*, 9(4), 438.
- 329. Zhao, M-G., Qiu-Ying Tian, Q-Y., and Zhang, W-H.** 2007. Nitric oxide synthase-dependent nitric oxide production is associated with salt tolerance in Arabidopsis, *Plant Physiology*, and Vol. 144.
- 330. Zhang, N., Si, H. J., Wen, G., Du, H. H., Liu, B. L., and Wang, D.** 2011. Enhanced drought and salinity tolerance in transgenic potato plants with a BADH gene from spinach. *Plant Biotechnology Reports*, 5(1), 71-77.
- 331. Zörb, C., Noll, A., Karl, S., Leib, K. and Yan, F.** 2005. Molecular characterization of Na⁺/H⁺ antiporters (ZmNHX) of maize (*Zea mays* L.) and their expression under salt stress. *J. Plant Physiol.*, 162: 55-66.
- 332. Zhou X.M., Mackenzie A.F., madramootoo C.A. and Smith D.L., 1999-**Effects of stem-injected plant growth regulators, with or without sucrose, on grain production, biomass and photosynthetic activity of field-grown corn plants. *Journal of Agronomy and Crop Science* 183 : 103-110
- 333. Zandalinas, S. I., Mittler, R., Balfagón, D., Arbona, V., & Gómez-Cadenas, A. (2018).** Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. *Physiologia Plantarum*, 162(1), 2-12.

ANNEXES

Statistiques relatives à la culture de tomate

1. Teneur relative en eau

Trpg=Solution

Test de Tukey

Trpg		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Solution	Inter-groupes	3151,25	6,00	525,21	146,01	0,00
	Intra-groupes	50,36	14,00	3,60		
	Total	3201,61	20,00			
Eau	Inter-groupes	83,00	6,00	13,83	1,86	0,16
	Intra-groupes	103,85	14,00	7,42		
	Total	186,85	20,00			

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05		
		1	2	3
T1	3	52,181970		
SN	3		83,353057	
T5	3		85,186883	85,186883
T4	3		86,555554	86,555554
T3	3		86,827461	86,827461
T6	3		88,554521	88,554521
T2	3			89,911228
Signification			1,000	,055

Trpg=Eau
Test de Tukey

moyennes
des groupes
des sous-
ensembles
homogènes

Traitement	N	ensemble pour alpha = 0.05
		1
T1	3	,360623
T5	3	,376751
T2	3	,971538
T6	3	,452168
SN	3	,452424
T4	3	,540224
T3	3	,733939
Unification		,261

sont affichées. ise la taille d'échantillon de la
moyenne harmonique = 3,000.

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
hauteur des plantes	Inter-groupes	5111,16	10,00	511,12	51,91	0,00
	Intra-groupes	758,08	77,00	9,85		
	Total	5869,24	87,00			
nombre de feuilles	Inter-groupes	194,77	10,00	19,48	21,27	0,00
	Intra-groupes	70,50	77,00	0,92		
	Total	265,27	87,00			
nombre de leurs bouquet L	Inter-groupes	304,86	10,00	30,49	17,85	0,00
	Intra-groupes	131,50	77,00	1,71		
	Total	436,36	87,00			
poids des feuilles	Inter-groupes	7415,69	10,00	741,57	203,88	0,00
	Intra-groupes	280,07	77,00	3,64		
	Total	7695,75	87,00			
longueur de la feuille	Inter-groupes	507,31	10,00	50,73	28,03	0,00
	Intra-groupes	139,37	77,00	1,81		

2. Paramètres biométriques analysés

2.1 Hauteur des plantes

Test de Tukey .

	Total	646,68	87,00			
Poids des tiges	Inter-groupes	1193,36	10,00	119,34	167,60	0,00
	Intra-groupes	54,82	77,00	0,71		
	Total	1248,18	87,00			
Poids des tiges	Inter-groupes	8,01	10,00	0,80	0,97	0,47
	Intra-groupes	63,38	77,00	0,82		
	Total	71,38	87,00			
Distance collet bouquet 1	Inter-groupes	1142,00	10,00	114,20	20,34	0,00
	Intra-groupes	432,41	77,00	5,62		
	Total	1574,40	87,00			
Poids total	Inter-groupes	13235,52	10,00	1323,55	181,25	0,00
	Intra-groupes	533,06	73,00	7,30		
	Total	13768,59	83,00			

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées

traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05			
		1	2	3	4
T8	8,00	18,64			
T9	8,00	20,40	20,40		
T2	8,00	20,96	20,96		
T10	8,00	21,13	21,13		
T1	8,00	22,94	22,94	22,94	
T7	8,00	23,45	23,45	23,45	
T5	8,00		24,25	24,25	
T4	8,00		24,46	24,46	
T6	8,00		24,53	24,53	

T3	8,00			26,70	
T11	8,00				48,14
signification		0,10	0,25	0,38	1,00

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 8,000.

