

UNIVERSITE SAAD DAHLAB BLIDA 1
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DES BIOTECHNOLOGIES
Laboratoire de Recherche en Biotechnologie des Productions Végétales

THÈSE DE DOCTORAT

En Sciences Agronomiques
Spécialité : Sciences Agronomiques

Thème

IMPACT DU STRESS SALIN SUR L'ÉCOPHYSIOLOGIE DES
GLYCOPHYTES ET IDENTIFICATION DE QUELQUES
MÉCANISMES DE TOLÉRANCE

Présenté par :
DEROUICHE Billel

Devant le jury :

BENMOUSSA M.	Professeur	U. BLIDA1	Président
SNOUSSI SA.	Professeur	U. BLIDA1	Directeur de thèse
BOUAFIA / BISSATI S.	Professeur	U. OUARGLA	Examinatrice
BRADEA M.	Maitre de conférences (A)	U. BLIDA1	Examinatrice
BENAZIZA A.	Maitre de conférences (A)	U. BISKRA	Examineur
MEFTI M.	Maitre de conférences (A)	ENSA ALGER	Examineur

Blida, Mai 2018

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail de recherche, je voudrais exprimer mes vifs remerciements à tous ceux et celles qui m'ont aidé à l'achever.

Tout d'abord, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur SNOUSSI SID AHMED, Directeur du laboratoire de Biotechnologie des productions végétales, pour avoir accepté de diriger mes travaux de thèse. Je tiens à ce qu'il soit assuré de toute ma reconnaissance pour sa grande disponibilité, malgré ses nombreuses responsabilités, son suivi permanent, sa patience. Je le remercie vivement pour sa compétence, son enthousiasme scientifique et ses conseils judicieux qui m'ont beaucoup servi durant ces années de thèse. Mes sentiments d'admiration envers lui ne peuvent être notés dans ce paragraphe. Je le prie d'admettre ma profonde et très sincère gratitude.

Ensuite, mes remerciements vont également aux :

Professeur NAZIHA GHANEM BOUGHANEMI, Directrice du laboratoire de FSB en Tunisie, pour sa bienveillante, sollicitude avec laquelle elle m'a accueilli au sein de son laboratoire de recherche. Je la remercie sincèrement pour ses conseils, son savoir, sa clairvoyance, sa compétence, sa disponibilité malgré ses nombreuses responsabilités et pour les bonnes conditions de travail dont j'ai pu bénéficier lors de mon séjour scientifique dans son laboratoire. Elle m'a généreusement accordé toutes les facilités en mettant à ma disposition sa riche bibliothèque. Je lui suis très redevable pour avoir, en discutant mes résultats, contribué à mon travail de recherche.

Professeur BENMOUSSA MEBROUK de l'Université de Blida 1, trouve ici l'expression de ma profonde gratitude pour ses encouragements, l'intérêt qu'il a manifesté à mon travail et surtout de me faire l'honneur de présider le jury.

Ma profonde reconnaissance va également à Docteur BRADEA M de l'Université de Blida 1, pour son aide précieuse, pour ses conseils judicieux et ses encouragements. Je la remercie vivement de m'honorer par sa participation à ce jury.

J'adresse mes plus vifs remerciements aux Professeur BOUAFIA / BISSATI S de l'Université de Ouargla, Docteur BENAZIZA A de l'Université de Biskra et Docteur MEFTI M de l'institut national supérieur El Harrach, pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'être membres de mon jury de thèse et d'examiner mon travail. Je tiens à les assurer de ma profonde reconnaissance pour l'intérêt qu'ils portent à ce travail.

Il m'est très agréable de remercier toute l'équipe du laboratoire de Biotechnologie des productions végétales pour leurs conseils et leur soutien.

Enfin, je tiens à associer à ces remerciements toute ma famille.

RESUME

La production agricole dans les régions arides est tributaire de l'irrigation dont le principal inconvénient est la teneur en sels des eaux souvent élevées. Ceci est le cas des eaux souterraines de Gassi Touil dont la charge en sel varie spécialement et dont le pH est élevé (7,8). L'objectif de ce travail est la valorisation de ces eaux souterraines par la modification de leurs propriétés physicochimiques. Dans cette optique nous avons reconstitué au laboratoire, les eaux de deux stations ST1 et ST2 de Gassi Touil différentes par leur teneur en sel (respectivement 2,75 et 4,59 g.L⁻¹ et de pH 7,8) et procédé à leur transformation en solution nutritive. Nous avons étudié la croissance et le développement de la tomate variété Saint Pierre (126 jours) et du haricot variété Jadida (77 jours) en conditions semi contrôlées sur substrat solide irrigué avec ces eaux souterraines reconstituées et modifiées soit par acidification (pH 5,5) seule ou additionnées d'oligo-éléments.

Nos résultats ont montré que la croissance (hauteur, épaisseur, biomasses fraîche et sèche) des deux espèces étudiées est affectée suite à leur irrigation avec ces eaux souterraines reconstituées toutefois de manière plus marquée pour ST2 plus chargée en sels que ST1. Le haricot s'est avéré plus sensible que la tomate. Cet effet dépressif sur la croissance est le résultat de l'effet de la salinité des eaux d'irrigation sur la production de sucres par les feuilles dont le nombre et la teneur en chlorophylles diminuent. Toutefois les deux plantes étudiées accomplissent leur cycle de développement malgré une diminution de la teneur en eau dans leurs organes grâce à un ajustement osmotique auquel contribue l'accumulation observée de la proline. De même que pour la croissance, les paramètres étudiés relatif à la production ont été affecté d'une manière plus prononcée pour le haricot que la tomate et pour ST2 que ST1. En effet nous avons observé une diminution du nombre de fleurs, de fruits dont la taille et le poids diminuent ainsi que leur qualité (teneur en sucres et vitamine C, acidité titrable).

L'acidification des eaux d'irrigation et particulièrement celle de ST1 a eu un impact favorable sur la croissance et la production chez les deux espèces étudiées et surtout la tomate. L'ajout d'oligoéléments aux solutions acidifiées a en général porté de faible amélioration voire des effets négligeables sur la plupart des paramètres étudiés.

Ainsi les eaux souterraines de Gassi Touil peuvent être utilisées en irrigation en raison de leur richesse en éléments nutritifs essentiels qui permettrait de s'affranchir de fertilisant. Toutefois la salinité de ces eaux, qui est l'élément déterminant pour leur utilisation, peut être en partie contrecarrée par leur acidification, permettant ainsi de réguler l'absorption hydrominérale des plantes cultivées.

Mots clés : irrigation, salinité, pH, oligoéléments, tomate, haricot, croissance, production, glycophytes.

ABSTRACT

Agricultural production in arid regions is dependent on the irrigation, the main disadvantage of their water is the often-high salt content. A similar of this, is the case for the under groundwater of Gassi Touil which content high salinity with pH (7,8). The objective of this study is to valorization of these under groundwater by the modification of their physicochemical properties. In this way, reconstituted the waters of two stations ST1 and ST2 of Gassi Touil which has different content of salt (2,75 and 4,59 g.L⁻¹ respectively, and pH 7,8 for both) and processed them into a nutrient solution. The growth and development of the tomato variety Saint Pierre (126 days) and the bean variety Djadida (77 days) were studied, under semi - controlled condition on solid substrate irrigated with these under groundwater reconstituted and modified either by acidification (pH 5.5) alone or with added trace elements.

The results show that the growth (height, diameter, fresh and dry weight) of the two studied species were affected due to the irrigation with these reconstituted of the under groundwater, however, more markedly for ST2 more loaded with salts than ST1, the bean more sensitive than tomato. This depressive effect on growth is the result of the effect the salinity of irrigated water on the production of sugars on the leaves, which has caused a decrease the leaves number and their chlorophyll content. However, the two studied plants completed their cycle development in spite of a decrease in the water content of their organs thanks to an osmotic adjustment to which the observed accumulation of proline contribute. As for growth, the parameters of studied production were more pronounced in beans than the tomatoes and for ST2 than the ST1. Indeed, we observed a decrease in the number of flowers which size and weight of fruits as well as their quality (content of sugars and vitamin C, titratable acidity).

The acidification of irrigation water, particularly that of ST1, had a favorable impact on growth and production in the two studied species, especially in tomatoes. The addition of trace elements to the acidified solutions generally showed little improvement or even negative effects on most of the studied parameters.

Thus, the under groundwater of Gassi Touil can be used in irrigation because of their richness of essential nutrients which would make it possible to avoid fertilizer. However, the salinity of these waters, which is the decisive element for their using, can be partially counteracted by their acidification, thus making it possible to regulate the hydromineral absorption of cultivated plants.

Key words: irrigation, salinity, pH, micronutrients, tomato, bean, growth, reproduction, glycophytes.

ملخص

انتاج المحاصيل الزراعية في المناطق الجافة مرتبط بالرّي والعائق الرئيسي يتمثل في ارتفاع نسبة الملوحة في هذه المياه. وهذا هو حال المياه الجوفية لمنطقة قاسي طويل بالنسبة الى ارتفاع الملوحة والرقم الهيدروجيني $pH=7,8$ الهدف من هذه الدراسة هو الاستفادة من هذه المياه الجوفية بعد تحسين خصائصها الفيزيائية والكيميائية. لهذا الغرض تم اعاده تشكيل مياه المحطتين (ST1 , ST2) وفقا لمكوناتها الطبيعية (2,75 و $4,59 \text{ g.L}^{-1}$) على التوالي والرقم الهيدروجيني لكليهما $pH=7,8$ ثم تعديلها الى محلول مغذي.

تمت دراسة نمو وتطور صنف الطماطم (سان بيير) لمدة 126 يوما والفاصوليا صنف (جديدة) لمدة 77 يوما تحت ظروف شبه متحكم بها بزراعتها بدون تربة وربها بالمياه الجوفية المعاد تشكيلها والمحصنة بعد تخفيض ال pH وحده او مع اضافته المغذيات (Oligo-éléments) .

اظهرت النتائج ان النمو (الطول السمك الوزن الرطب والجاف) للنوعين المدروسين يتأثران بريهما بالمياه الجوفية المعادة تشكيلها وبشكل أكثر وضوح ب ST2 من ST1 وان الفاصوليا أكثر تأثرا بالملوحة مقارنة بالطماطم. هذا التأثير السلبي على النمو هو نتيجة لتأثير ملوحة مياه الري يخفض نسبه تكوين السكر في الأوراق وكمية الكلوروفيل. بالرغم من ذلك فان كلى النوعين اكمالا دورة حياتهما على الرغم من انخفاض محتوى الماء في الانسجة الخلوية وذلك بفضل التكيف الاسموزي الذي ادى الى تراكم ملحوظ في البرولين.

اما بالنسبة لقياسات الانتاج المدروسة فقد كانت اكثر تأثرا بالنسبة للفاصوليا مقارنة مع الطماطم خصوصا في ST2 مقارنة مع ST1. هنالك انخفاض في عدد الازهار كذلك حجم وطول الثمار وجودتها (محتوى السكريات والفيتامين 'C' ومعدل الحموضة بالنسبة لطماطم)

ان خفض الرقم الهيدروجيني لمياه الري وخاصة ل ST1 له تأثير ايجابي على الانتاج و النمو الخضري بالنسبة للنوعين المدروسين وبالأخص الطماطم. و اضافة Oligo-éléments للمياه مع خفض الرقم الهيدروجيني أدى الى تحسين طفيف في معظم القياسات المدروسة وبالتالي يمكن استخدام المياه الجوفية لمنطقة قاسي طويل في الري لغناها بالعناصر المعدنية الأساسية مما يؤدي الى تجنب استخدام الأسمدة.

وبالرغم من ارتفاع درجة ملوحة هذه المياه و الذي يعد العامل الاساسي لاستخدامها, يمكن تعديله جزئيا مما يسمح للنباتات المزروعة من امتصاص العناصر المغذية التي تحتويها.

الكلمات الدالة: الري، الملوحة، الرقم الهيدروجيني، المغذيات الدقيقة، الطماطم، الفول، النمو، الاستنساخ، النباتات غير الملحية.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	2
RESUME	3
LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX	9
INTRODUCTION	8
1. Quelques généralités sur la zone du prélèvement de l'eau saline naturelle.	9
1.1 Zone du prélèvement de l'eau saline naturelle.	9
1.1.1 Localisation de la zone de prélèvement de l'eau saline	9
1.1.2 Caractéristiques physiques de la région	9
1.1.3 Climat	10
1.1.4 Aperçu géologique	11
1.1.5 Etude des sols	11
1.1.7 Aptitude des sols à l'irrigation	12
2. SALINITÉ	15
2.1. Généralités sur la salinité	15
2. 2. Définition	15
2.3. Origine de la salinité	15
2.4. Salinité et la plante	16
2.5. Tolérance des plantes à la salinité	19
2.6. Mécanismes de résistance des plantes à la salinité	19
3. CULTURE HORS SOL	22
3.1. Définition	22
3.2. Avantages et les inconvénients de la culture hors sol	22
3.3. Différents systèmes de culture hors sol	23
3.4. Composantes du système hors sol	25
3.5. Composition de la solution nutritive	27
3.6. Effet des éléments nutritifs sur les végétaux	29
4. POTENTIEL HYDROGENE	32
4.1. Définition	32
4.2. pH du sol	32
4.3. pH en agriculture	33
4.4. Importance du pH en hydroponie	34
4.5. Correction du pH	34

5. CULTURE DU HARICOT ET DE LA TOMATE	36
5.1. Culture du haricot	36
5.1.1. Histoire et origine	36
5.1.2. Classification botanique	36
5.1.3. Description de la plante	37
5.1.4 Exigences de la plante	39
5.1.5. Conduite de la culture	41
5.2. Culture de la tomate	42
5.2.1. Généralités et origine	42
5.2.2. Classification botanique de la tomate	43
5.2.3. Description botanique de la tomate	44
5.2.4. Exigences de la tomate	45
5.2.5. Conduite de la culture	47
6. MATERIEL ET METHODES	50
6.1. Objectif de l'expérimentation.	50
6.2. Matériel végétal utilisé.	50
6.3. Conditions expérimentales.	51
6.4. Essai de germination et repiquage	56
6.5. Description des traitements	58
6.6. Entretien des cultures	66
6.7. Récolte	68
6.8. Paramètres étudiés :	68
6.8.1. Paramètres de croissance :	68
6.8.2. Statut hydrique :	69
6.8.3. Paramètres de production	69
6.8.4. Paramètres de qualité des fruits	70
6.8.5. Paramètres physiologiques	72
6.8.6. Observations anatomiques des tiges et des racines des plantes de tomate et de haricot	74
7. RESULTATS ET DISCUSSIONS	75
7.1. Paramètres de croissance et de développement	75
7.1.1. Croissance en longueur des tiges en (cm)	75
7.1.2. Croissance en épaisseur des tiges (mm)	76
7.1.3. Nombre moyen de feuilles par plante	76

7.2. Estimation du statut hydrique des organes des plantes	77
7.2.1. Biomasse moyenne produite par plante	77
7.2.1.1. Biomasse fraîche moyenne par plante	77
7.2.1.2. Biomasse sèche moyenne par plante (g)	79
7.2.2. Rapport moyen de la biomasse sèche des racines/biomasse sèche des parties aériennes	80
7.2.3. Teneur en eau des organes des plantes en (%)	81
7.3. Paramètres de production mesurés	82
7.3.1. Nombre moyen de fleurs par plante	82
7.3.2. Nombre moyen de fruits par plante	83
7.3.3. Production moyenne de fruits par plante (g)	84
7.3.4. Classification des fruits de tomate et des gousses de haricot	85
7.4. Paramètres de qualité des fruits de tomate et des gousses de haricot	86
7.4.1. Teneurs moyenne en sucres totaux des fruits de tomate et des gousses du haricot	86
7.4.2. Teneurs moyenne en vitamine "C"	87
7.4.3. Acidité des fruits du jus de tomate	87
7.5. Paramètres physiologiques mesurés	88
7.5.1. Teneur moyenne en proline	88
7.5.2. Teneur moyenne en chlorophylles des feuilles	90
7.5.3. Teneur moyenne en sucres solubles	91
7.6. Coupes anatomiques sur les tiges et les racines de tomate et de haricot en fin de cycle	92
DISCUSSION GENERALE	96
CONCLUSION	103
ANNEXE	105
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	130

LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Profondeurs de deux aquifères.....	13
Tableau 2 : Besoins en eau des région étudiées.....	14
Tableau 3 : les symptômes provoqués par l'excès ou carence d'éléments sur la plante	30
Tableau 4 : Principaux problèmes causés par un déséquilibre du pH.....	35
Tableau 5 : Composition du haricot vert (la teneur est pour 100g).....	39
Tableau 6 : Les exigences climatique de la tomate.....	46
Tableau 7 : Les moyennes des températures par décade en (C°).....	52
Tableau 8 : Composition de l'eau de Blida en éléments minéraux.....	58
Tableau 9 : Eau de Blida corrigée (Solution nutritive standard) pH =5,8.....	61
Tableau 10 : Eau de Gassi Touil ST1 naturelle, reconstituée avec l'eau de Blida en meq/l pH=7,8.....	62
Tableau 11 : Eau de Gassi Touil ST1 naturelle acidifiée, reconstituée avec l'eau de Blida en meq/l pH = 5,5.....	63
Tableau 12 : Eau de Gassi Touil ST2 naturelle, reconstituée avec l'eau de Blida en meq/l pH = 7,8.....	64
Tableau 13 : Eau de Gassi Touil ST2 naturelle acidifiée, reconstituée avec l'eau de Blida en meq/l pH = 5,5.....	65
Tableau 14 : Doses et fréquences d'irrigation appliquées pour la culture de haricot.....	67
Tableau 15 : Doses et fréquences d'irrigation nécessaire pour la tomate.....	67
Tableau 16 : Traitements phytosanitaires utilisés sur les plantes étudiées.....	67
Tableau 17 : Variation de la hauteur moyenne finale des plantes en %	75
Tableau 18 : Variation de diamètre moyen final des plantes en %	76
Tableau 19 : Variation du nombre de feuilles par plante %	77
Tableau 20 : Variation de la biomasse moyenne fraîche de la partie aérienne et racinaire en (%)	78
Tableau 21 : : Variation de la biomasse moyenne sèche de la partie aérienne et racinaire en (%).....	79
Tableau 22 : Rapport moyen de la biomasse sèche racinaire / Biomasse sèche aérienne	81

Tableau 23: Variation de la teneur moyenne en eau (%).....	81
Tableau 24: Variation du nombre moyen de fleurs en (%).....	82
Tableau 25: Variation du nombre moyen de fruits en (%).....	83
Tableau 26: Variation du nombre moyen de fruits en (%).....	84
Tableau 27 : Nombre, Poids et calibre des fruits de tomate en fonction des traitements..	85
Tableau 28: Nombre, Poids et classe des gousses du haricot.....	85
Tableau 29 : Teneur moyenne en sucres totaux des fruits de tomate et des gousses de haricot [%].....	86
Tableau 30: Teneurs en vitamine C des fruits de tomate et des gousses de haricot	87
Tableau 31 : Acidité des fruits (g/100g de jus de tomate).....	88
Tableau 32: Teneur moyenne en proline [$\mu\text{g/g}$ MF].....	89
Tableau 33 : Teneur moyenne en chlorophylle Chl (a); Chl (b) et Chl (c) [$\mu\text{g/g}$ MF] chez la tomate.....	90
Tableau 34 : Teneur moyenne en chlorophylle Chl (a); Chl (b) et Chl (c) [$\mu\text{g/g}$ MF] chez le haricot.....	91
Tableau 35 : Teneur moyenne en sucres solubles [$\mu\text{g/g}$ MF].....	92

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Production de biomasse de différents groupes de plantes.....	19
Figure 2 : Appareils végétatif et reproducteur du Haricot.....	38
Figure 3 : La plante de la tomate.....	45
Figure 4 : Localisation du lieu de l'expérience.....	51
Figure 5 : Le gravier avant (a) et après(b) lavage.....	53
Figure 6 : Vue générale du dispositif expérimental du haricot.....	54
Figure 7 : Vue générale du dispositif expérimental de la tomate.....	54
Figure 8 : Schéma du dispositif expérimental adapté.....	55
Figure 9 : Essai de germination de tomate et de haricot dans l'étuve à 25°C.....	56
Figure 10 : Germination des graines de haricot.....	56
Figure 11 : Germination des graines de tomate.....	56
Figure 12 : Stade de levée des plantules du haricot.....	57
Figure 13 : Stade de levée des plantules de la tomate.....	57
Figure 14 : Effet des traitements acidifiés sur la hauteur moyenne finale (cm) des plantes de tomate (A) et de haricot (B).	105
Figure 15 : Effet des traitements acidifiés et additionnés d'oligo-éléments sur la hauteur finale moyenne (cm) des plantes de tomate (A) et de haricot (B).....	105
Figure 16 : Diamètre moyen des tiges de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés en fin du cycle de développement.....	106
Figure 17 : Diamètre moyen des tiges de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et additionnés d'oligo-éléments en fin du cycle de développement.....	106
Figure 18 : Nombre moyen de feuilles de la tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés en fin du cycle de développement.....	106
Figure 19 : Nombre moyen de feuilles de la tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et additionnés d'oligo-éléments en fin du cycle de développement.....	106
Figure 20 : Biomasse fraîche moyenne aérienne et racinaire de la tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés... ..	107
Figure 21 : Biomasse fraîche moyenne aérienne et racinaire de la tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et additionnés d'oligo-éléments....	108

Figure 22 : Biomasse sèche moyenne aérienne et racinaire de la tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.....	109
Figure 23 : Biomasse sèche moyenne aérienne et racinaire de la tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et additionnées d'oligo-éléments...	110
Figure 24 : Rapport biomasse sèche de la partie racinaire / biomasse sèche de la partie aérienne des plants de tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.....	111
Figure 25 : Rapport biomasse sèche de la partie racinaire / biomasse sèche de la partie aérienne des plants de tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et additionnées d'oligo-éléments.....	111
Figure 26 : Teneur en eau (%) des racines et de la partie aérienne de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.....	112
Figure 27 : Teneur en eau (%) des racines et de la partie aérienne de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et ajoutées d'oligo-éléments.....	113
Figure 28 : Nombre moyen de fleurs par plant de tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.....	114
Figure 29 : Nombre moyen de fleurs par plant de tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et ajoutées d'oligo-éléments.....	114
Figure 30 : Nombre de fruits par plant de tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.....	114
Figure 31 : Nombre moyen de fruits par plant de tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et ajoutées d'oligo-éléments.....	115
Figure 32 : Production moyenne de fruit de tomate (A) et de gousse de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.....	115
Figure 33 : Production moyenne de fruit de tomate (A) et de gousse de haricot(B) en fonction des traitements acidifiés et ajoutées d'oligo-éléments.....	115
Figure 34 : Teneurs moyenne en sucres totaux des fruits de tomate et des gousses de haricot en fonction des traitements acidifiés.	116
Figure 35 : Teneurs moyenne en sucres totaux des fruits de tomate et des gousses de haricot en fonction des traitements acidifiés et additionnés d'oligoéléments....	116
Figure 36 : Teneur en vitamine "C" des fruits de tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.	117

Figure 37 : Teneur en vitamine "C" des fruits de tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et additionnés des oligoéléments.....	117
Figure 38 : Acidité titrable (g/100g) de jus des fruits de tomate en fonction des traitements acidifiés.....	117
Figure 39 : Teneur moyenne en proline (ug/g MF) des différentes parties aériennes et racinaires de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.....	118
Figure 40 : Teneur moyenne en proline (ug/g MF) des différentes parties aériennes et racinaires de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et ajoutés d'oligo-éléments.	119
Figure 41 : Teneur moyenne en chlorophylles des feuilles de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.....	120
Figure 42 : Teneur moyenne en chlorophylles des feuilles de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et ajoutées d'oligo-éléments.	121
Figure 43 : Teneur moyenne en sucres solubles des feuilles de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.....	121
Figure 44 : Teneur en sucres solubles des feuilles de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements et additionnées d'oligo-éléments.....	122
Figure 45 : Coupes transversales des tiges et des racines de plants de tomate après 126 jours de culture en fonction des différents traitements testés. (G: 10×40).....	94
Figure 46 : Coupes transversales des tiges et des racines de plants du haricot après 77 jours de culture en fonction des différents traitements testés. (G: 10×40).....	95

LISTE DES ABREVIATIONS

(μ g): Microgramme

(ha) : Hectare

(U/ha): Unité par hectare

(Km): Kilomètre

(L): Litre

CE: Conductivité électrique

pH: Potentiel Hydrogène

C°: Degré Celsius

%: Pourcent

INTRODUCTION

L'eau est une ressource indispensable pour les végétaux. Sa présence est une condition incontournable pour que toute plante puisse se développer et assurer ses fonctions physiologiques et vitales. Cette ressource est mal répartie. L'Afrique du Nord et le Moyen-Orient présentent les zones les plus menacées de sécheresse [1].