2.2 Nombre de feuilles

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05		
		1	2	3
T9	8,00	9,50		
T2	8,00	10,00	10,00	
T8	8,00	10,25	10,25	
T1	8,00	10,38	10,38	
T10	8,00	10,38	10,38	
T5	8,00	10,50	10,50	
T6	8,00	10,50	10,50	
T3	8,00	10,75	10,75	
T4	8,00	11,00	11,00	
T7	8,00		11,38	
T11	8,00			15,38
Signification		0,08	0,15	1,00

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 8,000.

2.3 Poids des feuilles

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
T8	8,00	4,52	
T2	8,00	4,82	
T9	8,00	5,12	
T10	8,00	5,19	
T5	8,00	5,38	
T6	8,00	5,42	
T4	8,00	6,00	
T1	8,00	6,00	
T3	8,00	6,16	
T7	8,00	6,41	
T11	8,00		37,37
Signification		0,66	1,00

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 8,000.

2.4 Longueur de la feuille

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05		
		1	2	3
T8	8,00	8,34		
T2	8,00	9,41	9,41	
T9	8,00	9,83	9,83	
T1	8,00	9,88	9,88	
T4	8,00	9,90	9,90	
T7	8,00	10,18	10,18	

T6	8,00	10,25	10,25	
T5	8,00	10,34	10,34	
T10	8,00		10,61	
T3	8,00		10,75	
T11	8,00			18,01
Signification		0,12	0,66	1,00

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 8,000.

2.5 Poids des tiges

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05		
		1	2	3
T8	8,00	2,71		
T2	8,00	2,88	2,88	
T10	8,00	3,21	3,21	
T9	8,00	3,29	3,29	
T1	8,00	3,45	3,45	
T5	8,00	3,57	3,57	
T4	8,00	3,64	3,64	
T6	8,00	3,76	3,76	
T7	8,00	3,91	3,91	
T3	8,00		4,24	
T11	8,00			16,19
Signification		0,16	0,06	1,00

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 8,000.

2.6 Diamètre des tiges

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	
T8	8,00		0,49
T2	8,00		0,50
T6	8,00		0,50
T7	8,00		0,51
T5	8,00		0,51
T4	8,00		0,52
T9	8,00		0,53
T10	8,00		0,53
T3	8,00		0,55
T11	8,00		0,70
T1	8,00		1,57
Signification			0,39

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 8,000.

2.7 Poids total feuilles + Tiges

Test de Tukey

Traitement	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05		
		1	2	3
T8	8,00	7,37		
T2	8,00	7,98	7,98	
T10	7,00	8,31	8,31	

T9	8,00	8,47	8,47	
T5	8,00	8,69	8,69	
T4	8,00	9,28	9,28	
T1	8,00	9,45	9,45	
T6	8,00	9,68	9,68	
T7	7,00	10,13	10,13	
T3	7,00		11,99	
T11	7,00			54,32
Signification		0,66	0,15	1,00

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

traitements	Hauteurdesplantes	Poidsfraisfeuille	Poidsfraistige	Poidsfraisgousse	Poidsfraistotal	Diametredestiges	Nombre degousses
Moyenne	32,21	6,82	3,55	6,56	16,93	0,44	4,14
Ecart-type	6,54	0,90	0,67	1,77	3,21	0,03	1,57
Moyenne	29,29	6,82	3,18	5,44	15,44	0,46	3,00
Ecart-type	4,46	1,37	0,52	1,77	3,06	0,04	0,82
Moyenne	33,86	8,22	3,90	7,77	19,31	0,46	4,67
Ecart-type	2,91	0,71	0,45	0,51	1,59	0,04	0,52
Moyenne	32,07	7,50	3,63	7,03	18,17	0,44	4,43
Ecart-type	4,01	0,95	0,71	1,24	2,69	0,04	1,62
Moyenne	33,36	7,70	3,61	6,78	18,10	0,46	4,71
Ecart-type	6,90	1,54	0,65	1,36	3,03	0,04	1,11
Moyenne	37,21	8,72	3,88	7,34	20,37	0,46	5,00
Ecart-type	4,32	0,40	0,58	1,45	1,22	0,03	1,41
Moyenne	29,79	8,07	4,15	6,29	18,51	0,48	4,57
Ecart-type	2,91	1,43	0,78	1,51	3,34	0,05	1,13
Moyenne	21,64	5,61	2,60	3,28	11,42	0,44	4,33
Ecart-type	3,57	1,37	0,65	1,82	3,17	0,05	0,52
Moyenne	30,21	7,38	3,52	5,66	16,57	0,45	4,00
Ecart-type	3,12	0,96	0,39	1,33	2,28	0,05	1,10
Moyenne	32,86	7,80	3,62	6,34	17,41	0,46	4,86
Ecart-type	5,28	0,30	0,76	2,01	3,50	0,04	1,07
Moyenne	31,64	7,55	3,78	12,06	23,23	0,45	4,71
Ecart-type	5,12	1,14	0,28	2,62	3,98	0,03	1,50

		Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Hauteurdesplantes	Intergruppes	1053,57	10,00	105,36	4,86	0,00
	Intragruppes	1431,64	66,00	21,69		
	Total	2485,21	76,00			
Poids frais feuille	Intergruppes	47,17	10,00	4,72	3,93	0,00
	Intragruppes	76,81	64,00	1,20		
	Total	123,98	74,00			
Poids frais tige	Intergruppes	11,80	10,00	1,18	3,19	0,00
	Intragruppes	24,06	65,00	0,37		
	Total	35,86	75,00			
Poids frais gousse	Intergruppes	313,80	10,00	31,38	11,23	0,00
	Intragruppes	181,63	65,00	2,79		
	Total	495,43	75,00			
Poids frais total	Intergruppes	608,38	10,00	60,84	6,98	0,00
	Intragruppes	566,35	65,00	8,71		
	Total	1174,73	75,00			
Diamètre des tiges	Intergruppes	0,01	10,00	0,00	0,62	0,79
	Intragruppes	0,11	66,00	0,00		
	Total	0,12	76,00			
Nombre de gousse	Intergruppes	21,17	10,00	2,12	1,47	0,17
	Intragruppes	90,67	63,00	1,44		
	Total	111,84	73,00			

3.1 poids frais feuille

Test de Tukey

Traitements	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
T8	7,000	5,610	
T1	7,000	6,816	6,816
T2	7,000	6,824	6,824
T9	7,000	7,384	7,384
T4	7,000	7,504	7,504
T11	7,000	7,549	7,549
T5	7,000		7,703
T10	6,000		7,800
T7	7,000		8,071
T3	7,000		8,223
T6	6,000		8,723
Signification		0,061	0,070

Test de Tukey^{a,b}

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

3.2 Poids frais des tiges

Test de Tukey^{a,b}

Traitements	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
T8	7,000	2,597	
T2	7,000	3,176	3,176
T9	7,000	3,524	3,524
T1	7,000	3,550	3,550
T5	7,000	3,614	3,614
T10	7,000	3,616	3,616
T4	7,000	3,633	3,633
T11	6,000		3,783
T6	7,000		3,876
T3	7,000		3,896
T7	7,000		4,150
Signification		0,079	0,124

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

3.3 Poids frais des gousses

Test de Tukey^{a,b}

Traitements	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05		
		1	2	3
T8	7,000	3,284		
T2	7,000	5,437	5,437	
T9	7,000	5,657	5,657	
T7	7,000	6,286	6,286	
T10	7,000		6,339	
T1	7,000		6,563	
T5	7,000		6,780	
T4	7,000		7,031	
T6	7,000		7,339	
T3	6,000		7,768	
T11	7,000			12,057
Signification		0,050	0,276	1,000

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

3.4 Poids frais total

Test de Tukey^{a,b}

Traitements	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05		
		1	2	3
T8	7,000	11,416		
T2	7,000	15,437	15,437	
T9	7,000	16,566	16,566	
T1	7,000		16,929	
T10	7,000		17,409	
T5	7,000		18,097	18,097
T4	7,000		18,169	18,169
T7	7,000		18,507	18,507
T3	7,000		19,310	19,310
T6	6,000		20,367	20,367
T11	7,000			23,234
Signification		0,064	0,091	0,066

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont affichées.

3.5 Diamètre des tiges

Test de Tukey^a

Traitements	N	Sousensemble pour alpha = 0.05
		1
T1	7,000	0,439
T4	7,000	0,441
T8	7,000	0,441
T11	7,000	0,454
T9	7,000	0,454
T10	7,000	0,456
T3	7,000	0,457
T2	7,000	0,460
T5	7,000	0,461
T6	7,000	0,464
T7	7,000	0,480
Signification		0,689