Dans les zones arides et semi-arides, la rareté des pluies et les besoins élevés en eau des cultures font que la réussite des productions végétales dépend uniquement des eaux souterraines qui présentent souvent des teneurs en sels et pH élevés [2]. La valorisation de ces eaux par la modification de leurs propriétés physicochimiques et en particulier la correction de la composition chimique et du pH de ces eaux souterraines permettraient également d'améliorer la croissance et le développement des cultures dans ces régions [3]. Aussi, la nécessité de développer des productions légumières et horticoles dans ces régions exige la pratique des cultures hors sol ce qui permettrait d'économiser l'eau et de valoriser les terrains affectés par la salinité idem la correction de la composition chimique de l'eau d'irrigation permet également d'améliorer la croissance et le développement des cultures dans les régions où l'eau salée constitue une véritable contrainte à la croissance des plantes et en définitif à la production végétale [4], [5], [6].

L'objectif de ce travail est d'étudier le comportement du haricot, plante sensible à la salinité et la tomate moyennement tolérante, cultivées en hors sol en condition semi contrôlées sur substrat inerte irrigué avec des eaux souterraines de Gassi Touil (Gassi Touil 1 = 2,75 g/l et Gassi Touil 2 = 4,59 g/l, de pH =7,8) reconstituées au lieu de l'expérimentation et transformées en solution nutritive soit par acidification (pH 5,5) uniquement ou additionnée d'oligoéléments.

Chapitre 1 :

Quelques généralités sur la zone du prélèvement de l'eau saline naturelle.

1.1 Zone du prélèvement de l'eau saline naturelle.

La zone de prélèvement de l'eau saline repose essentiellement sur le choix de trois périmètres pilotes, d'une superficie totale comprise entre 2000 et 4000 ha. Dans ce qui suit, nous présentons les ressources naturelles (climat, eau et sol) et les considérations conduisant au choix des sites des périmètres pilotes proposés [7].

1.1.1 Localisation de la zone de prélèvement de l'eau saline

L'aire d'étude de Gassi-Touil fait partie d'une aire qui s'étend sur une superficie de 420.000 ha, et comprend les zones de Hassi Messaoud, et de Ohanet-In Amenas. Les coordonnées géographiques de ces zones sont les suivantes :

- Région de Hassi Messaoud : Elle se situe entre les latitudes 30° et 32° nord et les longitudes 6° et 7° est. La superficie étudiée s'évalue à 150.000 ha.
- Région de Gassi-Touil : Elle se situe entre les latitudes 30° et 31° nord et les longitudes 6° et 7° est. La superficie étudiée s'évalue à 200.000 ha.
- Région de Ohanet-In Amenas : Elle se situe entre les latitudes 28° et 29° nord et les longitudes 8°30 et 9°30. La superficie étudiée s'évalue à 70.000 ha.

1.1.2 Caractéristiques physiques de la région

L'aire d'étude est située dans le grand erg oriental. Le sol saharien s'est formé principalement sous l'effet de l'érosion éolienne et de l'amplitude thermique. On aboutit à différentes formations de relief comme les hamadas, ergs, regs et les dunes. Ces derniers sont souvent interceptés par de basses crêtes rocheuses [8].

Entre ces crêtes, des plaines plates allongées formées de sols sableux profonds, représentant des zones agricoles potentielles. Ces types de sols peuvent s'étendre sur des milliers d'hectares.

L'eau souterraine est présente, dans toute la zone, à différentes profondeurs. Au niveau des dépressions, les aquifères affleurent. Leur eau est très salée, du fait,

du taux d'évaporation élevé, ne peut alimenter que les arbres très tolérants au sel comme le palmier dattier.

1.1.3 Climat

Les données climatiques de la région d'étude sont données par huit stations météorologiques [9]. Parmi eux, on cite trois stations situées à l'intérieur de l'aire Hassi Messaoud, Zaouia el Kahla et In Amenas.

Les températures

L'amplitude thermique moyenne est de :

- 30°C à Hassi Messaoud
- 35°C a zaouia el kahla et In Aminas

La température, la plus basse, enregistrée, a été de 6°C a zaouia el kahla en janvier 1960.

Les précipitations

Les précipitations sont quasi-nulles aux trois stations de l'aire d'étude. Les enregistrements pluviométriques sont dus essentiellement aux courts et intenses orages.

Le volume des précipitations tombe sur une moyenne de 11 ans, dans les trois stations sont les suivantes :

- Hassi Messaoud : 38,1 mm
- Zaouia el kahla (fort Flatters) : 17,6 mm
- In Aminas : 23,7 mm

Le vent

Les vitesses moyennes de vent sont, généralement, faibles. On enregistre, une fois au moins en moyenne, des vitesses des vents supérieures à 50 km/h. Il y a lieu de noter quelques données de vents concernant les trois stations, sur une période de 11 ans :

- Hassi Messaoud : 13,1 km/h
- Zaouia el kahla (fort Flatters): 10,6 km/h
- In Aminas: 15,3 km/h

Les gelées

Elles surviennent généralement de novembre à avril.

- 10 jours en décembre entre zaouia el kahla
- 0 jours en mars à Hassi Messaoud

L'évaporation

L'évaporation est élevée 4 m par an. Elle varie d'environ 100 mm, durant le mois d'hiver à plus de 500 mm/mois durant l'été.

Quelques données sur l'évaporation (Piché) moyenne sur 11 ans:

- Hassi Messaoud : 3857 mm
- Zaouia el kahla (fort Flatters) : 6580 mm
- In Aminas : 4482 mm

On enregistre une très forte évaporation dans la station de zaouia el kahla par rapport aux deux autres stations.

1.1.4 Aperçu géologique

C'est sous l'action de l'érosion éolienne et de l'amplitude thermique, que résulte les différents types de relief [10]. Parmi eux, on rencontre principalement les :

- Hamadas : plateau rocheux
- Ergs : zones des dunes mouvantes
- Regs : zones sableuses plus stables
- Dunes : formes sous l'influence de forts vents périodiques.

1.1.5 Etude des sols

Les différentes zones irrigables des 3 régions ont été classées par la méthode taxonomique de L'usa (classification américaine des sols). Correspondant à celle de l'ORSTOM-INRH. Différents types de sols rencontrés [11] :

Les sols des régions étudiées ont été classés en 2 classes et 3 sous classes.

Les cartes préliminaires ont été dressées selon la méthode de l'user.

Cette méthode est basée sur les critères suivants :

- Profondeur du sol
- Texture
- Perméabilité
- Roche mère
- Topographie
- Drainage
- Régimes hydriques et de température

- Salinité déterminée par le biais de la conductivité électrique.

1.1.6 Facteurs limitants

Les principaux facteurs limitants dans le cas du Sahara se rapportent surtout à l'invasion des sables, la profondeur, les risques de salinisation associées à une teneur élevée en argile. Des superficies considérables qui semblent adaptées à l'irrigation sont situées sur la ligne de déplacements des formations dunaires. Il est pratiquement inutile d'arrêter les mouvements éoliens de sable par des barrières ou par d'autres moyens. Toute zone sujette à une invasion de sable a été exclue [8].

1.1.7 Aptitude des sols à l'irrigation

Les seuls aménagements entrepris dans l'immédiat sont :

- Un sous-solage pour briser les croûtes, afin de faciliter la pénétration des racines.
- Un lessivage modéré sur les zones où une faible accumulation de sel est présente.

1.1.7.1 La description des sols aptes à l'irrigation :

Les zones irrigables présentées à l'annexe pour chacune des trois régions de Hassi Messaoud, Gassi Touil et In-Amenas seront brièvement commentées [8], [11].

- Hassi Messaoud : cette région comprend des zones constituées de parcelles isolées d'environ 5000 ha, à l'exception des 15000 ha de l'oued Si Oudi qui présentent une identité pédologique uniforme.

Les facteurs limitants de cette zone sont surtout dus à une salinisation élevée (en relation avec la forte teneur en argile) sur certaines parcelles. Les nombreux regs se situent le long des principaux axes routiers (Rhourd el Aaguel et Fort Lallemand) sont totalement différents que ceux décrits ci-dessus. Ils sont caractérisés par l'uniformité de leurs sols sur une superficie de 50.000 ha.

Une zone voisine de Fort Lallemand est très représentative par sa dimension (1000 ha) et favorisée par sa situation (abritée des vents), se classe comme zone prioritaire à l'implantation d'un périmètre pilote.

- Gassi-Touil : cette région couvre une superficie de 200.000 ha. Les sols sont généralement sableux.

La profondeur varie considérablement (allant des sols très profonds, bas-fonds, jusqu'aux affleurements rocheux des zones surélevées). Le problème de salinité ne

se pose pas, excepté quelques secteurs ou une forte teneur en argile pourra créer ce risque.

- In-Amenas : les superficies irrigables de cette région présentent des conditions plus complexes de toute l'aire d'étude :

- la mauvaise exposition au vent.
- la profondeur des sols est généralement très faible.
- les affleurements rocheux fréquents et croutes gypseuses.

Seule une zone de 5000 ha connue sous le nom d'ohanet est formée par la dépression de l'oued portant le même nom présente les meilleurs sols pour l'irrigation. A ce niveau, les affleurements rocheux et la salinité sont inexistantes. Cette zone semble alors offrir les meilleures conditions pour la création d'un périmètre pilote.

1.1.7.2 Les ressources hydrauliques

Selon [12], l'aire d'étude présente deux grands aquifères susceptibles d'être mobilisés à savoir :

- L'aquifère supérieur ou complexe terminal qui s'étend vers le sud, à mi-distance environ entre Gassi Touil et zaouia el kahla (pt Platter) avec un niveau piézométrique de 20 à 80 m au-dessous du niveau sol. La température de l'eau oscille entre 28° et 30°c.
- L'aquifère inférieur ou continental interpolaire qui s'étend sous l'ensemble du Sahara septentrional algérienne. Cet aquifère est fortement artésien avec un niveau piézométrique pouvant atteindre 200m au-dessous du terrain naturel. La température de l'eau est élevée (60°c).

Des profils types long des 02 aquifères montrent les profondeurs de puits suivantes selon le tableau 1.

Tableau 1 : Profondeurs des deux aquifères.

Régions	Complexe terminal	Continental interpolaire
Gassi Touil	300 m	1200m
In Amenas	300 m	600m

La qualité de l'eau est généralement propre à l'irrigation des sols bien drainant et très sableux des périmètres choisis. La conductivité électrique varie généralement 2 et 3,5 mmh/cm à 25°C.

1.1.7.3 Les besoins en eau d'irrigation

D'après [12], les besoins en eau pour chaque région sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Besoins en eau des région étudiées.

Régions	Besoins en eau (m ³ /Ha)	Superficie (Ha)
Hassi Messaoud	26000	1000
Gassi Touil	24000	1000
In Amenas	18750	1000

Les besoins mentionnés ci-dessus concernent une unité de 1000 ha pour une irrigation à 80%. Ce rendement sera mieux justifié par l'installation d'un système d'irrigation par aspersion. La pluviométrie horaire serait de 12,3 mm/h. Elle est similaire à celle préconisée à kurfa-libye (12-14 mm/h) sur des sols analogues aux régions étudiées.

La quantité d'eau moyennant ce système au sol est suffisante pour mouiller le sol sur une profondeur de 80 à 100 cm. Les besoins totaux en eau en dehors du lessivage seront de 26 m³/an dont 70 pour cent seront appliqués durant l'été (mois de pointe). Le taux de pompage moyen sera de 1,35 L/s/ha en juillet. Le taux de pompage annuel est de 0,80 L/s/ha.

Chapitre 2 :

LA SALINITE

2.1. Généralités sur la salinité

La salinité des sols et de l'eau, sont les principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale et le rendement agricole [13], [14]. Dans les écosystèmes arides et semi arides, elle résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie [15].

La salinité est souvent associée à la sécheresse et elle entraîne une réduction des surfaces cultivables [16] en menaçant l'équilibre alimentaire mondial [17].

La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe [18]. Selon les estimations les plus récentes, elle affecte déjà au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente [19].

2. 2. Définition

La salinité est définie comme étant le processus suivant lequel le sol s'enrichit excessivement en sels minéraux notamment en NaCl [20]. En effet, on appelle sols salés ceux qui sont caractérisés par la présence d'un excès de l'ion sodium dans le profil [21]. Ce dernier peut exister sous deux formes ; la forme saline neutre, généralement marquée par les chlorures de sodium, et la forme échangeable liée au complexe argilo-humique (Complexe adsorbant) qui, à l'opposé, alcalinise la solution du sol [22].

2.3. Origine de la salinité

2.3.1. Origine primaire (naturelle).

On parle de salinisation primaire lorsque le sel trouvé dans le sol provient de l'altération de la roche mère saline [23].

La salinisation primaire se remarque aussi au niveau des sols se trouvant au-dessus d'une nappe phréatique saumâtre. En conditions sèches, les eaux saumâtres remontent par capillarité à la surface. Sous l'effet conjugué de l'évapotranspiration et du vent, l'eau s'évapore aboutissant à l'accumulation des sels en surface [24].

2.3.2. Origine secondaire (anthropique)

Selon [25], la salinité secondaire est induite par l'activité humaine et fréquemment liée à des pratiques agricoles.

La salinisation est dite « secondaire » lorsqu'elle est produite par des activités anthropiques (agricoles, industrielles...) telle que l'irrigation, l'exploitation minière, le salage des routes ou le rejet d'eau usées domestiques [26]. Dans la nature, la plupart des cas de salinité sont dus aux sels de sodium et surtout au NaCl.

2.4. Salinité et la plante

2.4.1. Notion du stress

Selon [27], Le stress est une contrainte qui peut se résumer à une ou plusieurs forces de déformation appliquée à un corps. Par analogie à la physiologie des plantes, une contrainte environnementale va provoquer une tension interne dans l'organisme exposé.

D'après [28], on appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante.

Par ailleurs, la réponse du végétal dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, (le type de contrainte, son intensité et sa durée) et génétiques (espèce et génotype). On distingue deux grandes catégories de stress :

- Biotique : imposé par d'autres organismes (des micros organismes, insectes, herbivores...).
- Abiotique : provoqué par un défaut ou excès de l'environnement physico-chimique comme la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité.

2.4.2. Effets de la salinité sur les plantes

La salinité provoque à la fois un stress ionique et un stress osmotique sur les plantes et les réponses les plus connues des plantes à la salinité sont liées à ces effets [29], [30]. Elle se traduit généralement par une réduction de leur croissance [31].

Les effets osmotiques des sels sur les plantes sont le résultat de l'abaissement du potentiel hydrique du sol dû à l'augmentation des concentrations des solutés

dans le profil racinaire des plantes. Cette condition interfère avec la capacité des plantes à extraire l'eau à partir du sol et à maintenir leur turgescence [32].

L'accumulation des sels dans les feuilles cause la sénescence prématurée, la réduction de l'approvisionnement en assimilés dans les zones de croissance et de ce fait, elle altère la croissance des plantes [33], il y a lieu de citer :

Dans les variétés sensibles, l'accumulation de sels est plus rapide, et les cellules ne peuvent pas compartimenter les sels dans les vacuoles au même degré que les variétés tolérantes, les feuilles périssent [34].

[35] a considéré que l'inhibition de la croissance des feuilles par les sels diminue le volume des nouveaux tissus foliaires dans lesquels les sels peuvent être accumulés excessivement. Le stress salin affecte tous les principaux processus tels que la croissance, les relations hydriques, la photosynthèse et l'absorption de minéraux.

2.4.3. Effets de la salinité sur la croissance des plantes

Plusieurs recherches ont rapporté une réduction de croissance de plantes en raison de la salinité, chez la tomate [36], le coton [37] et la betterave [32].

Cependant, il existe des différences dans la tolérance au stress salin entre les espèces et les cultivars [39].

La salinité accrue est accompagnée par une réduction significative dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface racinaire chez la tomate [40].

Chez la betterave à sucre, la masse fraîche et sèche des feuilles et des racines a été nettement réduite à 200 mM NaCl, mais le nombre de feuilles était moins affecté [38].

[41] ont enregistré une grande réduction de la matière sèche dans les feuilles et dans les racines de la vigne un peu moins, à des concentrations élevées en NaCl.

Le taux élevé de NaCl se manifeste par une croissance dans la biomasse des racines, tiges et feuilles et une augmentation dans le ratio partie racinaire/partie aérienne chez le coton [37].

2.4.4. Effets de la salinité sur la photosynthèse

La croissance des plantes dépend de la photosynthèse. Les stress environnementaux affectent la croissance ainsi que la photosynthèse [42].

Des études entreprises par de nombreux auteurs sur différentes espèces végétales ont démontré que la capacité photosynthétique est déprimée par la salinité [43].

L'effet de la salinité sur la photosynthèse dépend des concentrations en sel et des espèces stressées, car à de faibles concentrations la photosynthèse est stimulée tandis qu'à de hautes concentrations elle est inhibée [44].

La croissance est affectée avant la photosynthèse. En effet, des études sur l'effet d'un stress salin à long terme ont montré que la croissance diminue plus que la photosynthèse. De ce fait, la salinité affecte l'assimilation du carbone par une surface foliaire réduite plus que par un rendement photosynthétique réduit, [45], [46]. Parmi les facteurs responsables de la diminution du taux d'assimilation photosynthétique sous contrainte saline [47], il ya lieu de citer :

- La déshydratation des membranes cellulaires et réduction de leur perméabilité au CO₂ suite à la diminution du potentiel hydrique interne qui inactive réversiblement le transport des électrons lors de la photosynthèse par l'intermédiaire du rétrécissement des espaces intercellulaires.
- La toxicité provoquée par les ions Na⁺ et Cl⁻ car ce dernier inhibe la photosynthèse en empêchant l'absorption du NO₃ par les racines, et la réduction de l'absorption du NO₃⁻ allié au stress osmotique peut expliquer l'effet inhibiteur de la salinité sur la photosynthèse.
- La réduction de l'approvisionnement en CO₂ à cause de la fermeture des stomates.

2.4.5. Effets de la salinité sur l'activité chlorophyllienne

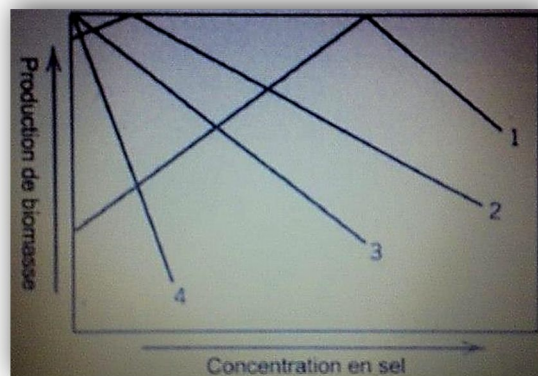
Le taux de la chlorophylle et des caroténoïdes des feuilles diminue en général sous les conditions de stress salin. Les feuilles les plus âgées commencent à développer une chlorose et finissent par tomber sous l'effet du stress salin [48]

2.5. Tolérance des plantes à la salinité

[49] ont défini la tolérance à la salinité comme étant la capacité des plantes d'accroître son cycle de vie sur un substrat qui contient des concentrations élevées en sels solubles.

Toutes les plantes ne sont pas égales face au stress salin, suivant leur production de biomasse en présence de sel [50] et [51] ont classifié les plantes en quatre grandes tendances (Figure 01).

- Halophytes vraies : dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sel. Ces plantes (*Atriplex sp.*, *Salicornia sp.*, *Sueda sp.*...) présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par la salinité du sol.
- Halophytes facultatives : présentent une légère augmentation de biomasse à des teneurs faibles en sels : *Plantago maritima*, *Aster tripolium*...
- Non halophytes résistants : supportent de faibles concentrations en sels : *Hordeum sp.*
- Glycophytes ou halophobes: sensibles à la présence de sels: *Phaseolus vulgaris*...



- | |
|--|
| <p>(1). Halophytes vraies.</p> <p>(2). Halophytes facultatives.</p> <p>(3). Non halophytes résistants.</p> <p>(4). Glycophytes où halophobes</p> |
|--|

Figure 01 : Production de biomasse de différents groupes de plantes suivant la salinité [52].

2.6. Mécanismes de résistance des plantes à la salinité

2.6.1. L'inclusion

L'inclusion est souvent réduite au terme de tolérance. L'organisme absorbe l'agent stressant pour rétablir l'équilibre thermodynamique avec son environnement sans subir de dommage irréversible tout en poursuivant sa croissance. L'organisme réduit ainsi la tension interne pour un même niveau de stress [53].

2.6.2. L'exclusion

L'organisme inhibe ou réduit la pénétration du stress (substance toxique) dans ses tissus. Ce phénomène est bien connu chez les halophytes, qui lors des journées ensoleillées, secrètent les sels sous formes de trémies visibles à la surface de leurs feuilles [53].

Chez les glycophytes, comme le haricot, en général, les plantes excluent le sodium de leurs feuilles, cependant cet ion se trouve souvent accumulé dans les tiges et dans les racines [54].

La résistance par exclusion semble être une évolution par rapport à la résistance par tolérance puisque ne réalisant pas l'équilibre thermodynamique (en réduisant la tension interne) pour préserver les fonctions métaboliques à leur optimum afin de favoriser une meilleure croissance [53], [55].

2.6.3. La recirculation

[56] ont montré chez *Arabidopsis thaliana* une troisième stratégie à l'intermédiaire entre l'exclusion et l'inclusion, la recirculation. Le Na⁺ est absorbé et parvient jusqu'aux parties aériennes, mais il est aussitôt repompé et reconduit par les vaisseaux du phloème vers les racines, qui peuvent excréter les ions à l'extérieur.

2.6.4. Synthèse des solutés compatibles

L'un des aspects de l'ajustement osmotique en réponse à un stress salin est l'accumulation des solutés organiques au niveau du cytoplasme des cellules végétales afin de maintenir une bonne pression osmotique intracellulaire et éviter la perte d'eau [57].

Entre protéines et sucres, les plantes se comportent différemment dans l'accumulation des solutés, chaque espèce accumule un genre particulier de soluté [58].

Pendant l'assèchement de l'environnement intracellulaire, des solutés compatibles vont s'accumuler pour protéger les structures cellulaires [59]. Ainsi, en présence d'un milieu à forte osmolarité, l'absorption, la production et l'accumulation de ces composés seront favorisées. Ces éléments ont une fonction osmoprotectrice

ou osmo-régulatrice, on retrouve parmi eux des éléments minéraux (K^+), des dérivés quaternaires d'acides aminés (proline) [60], des sucres simples (fructose, glucose et saccharose) et des sucres complexes (raffinose et fructane) [61].

L'accumulation des sucres solubles est très prononcée chez les plantes soumises à la contrainte saline. Ces sucres ont pour rôle l'établissement de l'équilibre osmotique [62].

La proline semblant jouer un rôle dans le maintien des pressions cytosol vacuole et de régulation du pH [60], [62].

La proline est connue pour s'accumuler en réponse aux stress qui causent la déshydratation des tissus des plantes telle que la salinité. Cette accumulation est le résultat de l'activation de sa biosynthèse alors que son catabolisme est réprimé. La proline contribue à l'ajustement osmotique des plantes soumises à la salinité et plus particulièrement à l'abaissement du potentiel osmotique du cytosol permettant le maintien de la turgescence et l'hydratation des tissus. La proline joue de nombreux autres rôles chez les plantes soumises au stress salin : molécule signalisatrice entre les différentes parties de la plante, molécule antioxydante et stabilisateur des protéines et des structures [63].

Chapitre 3 :

La culture hors-sol

3.1. Définition

Selon [64], l'hydroponie ou la culture hydroponique (ou agriculture hors sol) est la culture des plantes réalisée sur un substrat neutre et inerte. Ce substrat est régulièrement irrigué d'un courant de solution qui apporte des sels minéraux et des nutriments essentiels à la plante.

La culture hydroponique est l'une des technologies modernes utilisées aujourd'hui en horticulture et dans la culture forcée de certains légumes sous serre, pour valoriser les terrains qui souffrent de certaines contraintes telles que : sols hydromorphes, sols salés [65].

Le principal objectif visé par la pratique des cultures hydroponiques est de remédier aux conditions aléatoires de la nutrition dans le sol et ceci par l'utilisation d'une solution nutritive contenant toutes les éléments nécessaires (macro et micro éléments) à la croissance et au développement d'une plante [66].

3.2. Avantages et les inconvénients de la culture hors sol

3.2.1. Avantages

D'après [67], la culture hydroponique présente plusieurs avantages :

- Technologie innovante.
- Meilleure performance des cultures hors-sol.
- Efficacité de l'eau et des engrais est meilleure dans les systèmes de production hors sol.
- Suppression des travaux de préparation du sol.
- Augmentation de production et de rendement par la présence de tous les éléments minéraux dans la solution
- Economie d'eau et d'engrais. Les expériences ont montré que la consommation en eau est beaucoup plus moins importante en hors sol qu'en plein champ.
- Agriculture rurale et urbaine
- Saine, rentable et respectueuse de l'environnement.

- Croissance contrôlée et rapide.
- Moins d'attaques nuisibles du sol.
- Meilleure maîtrise de la précocité.

La culture hydroponique permet également une automatisation de la culture température, éclairage, contrôle du pH et de la concentration en éléments nutritifs du liquide, ventilation. En raison de son potentiel de productivité, elle permet d'obtenir d'excellents résultats tout en faisant des économies d'eau.

3.2.2. Inconvénients

Selon [67], les inconvénients de la culture hydroponique sont moindres mais importants :

- Cout d'installation et d'entretien important
- Utilisation d'une haute technologie (nécessite une technicité élevée)
- Maitrise incomplète des déchets (rejet de solution nutritive, certains substrats non recyclables)

3.3. Différents systèmes de culture hors sol

Les différents systèmes de culture hors-sol mis en service actuellement peuvent être groupés en fonction de leur type de support, de la taille du support (plus ou moins de 3 mm) et du type d'installation [68], [69].

3.1. Systèmes sans substrat

Les racines sont en permanence ou par intermittence immergées dans une solution nutritive. Ce système comprend :

3.3.1.1. Aquaculture

Dans l'aquiculture, la solution nutritive est contenue dans un bac. Elle demande une oxygénation complémentaire de la solution nutritive pour éviter l'asphyxie des racines, via l'utilisation d'un procédé technique complexe [70].

3.3.1.2. Nutrient film technique (N.F.T)

La NFT utilise une vaporisation ou un ruissellement constant d'eau pour fournir l'arrosage des nutriments nécessaires aux racines. Un avantage principal du

système NFT par rapport aux autres systèmes est qu'il nécessite moins de solution nutritive. Il est donc plus facile de chauffer la solution pendant l'hiver pour obtenir les températures optimales pour la croissance des racines et de la refroidir pendant les étés chauds dans les zones arides ou tropicales [71]

3.3.1.3. Aéroponie

Dans une application inhabituelle de la culture hydroponique de système fermé. Les plantes sont cultivées dans des trous des panneaux de polystyrène expansé ou d'un autre matériau. Les racines des plantes sont mises en suspension dans l'air sous le panneau et enfermées dans une boîte de pulvérisation. La boîte est scellée afin que les racines soient dans l'obscurité (pour inhiber la croissance des algues) et de la saturation d'humidité. Un système de brumisation pulvérise la solution nutritive sur les racines périodiquement. Le système est normalement activé pour seulement quelques secondes toutes les 2-3 minutes. Cela est suffisant pour maintenir les racines humides et la solution nutritive aérée. Ces systèmes ont été développés par Jensen en Arizona pour la laitue, les épinards, même les tomates, bien que ces derniers ont été jugés de n'être pas économiquement viables [72].

3.3.1.4. Ultraponie

L'ultraponie est une amélioration de l'aéroponie. Le brouillard nutritif est créé grâce à des brumisateurs à ultrasons puis dirigé vers les racines. Il est fait de très fines gouttelettes formant un milieu composé d'eau et d'oxygène directement assimilable par les pores des racines. La circulation de la brume accélère énormément le processus d'absorption des racines. Le « chevelu » est plus dense, augmentant exponentiellement les échanges entre la plante et le milieu nutritif. L'ultraponie permet des rendements jusqu'à 8 fois supérieurs, et consomme très peu d'eau, d'engrais et d'électricité. Il peut être totalement contrôlé par informatique. C'est pourquoi, c'est le système qui a été choisi par la NASA dans ses recherches pour nourrir les astronautes durant les voyages lointains dans l'espace [73].

3.3.2. Systèmes avec substrat

Cette technique se rapproche le plus de ce qui se passe dans le sol pour une culture traditionnelle par l'alternance irrigation/drainage. En outre, le substrat assure aussi une réserve d'eau et d'éléments nutritifs contrairement aux techniques sans

substrat. Elle fait appel à un support solide qui contribue à l'oxygénation [74]. Les substrats peuvent être de diverses origines selon :

➤ Origine minérale :

– Naturels : graviers, sables, pouzzolane.

– Traités : laine de roche, laine de verre, argile expansée, vermiculite, perlite.

➤ Origine organique :

– Naturels : tourbe, terreau, cèdre rouge, écorces de pin, fibres de coco.

– Synthétiques : matériaux plastiques expansés, billes de polystyrène, mousse de polyuréthane, grains d'eaux (polycrylamides).

III.4. Composantes du système hors sol

Selon [67], les composantes qui réagissent cette technique forment

Un ensemble constitué par :

➤ La nature de la plante cultivée.

➤ La nature de substrat et de conteneurs.

➤ Le système de distribution de la solution nutritive et son mode de conduite.

3.4.1. Substrat

Le terme de substrat en agriculture s'applique à tous matériaux, naturels ou artificiels, placé en conteneurs, pur ou mélange, permet l'ancrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante le rôle de support [64].

Il faut que le substrat soit en compatibilité avec les exigences propres du végétal, et du type de culture [67].

3.4.2. Conteneurs

D'après [64] ce sont des récipients qui contiennent la plante et le substrat, et les isolent du sol, [67] ajoute que le choix des conteneurs doit se faire en fonction de l'espèce cultivée et de son système racinaire.

En général, les conteneurs sont de matière plastique, chimiquement inerte, étanche, durable et dont la mise en place doit être facile [74].

3.4.3. Solution nutritive

La solution nutritive est la composante fondamentale des cultures hors sol puisqu'elle constitue le seul vecteur d'alimentation hydrominérale des végétaux. Elle doit satisfaire de manière non limitant les besoins des systèmes racinaires [75].

Le rôle de la solution nutritive est d'apporter l'eau, les éléments minéraux et les oligo-éléments nécessaires à la culture [76].

Selon [77], les solutions nutritives sont composées d'eau et des sels dissous apportant des ions dont la plante se nourrit.

La solution nutritive est caractérisée par trois paramètres à savoir :

- Le potentiel hydrogène (pH).
- La conductivité électrique (CE).
- L'équilibre ionique.

3.4.3.1. Le potentiel hydrogène (pH)

Il est important de contrôler le pH de la solution nutritive, pour obtenir des plantes de qualité. [78] note que le pH joue un rôle fondamental dans la régulation de l'absorption des différents éléments constructifs de la solution nutritive

Selon [79], le pH idéal se stabilise à 5.5 à 5.8 et une variation importante de ce dernier peut avoir des répercussions grave sur les cultures.

En cas d'un pH trop bas, d'autres éléments, comme le manganèse, l'aluminium et le fer, sont fortement absorbés par les plantes pour la plupart d'entre elles. Un empoisonnement surgit suite à l'absorption exagérée de ces éléments. D'autre plantes, en revanche, désirent une quantité importante de ces éléments.

3.4.3.2. La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique (CE) est une mesure de la concentration de sels dissous et contenue dans la solution. Elle se mesure à l'aide d'un conductimètre électrique.

L'étude de [80], montre que si la concentration est faible les racines prélèvent très facilement l'eau et en quantités insuffisantes les éléments minéraux. Lorsque

la concentration augmente, l'eau est moins facilement absorbée et par conséquent le potentiel hydrique diminue.

3.4.3.3. L'équilibre ionique

La notion d'ion est le concept fondamental qu'il est impératif de prendre en considération quand on parle de solution nutritive. Les ions proviennent de la dissociation chimique dans l'eau de sels minéraux solides.

Les quantités de chacun des ions par rapport au totale des anions ou des cations sont exprimées en milliéquivalent par unité des volumes de solution.

Il existe, entre les éléments minéraux, des interactions qui font que d'un élément est modifiée par la présence d'un autre, il peut y avoir :

- Synergie : la pénétration d'un ion amplifié par la présence d'un autre.
- Antagonisme : la présence d'un ion inhibe l'absorption d'un autre.

Selon [81], les équilibres ioniques pour l'alimentation hydrique et minérale ne sont pas différents et pourront être modulés en fonction des stades de développement.

3.5. Composition de la solution nutritive

3.5.1. Macroéléments

Selon [82], Les macroéléments sont ceux qui sont requis en grande quantité par la plante afin d'assurer sa croissance et son développement. Les macroéléments sont l'azote, le phosphore et le potassium. Les éléments nutritifs secondaires sont ceux qui sont requis en quantités modérées et qui risquent moins de limiter la croissance des végétaux. Ils comprennent entre autres le calcium, le magnésium et le soufre.

- L'Azote (N) : est un moteur de la croissance végétale. Il représente 1 à 4 pour cent de la matière sèche végétale. Etant le constituant essentiel de protéines. Il intervient dans les principaux processus de développement de la plante et de détermination du rendement.

- Le phosphore (P) : est un constituant important des protéines phosphorées. Les ions phosphoriques sont des éléments très importants dans les processus de stockage et de transport de l'énergie dans les cellules (ATP). Le phosphore, comme l'azote, est un élément indispensable à la croissance de la plante. Le phosphore est

fondamental pour les processus de floraison, la mise en graine ou en fruit des plantes.

- Potassium (K) : c'est un élément essentiel à la croissance des plantes. Entre autres, il joue un rôle important dans la régulation osmotique. Il agit comme catalyseur, il est impliqué dans la formation et le mouvement des sucres, et il est aussi impliqué dans la formation de la chlorophylle et de la synthèse des protéines. Il est important pour le développement racinaire des plantes et augmente leur résistance à la sécheresse, à la verse, aux maladies et à certains ravageurs.

- Calcium (Ca) : Il est indispensable pour la croissance des racines et aussi comme constituant des matériaux de la membrane cellulaire. Bien que la plupart des sols soient abondamment pourvus en calcium assimilable, une carence en Ca peut se produire en sols tropicaux fortement épuisés en calcium. Toutefois, l'application du Ca est généralement considérée comme un chaulage qui vise à corriger l'acidité du sol.

- Magnésium (Mg) : est le constituant central de la chlorophylle, le pigment vert des feuilles qui capte l'énergie fournie par le soleil : c'est ainsi que 15 à 20 % du magnésium contenu dans la plante se trouvent dans les parties vertes. Le Mg intervient aussi dans les réactions enzymatiques relatives au transport de l'énergie dans la plante.

- Soufre (S) : Il est un constituant essentiel des protéines. Il intervient dans la formation de la chlorophylle. Il représente dans la plupart des plantes 0.2 à 0.3 (0.05 à 0.5) % de la matière sèche. Il joue un rôle aussi important que le phosphore et le magnésium dans la croissance des plantes ; mais son rôle est souvent sous-estimé.

3.5.2. Les oligo-éléments

D'après [83], [84], [85], les micronutriments sont des éléments qui, pour la plupart, sont nécessaires en faibles quantités pour le développement des plantes car ils sont utiles pour le fonctionnement de leurs enzymes. À plus fortes concentrations, ces éléments peuvent devenir toxiques. Ce sont, par exemple, le manganèse, le cuivre, le fer, le zinc, le chlore, le sodium, le cobalt, le nickel, le sélénium.

- Le fer (Fe) : est un élément essentiel pour la croissance et le développement des plantes. Ainsi, le fer que ce soit en tant que cofacteur ou élément structural des

molécules organiques, intervient dans la photosynthèse, la respiration, le métabolisme de l'azote ou encore les processus de détoxification.

- Le bore (B) : Les plantes jeunes consomment plus de Bore que les plantes adultes. Il est très mobile dès l'absorption par les racines mais devient presque immobile dans les feuilles. Il régule la photosynthèse, maintient l'élasticité des parois cellulaires ainsi que l'intégrité de la membrane cytoplasmique. Il est nécessaire dans l'élongation et la division cellulaire des bourgeons apicaux racinaires. Il intervient aussi dans la synthèse des acides nucléiques.

- Le manganèse (Mn) : le rôle du manganèse dans le métabolisme des plantes est lié à l'activation de certaines enzymes, la synthèse de la chlorophylle, la photosynthèse, la réduction des nitrates, la synthèse des acides aminés et des protéines.

3.6. Effet des éléments nutritifs sur les végétaux

La carence ou l'excès d'un des éléments minéraux provoque des malformations ou des perturbations physiologiques dont certaines se traduisent par des symptômes caractéristiques [86]. Le tableau 3 résume les symptômes provoqués par l'insuffisance ou l'excès des principaux éléments.

Tableau 3 : les symptômes provoqués par l'excès ou carence d'éléments sur la plante.

Eléments	Carence	Excès
Azote (N)	<ul style="list-style-type: none"> -Feuillage jaunissant de façon uniforme. -Tige mince -Végétation insuffisante. -Racines très longues, peu ramifiées, blanche 	<ul style="list-style-type: none"> -Stimulation de la croissance des feuilles au dépend des fleurs -tissus tendres à parois minces, dans le cas grave, chlorose des bouts de feuilles, tendant vers nécrose et dessèchement. -Flétrissement.
Phosphore (P)	<ul style="list-style-type: none"> -Rougisement de la tige et du pétiole des feuilles. -Raccourcissement des entre nœuds. -Nanisme générale de la plante 	<ul style="list-style-type: none"> -Jaunissement général. -Brunissement des extrémités du bord des feuilles suivi de nécrose. -Nécrose racinaire, faible croissance.
Potassium (K)	<ul style="list-style-type: none"> -Chlorose puis brunissement des bords de limbe des feuilles. -Feuilles jaunes plus ou moins roulées. -Croissance diminuée. 	<ul style="list-style-type: none"> -Pas de symptômes spécifiques sur la partie aérienne. -Action indirecte antagonisme K/Mg ou K/Ca. - Flétrissement provoqué par excès de pression osmotique.
Calcium (Ca)	<ul style="list-style-type: none"> -Feuilles vert sombre tendant vers chlorose des pointes. -Croissance faible, paroi cellulaire fragile, malformation des feuilles, brunissement des bourgeons terminaux. Racines courtes. 	<ul style="list-style-type: none"> -Effet sur l'utilisation insuffisante du fer, manganèse et chlore. -Tache nécrosiques, croissance diminuée, lente molle.
Magnésium (Mg)	<ul style="list-style-type: none"> -Elaboration entravée de la chlorophylle. 	<ul style="list-style-type: none"> -Provoque un déséquilibre par absorption insuffisante de K⁺. -Croissance de tige exagérée. -Floraison diminuée.

	<ul style="list-style-type: none"> -chlorose des feuilles du bas principalement taches internervaires irrégulières. -Le reste de limbe reste vert. -le sommet des feuilles a parfois tendance à s'enrouler. -racine longue, parfois ramifiée. 	<ul style="list-style-type: none"> -Dans le cas grave feuilles vertes sombres, petites, feuilles jaunes enroulées. -Extrémité des tiges se flétrissent. -Forte croissance des racines.
Soufre (S)	<ul style="list-style-type: none"> -Plante entière chlorotique, surtout les jeunes feuilles. -feuilles épaisses et dure. -Tige courte, ligneuse. -Nombreuses racines blanches et ramifiées. 	<ul style="list-style-type: none"> -feuilles chlorotiques, plus petites se courbant en dedans, pustules sur le bord, brunissement margina. -Tige dure, jaunissement de l'extrémité.
Fer (Fe)	<ul style="list-style-type: none"> -Chlorose internervaire évoluant vers jaunissement générale du limbe des jeunes feuilles. -Tige mince 	<ul style="list-style-type: none"> -Excès rare, dans le cas chlorose générale. -Nécrose racinaire.
Manganèse (Mn)	<ul style="list-style-type: none"> -chlorose internervaire des jeunes feuilles évoluant vers des taches nécrotiques brunes, les nervures restent vertes. 	<ul style="list-style-type: none"> -Dans le cas grave : l'aspect chlorotique, feuilles bordures et frisolées.
Bore (B)	<ul style="list-style-type: none"> -Rubéfaction des feuilles, deviennent vert clair. -Souvent les taches brunes sur les tiges : l'apex dépérit, les pousses inférieures jaunes ou brunes ridées, pourrissant du collet. 	<ul style="list-style-type: none"> -Jaunissement du bord des feuilles gagnent toute la surface laissant de graves taches brunes sur les bords puis chute des feuilles.

Chapitre 4 : Potentiel hydrogène

4.1. Définition

Le pH est une abréviation de potentiel hydrogène, permettant d'exprimer le degré d'acidité ou de basicité d'une solution aqueuse.

Le pH est une valeur qui est proportionnelle au taux de protons (ions hydrogène : H^+) et inversement proportionnelle aux ions hydroxydes (OH^-) dans une substance.

Une substance sera dite « neutre » pour un $pH=7$, c'est-à-dire la concentration en ions H^+ est égale à celle des ions OH^- .

Lorsque la concentration en ions H_3O^+ d'une solution est supérieure à 10^{-7} . Le pH est inférieur à 7, on considère qu'elle est « acide ».

- Pour un pH supérieur à 7 le milieu est dit « basique » ou « alcalin »
- On appelle potentiel hydrogène d'une solution (pH) le logarithme décimal négatif de sa concentration en ions H_3O^+ :

$$pH = - \log [H_3O^+]$$

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogène de la solution. Il est représenté par une expression logarithmique, c'est donc dire que la concentration en H^+ , à pH 6.0 est 10 fois plus grande que celle à pH 7,0 et 100 fois plus grande que celle à pH 8,0. Plus la concentration en ions hydrogènes est élevée, plus le pH est bas plus c'est acide.

Le pH varie sous l'influence de différents facteurs : les pluies, l'irrigation, l'utilisation d'engrais les techniques d'entretien du sol et l'activité racinaire [87]

4.2. pH du sol

Le pH des sols est une caractéristique très importante et facilement mesurable. Le pH du sol, quant à lui, influe sur la solubilité des nutriments et sur l'activité des organismes qui sont responsables de la transformation de la matière organique et de la fixation de l'azote [88].

Le pH des sols est très variable, mais il est habituellement situé entre 4 et 8. Il convient rappeler que les sols à pH inférieur à 7 sont acides, ceux à pH supérieur à

7 sont alcalins et la neutralité est atteinte lorsque le pH est égal à 7. Le meilleur pH se situe entre 5.5 et 6.5 ce qui est équivalent à un sol légèrement acide. Ce pH est donc considéré comme le pH dans lequel le plus grand nombre de nutriments sont avantageusement accessibles aux plantes.

Le pH d'un sol est un indicateur de la quantité d'ions hydronium (H^+) présent dans l'eau de ce sol. Plus l'eau de sol est chargée en ions (H^+), plus elle est dite acide et plus son pH est bas. A l'inverse un sol pauvre en ions (H^+) est dit alcalin. Ce pH est un facteur très important pour le bon développement des végétaux. [89]

Le pH optimal du sol varie selon l'espèce cultivée. Il convient donc de mesurer le pH du sol avant de se procurer les plants. Si le sol est trop acide, le pH peut être augmenté à l'aide d'amendements à base de chaux ou de magnésium. Ces amendements s'utilisent de préférence de la fin de l'automne jusqu'au début printemps. Par contre, si le sol est trop basique, le pH peut être diminué en ajoutant à la terre de la tourbe ou de l'humus. Ces amendements peuvent se pratiquer toute l'année avec une préférence pour la période estivale [90].

4.3. pH en agriculture

Selon [91], le pH du sol est un facteur important pour la survie de la plante qui y vit. Contrôler le pH du sol c'est contrôler l'état de santé de la plante qui y pousse. Lorsque le pH est adéquat, la plante peut se nourrir convenablement. Le pH idéal dépend de l'espèce végétale. C'est pourquoi l'on regroupe les plantes en diverses catégories :

- Plantes acidophiles : se développent mieux sur des sols acides.
- Plantes alcalinophiles : s'adaptent mieux sur des sols basiques.
- Plantes neutrophiles : ont une prédilection pour les sols neutres.

Les plantes acidophiles croissent sur un sol dont le pH est compris entre 4 et 6.5. En effet, à ces valeurs de pH, certains champignons et bactéries nuisibles à la croissance de ces plantes ne peuvent croître et les mauvaises herbes ne peuvent s'installer en milieu acide, ce qui laisse toute la place aux plantes acidophiles. De plus, les plantes acidophiles ont besoin d'une quantité importante de certains éléments nutritifs comme le manganèse, l'aluminium et le fer qui sont fortement absorbés pour de faibles valeurs de pH. A l'inverse, les plantes basophiles consomment une quantité importante d'éléments nutritifs comme le calcium et le

magnésium qui sont fortement absorbés à des valeurs de pH plus élevées et supérieures à 7 [91].

4.4. Importance du pH en hydroponie

En hydroponie, le support hydroponique est inerte contenant beaucoup d'oxygène mais aucun nutriment. Les nutriments sont entièrement apportés par la solution nutritive constituée essentiellement d'eau et d'un peu d'engrais qui circule autour des racines. La qualité de l'eau ainsi que le dosage des nutriments sont donc primordiales [65].

Le pH de la solution nutritive joue un rôle déterminant dans la solubilité et l'absorption des nutriments par les plantes. Les plantes ont un pH qui leur est propre [79].

Le pH de la solution nutritive et du substrat doit être au plus proche de celui de la plante pour éviter tous risques de conflits électriques entre les racines et les ions contenus dans la solution. En fonction du pH de la solution et du substrat, les éléments nutritionnels subiront des variations de charge électrique. Si cette charge dépasse les limites tolérables et admises par les racines de la plante, l'élément ne sera plus absorbé aussi rapidement qu'il le devrait. Cette altération se traduit par des plantes sans vigueur.

En système hydroponique, la plupart des végétaux poussent bien lorsque le pH est compris entre 5,5 et 6,5 pH, l'idéal étant situé entre 5,5 et 5,8.

En hydroponie, le pH aura tendance à fluctuer davantage que celui des cultures en terre. Cette dernière ayant un effet tampon sur les engrais sont en général acides et ont tendance à abaisser le pH de la solution nutritive. Il faut préciser que si l'eau d'arrosage présente un pH trop alcalin ou acide. Il faudra le corriger. Nous ajusterons le pH de préférence avec des produits d'origine organique, comme l'acide nitrique pour l'abaisser.

4.5. Correction du pH

Les acides tels que l'acide nitrique, l'acide phosphorique ou l'acide sulfurique sont largement utilisés en culture hors sol pour ajuster le pH de la solution nutritive. En effet, pour la majorité des espèces cultivées, l'optimum physiologique du pH de la solution se situe entre 5,5 et 6,5 afin d'obtenir une absorption optimale de tous

les éléments fertilisants. Dans les régions où les eaux sont chargées en ions bicarbonates, fortement alcalinisant, l'eau doit être acidifiée pour pouvoir entrer dans la préparation des solutions nutritives. Les acides sont très efficaces pour abaisser le pH mais leur manipulation peut présenter un danger pour le producteur [92]. Un autre moyen d'ajuster le pH de la solution nutritive est d'utiliser du nitrate d'ammonium, qui a un léger pouvoir acidifiant sur la solution. Une solution de nitrate d'ammonium à une concentration de 160 g/l a un pH de 5,5.

De plus, lors de l'absorption d'ions NH_4^+ par la plante, son équilibre acido-basique nécessite la libération d'ions H^+ par les racines, ce qui acidifie davantage la solution dans le substrat et le drainage.

Il existe plusieurs raisons qui justifient l'acidification de l'eau d'irrigation. La plus importante d'entre elles est la disponibilité et la solubilité des éléments nutritifs. Si le pH du milieu dans lequel baignent les racines n'est pas adéquat, les éléments nutritifs seront moins disponibles à la plante. Par conséquent, on verra apparaître des symptômes de carences, d'excès ou de déséquilibres fonctionnels comme un retard dans la floraison par exemple [93].

Une carence en un oligoélément peut être causée par un déséquilibre du pH (tableau 4) ou par des lessivages trop importants il est alors possible de corriger la situation en ajoutant des acides [93]

Tableau 4 : Principaux problèmes causés par un déséquilibre du pH.

pH trop bas (< 5.5)	pH trop élevé (> 6.5)
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Risques d'intoxication en : Fer Manganèse Zinc Cuivre Ammoniac (NH_4) ➤ Risques de carence en : Calcium Magnésium ➤ Risques de lessivage en : Phosphates (PO_4) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Risques de carence en : Fer Manganèse Zinc Cuivre Bore

[94]

Chapitre 5 :

La culture du haricot et de la tomate

5.1. Culture du haricot

5.1.1. Histoire et origine

Le haricot est l'une des légumineuses alimentaires originaire de la zone intertropicale d'Amérique. D'après [95] le haricot vert était déjà cultivé en Amérique centrale alors qu'il est selon [96] originaire d'Amérique de sud.

Son nom viendrait d'ailleurs de l'appellation aztèque « ayacolt ». Le terme « haricot » désigne aussi ces parties consommées, les graines (haricots secs) ou la gousse.

La première introduction du haricot en Europe serait due à Christophe Colomb qui le découvrit à Cuba lors de son premier voyage en octobre 1492. Il était déjà cultivé par les habitants du Mexique et Pérou. Ensuite, il a peu à peu conquis toute l'Amérique du sud [96].

5.1.2. Classification botanique

Le haricot vert commun (*Phaseolus vulgaris* L.) est une espèce végétale diploïde dont le nombre chromosomique est $2n=22$ chromosome [97].

Selon [98], la position systématique du Haricot est la suivante :

- Règne : végétal.
- Division : Magnoliophyta.
- Classe : Magnoliopsida.
- Ordre : Fabales
- Famille : Fabaceae
- Sous-famille : Faboideae.
- Genre : *Phaseolus*
- Espèce : *Phaseolus vulgaris* L.

5.1.3. Description de la plante

Le haricot est une plante herbacée, annuelle, qui peut prendre plusieurs types de port selon les variétés [99]. On distingue deux grands groupes :

- ✓ Les haricots grimpants, au port volubile
- ✓ Les haricots nains à port érigé et plus ramifié.

5.1.3.1 Appareil végétatif

➤ Feuilles

Les premières feuilles, au nombre de deux, sont simples. Les suivantes sont formées de trois folioles ovales, terminées chacune par une pointe, disposées de façon alternées. Elles possèdent des nervures bien visibles.

➤ Tiges

Les tiges sont plus ou moins longues suivant les variétés. Les grandes tiges peuvent atteindre 2 à 3 m de long, c'est le "haricot à rames". Les tiges courtes ne dépassent guère 30 à 40 cm de longueur et sont plus ramifiées, prenant un port buissonnant ou dressé ce sont les haricots nains.

➤ Racines

Le système racinaire pivotant et profond peut descendre jusqu'à 1,20m [99]. On trouve la racine principale non dominante très rapidement complétée de racines latérales. Elles sont le siège du phénomène de « nodulation », les nodules étant des excroissances provoquées par l'infestation par des bactéries du genre *Rhizobium*. Ces bactéries vivent en symbiose avec la plante.

5.1.3.2 Appareil reproducteur

➤ Fleurs

Les inflorescences sont en forme de grappes de 5 à 15 fleurs de couleur blanche ou violette portées par un pédoncule de 5 à 8 cm de long qui prend naissance à l'aisselle des feuilles. Elles sont de type papilionacé, et comprennent 5 sépales, 2 Pétales, 9 étamines soudées par leur base et une étamine libre. Ce sont des fleurs hermaphrodites et cléistogames. La fécondation est principalement autogame. Ce qui facilite la sélection de lignées pures et le maintien de variétés stables, elle

s'effectue surtout la nuit. Chaque fleur à 2 cm de long environ et de couleur très variée, blanche, rose, rouge, violette, jaunâtre ou même bicolore.

➤ Fruits

Les fruits sont en forme de gousses déhiscentes, allongées, appelées aussi cosses, généralement droites, plus ou moins longues et terminées par une pointe. Leur largeur varie de 8 à 25 mm. Elles renferment en moyenne 4 à 8 graines.

➤ Graines

Les graines sont soit sphériques, soit cylindriques selon les variétés. Elles sont très diversement colorées, en blanc, vert, rouge, violet, noir, brun ou même bicolors ou tachetées. Elles sont plus ou moins grosses selon les variétés. La faculté germinative dure de 3 à 5 ans. Le poids de mille grains de haricot est de 140 à 800g et le volume 730 à 850 graines / litre.

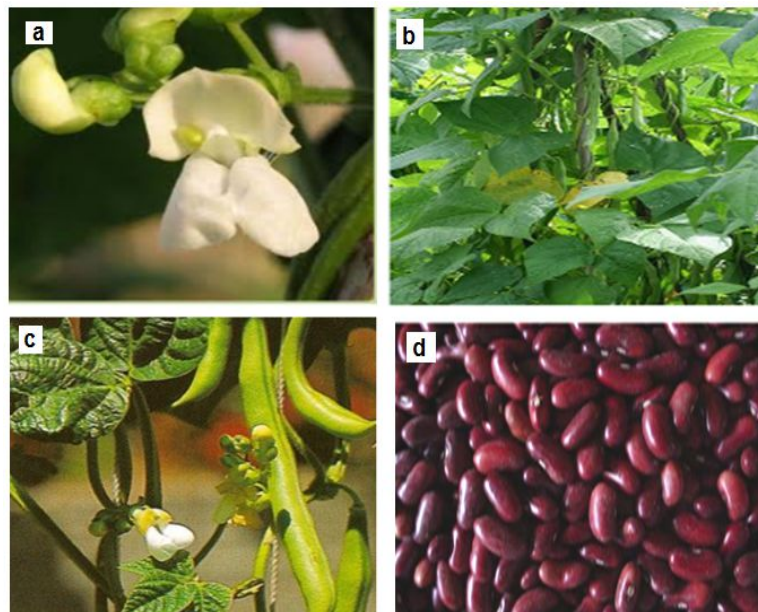


Figure 2 : Apparats végétatif et reproducteur du Haricot [99]

L'albumen de la graine est riche en protéines (25 à 30% de la graine sèche) et en glucides (58 à 63% de la graine sèche).

La composition du haricot vert est représentée dans le tableau suivant :

Tableau 5 : composition du haricot vert (la teneur est pour 100g)

Energie	19 Kcal	Calcium	43 mg	Provitamine A	260 µg
Eau	92 g	Fer	1.6 mg	Vitamine B1	0.02 mg
Protéines	1.3 g	Magnésium	13 mg	Vitamine B2	0.05 mg
Glucides	3.1 g	Phosphore	22 mg	Vitamine B5	0.06 mg
Lipides	0.1 g	Potassium	107 mg	Vitamine B6	0.51 mg
Fibre	2.5 g	Sodium	307 mg	Vitamine B9	42 mg
				Vitamine C	2 mg
				Vitamine E	0.16 mg
				Vitamine PP	0.2 mg

[100].

5.1.4 Exigences de la plante

5.1.4.1. Exigences climatiques

5.1.4.1.1. Température

D'après [101], la température optimale pour la culture de haricot vert est entre 15 à 20 °C. Le zéro végétatif est à 10°C et les fortes chaleurs sont néfastes à la fécondation des fleurs.

Le haricot est une plante de climat chaud, nécessite donc des températures assez élevées. Sa germination n'est normale qu'au-dessus de 14 à 15°C [102].

5.1.4.1.2. Lumière

En ce qui concerne la luminosité, le haricot est très exigeant, surtout pendant les premières étapes de son développement [103]. Si la luminosité n'est pas suffisante, les plantes s'allongent et diminuent beaucoup leur rendement.

5.1.4.1.3. Humidité

Selon [104] le haricot exige autant en humidité de l'air que du sol. Pendant sa végétation une très grande humidité est défavorable.

5.1.4.2. Exigence édaphique

5.1.4.2.1. Sol

Selon [105], le choix des sols joue considérablement sur les rendements et la qualité des produits.

Les sols destinés à la culture du haricot doivent présenter des caractéristiques générales de perméabilité, de bon état sanitaire et de richesse relative. Le haricot réussit bien sur les sols alluviaux, riches en potasse et réussit mal dans les terres halomorphes et fortement acides ainsi que dans les sols lourds-argileux.

L'idéal pour le haricot serait un pH légèrement acide, favorable à l'assimilation des éléments nutritifs du sol.

5.1.4.2.2. pH

Le pH optimal se situe entre 6 et 7.5. Cette fourchette qui correspond à l'optimum pour le développement de *Rhizobium phaseoli*, bactérie fixatrice de l'azote de l'aire pour le haricot [106].

La chute de rendement est relativement lente lorsque l'alcalinité croit, alors qu'elle est très brutale lorsque le pH descend au-dessous de 6.

5.1.4.3. Exigence hydrique

L'apport d'eau est nécessaire pour assurer un rendement maximum tant en produits frais qu'en produits secs. Les besoins en eaux sont estimés à 400 m³/ha. Une récolte en sec exige un supplément de 500 m³/ha [103].

Le haricot ne supporte pas l'excès d'eau qui provoque l'asphyxie racinaire, allonge la période fructification et favorise l'attaque des maladies fongiques ou cryptogamiques [101].

Selon [102] ; du fait que le haricot exige beaucoup de chaleur ; l'évapotranspiration est importante, ce qui résulte les besoins très importants en eau.

5.1.4.4. Exigence nutritionnelle

Les travaux de [105], notent que le haricot vert dispose de deux voies d'alimentation azotée :

- ✓ Par l'assimilation des nitrates du sol ou des engrais.
- ✓ Et par la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique.

Le haricot apprécie un rapport de potasse et de phosphore, qui doit être fait sous forme rapidement assimilable (superphosphate, sulfate de potasse), étant donnée la brièveté de cycle de culture.

D'après [107], le haricot sensible à toute carence alimentaire surtout au moment de floraison. Dans un sol bien pourvu, on conseille les rapports suivants :

- N : 30-50 U/ha
- P₂O₅ : 60 U/ha
- K₂O : 150 U/ha

5.1.5. Conduite de la culture

5.1.5.1. Semis

Pour faciliter la germination, il est recommandé de faire tremper les graines pour ramollir l'enveloppe pendant la nuit qui précède le semis.

D'après [108], le semis du haricot se réalise par deux méthodes soit manuel en poquet de 5 à 6 graines tous les 60 à 70 cm entre les lignes, soit mécanisé de précision (semoir pneumatique) avec 60 à 70 cm entre les lignes, et 10 à 20 cm entre les rangs.

5.1.5.2. Travaux d'entretien

5.1.5.2.1. Désherbage

Le désherbage chimique du haricot est valable mais il demande de la prudence et de l'expérience. Le comportement des variétés et aussi des saisons de mise en culture étant fort variables [109].

5.1.5.2.2. Arrosage

Les arrosages distribués par aspersion sont à exécuter le soir pour écarter tout risque de grillage du feuillage.

5.1.5.2.3. Tuteurage

Les haricots à rames ont besoin d'être tuteurés pour le soutien des pousses, qui atteignent 1,80 m. Les bambous, piquets, ficelles, fil de fer, grillage sont utilisés pour le tuteurage.

5.1.5.2.4. Aération

Elle a pour objectif de renouveler la serre, d'abaisser la température et le degré hygrométrique quand cela est nécessaire. Ceci permettra d'éliminer les excès d'humidité et de chaleur qui favorisent le développement des maladies cryptogamiques.

5.1.5.2.5. Binage

Pour une gestion efficace des mauvaises herbes, la pratique de binage est indispensable car elle permet de briser la croûte du sol (permettre donc une bonne aération du sol) et de supprimer les mauvaises herbes qui se développent autour du plant évitant ainsi la concurrence nutritionnelle au profit de la culture principale.

5.2. Culture de la tomate

5.2.1. Généralités et origine

La tomate est l'une des cultures la plus pratiquée dans le monde. Dans beaucoup de pays, elle occupe la première place des espèces cultivées sous-serres [110].

La tomate cultivée (*Solanum lycopersicum* L.), appartient à la famille des Solanacées. Elle est originaire des Andes d'Amérique du Sud, dans une zone allant du sud de la Colombie au nord du Chili et de la côte Pacifique, aux contreforts des Andes (Equateur, Pérou). Elle fut domestiquée au Mexique, puis introduite en Europe au XVIème siècle par les Espagnols avant même la pomme de terre et le tabac [111].

En Algérie, ce sont les cultivateurs du Sud de l'Espagne, qui l'ont introduite en raison des conditions climatiques qui sont propices pour sa culture. Quant à sa

consommation, elle a commencé dans la région d'Oran en 1905 puis, elle s'étendit vers le centre, notamment au littoral algérois [112]

5.2.2. Classification botanique de la tomate

La classification de la tomate se fait sous plusieurs critères :

5.2.2.1. Classification botanique (systématique)

D'après [113] la tomate appartient à la classification suivante :

Règne.....	Plantae
Sous règne.....	Trachenobionta
Division.....	Magnoliophyta
Classe.....	Magnolopsida
Ordre.....	Soloniales
Genre.....	<i>Solanum</i> ou <i>Lycopersicon</i>
Espèce.....	<i>Solanum lycopersicum</i> L.

5.2.2.2. Classification selon le Type de variétés

➤ Les variétés fixées :

Le croisement dont elles sont issues a permis de conserver de manière stable leurs caractéristiques (vigueur, forme, couleur, gout ...) [114]

➤ Les variétés hybrides :

Du fait de l'effet hétérosis, présentent la faculté de réunir plusieurs caractères d'intérêt. (Bonne précocité, qualité et résistance). Ces variétés ne peuvent pas être multipliées vu qu'elles perdent leurs caractéristiques dans les descendance.

5.2.2.3. Classification selon le type de croissance végétative

- Variétés à croissance déterminée : La plante s'arrête après la formation de 4 à 6 bouquets.
- Variétés à croissance indéterminée : La plante ne cesse pas de croître en hauteur jusqu'à épuisement de toutes les réserves [110].

5.2.3. Description botanique de la tomate

D'après [115], la tomate est définie comme :

- Plante annuelle de la famille des solanacées à port buissonnant nécessitant de nombreuses interventions manuelles.
- Plante autogame à fleurs groupées en inflorescence, (bouquet).
- Fruits, selon les variétés ont une forme très variable (ronde et lisse, ronde et côtelée, aplatie et côtelée ou allongée).
- Diversité variétale est extrêmement grande (plus de 1000 variétés).

5.3.1. Le système racinaire

La tomate présente une forte racine pivotante qui pousse jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus. La racine principale produit une haute densité de racines latérales et adventices

5.3.2. La tige

Le port de croissance varie entre érigé et prostré. La tige pousse jusqu'à une longueur de 2 à 4 m. La tige est pleine, fortement poilue et glandulaire.

5.3.3. Le feuillage

Les feuilles sont disposées en spirale, 15 à 50 cm de long et 10 à 30 cm de large. Les folioles sont ovées à oblongues, couvertes de poils glandulaires. Les grandes folioles sont parfois pennatifides à la base. L'inflorescence est une cyme formée de 6 à 12 fleurs. Le pétiole mesure entre 3 et 6 cm.

5.3.4. Les fleurs

Elles sont bisexuées, régulières et entre 1,5 et 2 cm de diamètre. Elles poussent opposées aux - ou entre les feuilles. Le tube du calice est court et velu. Les sépales sont persistants. En général il y a 6 pétales qui peuvent atteindre une longueur de 1 cm, qui sont jaunes et courbées lorsqu'elles sont mûres. Il y a 6 étamines et les anthères ont une couleur jaune vif et entourent le style qui a une extrémité stérile allongée. L'ovaire est supère avec entre 2 et 9 carpelles. En général la plante est

autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu. Les abeilles et les bourdons sont les principaux pollinisateurs.

5.3.5. Le fruit

Le fruit est une baie charnue, de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre de 2 à 15 cm. Lorsqu'il n'est pas encore mûr, le fruit est vert et poilu. La couleur des fruits mûrs varie du jaune au rouge en passant par l'orange. En général les fruits sont ronds et réguliers ou côtelés.

5.3.6. Les graines

Elles sont nombreuses, en forme de rein ou de poire. Elles sont poilues, beiges, 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen. 1000 graines pèsent approximativement 2,5 à 3,5 g.

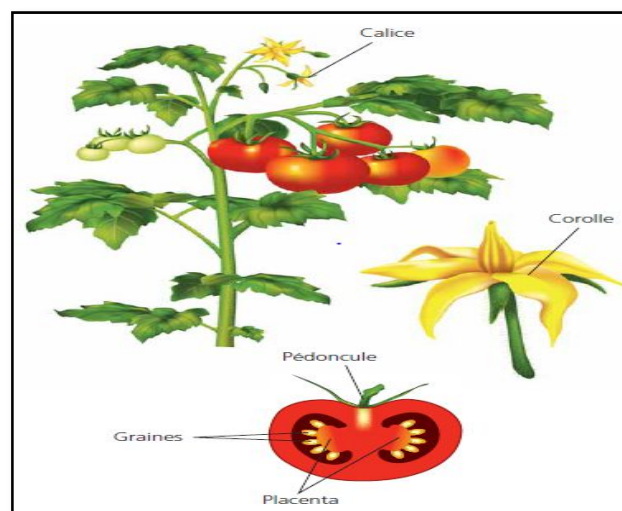


Figure 3 : La plante et les organes de la tomate [115]

5.2. 4 Exigences de la tomate

5.4.1. Les exigences climatiques

5.4.1.1. La température et l'humidité :

La tomate est une espèce exigeante en température et en humidité de l'air et ce en fonction des différents stades physiologiques [116].

Tableau 6 : les exigences climatiques de la tomate

Stade de croissance	Température du sol	Température de l'air	Humidité de l'air
Germination (avant levée)	30 à 20°C (décroissante)	20°C (constante)	60 à 65 %
Élevage de plants en pépinière	20 à 25°C	26°C jour 20°C nuit	60 à 65 %
Transplantation développement végétatif • floraison	15 à 18°C	thermo-périodisme journalier 20 à 23°C jour 15 à 17°C nuit	60 à 65 %
fructification • pollinisation • fécondation • nouaison	15 à 20°C	20 à 25°C jour 15 à 17°C nuit	60 à 65 %
développement des fruits	16 à 20°C	20 à 23°C	60 65 %

[116].

5.4.1.2. L'eau

La tomate est exigeante en eau, depuis sa plantation jusqu'à la phase de maturation des fruits [109]. Cependant 3 phases physiologiques correspondant à des besoins en eau différents sont à distinguer :

- De la plantation à la 1^{ère} floraison : phase de croissance lente, les besoins en eau sont peu élevés.
- De la floraison à la maturation : phase de croissance rapide, les besoins en eau sont élevés.
- En fin de récolte : phase de vieillissement, les besoins en eau sont réduits.

5.4.1.3. La luminosité

La lumière intervient sur la croissance et la fructification de la tomate par sa durée, son intensité et sa qualité. Une quantité de 1200 heures d'insolation sont nécessaires pendant les 6 mois de végétation. Un éclairage de 14 heures par jour est nécessaire pour une bonne nouaison. Toutefois la photopériode ne doit pas dépasser 18 heures par jour [115].

5.4.2. Les exigences édaphiques

5.4.2.1. Le sol

D'après [117], La tomate n'a pas d'exigences particulières en matière de sol. Cependant, elle s'adapte bien dans les sols profonds, meubles, bien aérés et bien drainés. Une texture sablonneuse ou sablo-limoneuse est préférable.

5.4.2.2. Le pH

La tomate est une culture indifférente au pH du sol. Le rendement varie peu avec la variation du pH. Cependant, sur des sols à pH basique ($\text{pH} > 7$), qui sont d'ailleurs les plus rencontrés au Maghreb, certains micro-éléments restent peu disponibles à la plante (Fe, Mn, Zn, Cu). La carence la plus fréquente est celle de fer. Elle apparaît en général à un stade avancé de la culture. Dans ce cas, une correction ferrique par un apport d'engrais foliaire ou en fertigation est nécessaire [117]

5.4.2.3. La Salinité

La tomate est classée parmi les plantes à tolérance modérée vis à vis de la salinité. Lorsque la conductivité électrique (CE) est de 4 mmho/cm, soit 2,5 g/l de sels totaux, le rendement baisse de 10 %. Cependant, la baisse du rendement peut atteindre 25 % à une salinité de l'ordre de 4 g/l. L'impact de la salinité est plus grave sur le rendement, suite à la réduction du calibre du fruit. [117].

5.2.5. Conduite de la culture

5.2.5.1. Le Repiquage

Le repiquage de la tomate intervient pour réduire la durée d'occupation du sol compte tenu de sa susceptibilité aux microorganismes nuisibles du sol et aux vecteurs de maladies peut maîtrisables.

Les précautions suivantes doivent être prises lors du repiquage :

- Repiquer les plantes vigoureuses avec la motte de terre autour des racines
- Ne pas trop enfoncer les plantes dans le sol pour éviter les pourritures de collet
- Bien tasser la terre autour des racines
- Arroser si possible immédiatement après repiquage

5.2.5.2. L'arrosage

Les tomates demandent beaucoup d'eau surtout quand les fruits sont formés. Les arrosages doivent être réguliers, mais sans excès (pas de coup de sec, pas d'excès d'eau). En période chaude un arrosage tous les 4 à 5 jours avec 3 à 5 litres d'eau par pied (suivant le sol) est suffisant. Il est à préférer les arrosages le matin, en arrosant au pied sans mouiller le feuillage, afin de limiter l'apparition des maladies notamment cryptogamiques.

5.2.5.3. L'ébourgeonnage

La tomate doit être pincée c.à.d. qu'on enlèvera les bourgeons qui se forment à l'aisselle des feuilles dès leur apparition sinon le pied prolifère en verdure et les feuilles seraient trop nombreuses, et les fruits petits et tardifs.

5.2.5.4. L'effeuillage

Au fur et à mesure des récoltes des bouquets, les feuilles situées sous le bouquet récolté peuvent être enlevées et évacuées hors de la culture. Cette technique améliore l'aération de la culture et agit dans le maintien d'un bon état sanitaire. Il ne faut pas que les fruits soient directement exposés au soleil sous peine d'y voir apparaître des coups de soleil qui évoluent en nécroses et rendent les fruits non commercialisables.

Une bonne stratégie d'effeuillage doit donc tenir compte de la pénétration de la lumière à l'intérieur de la plante. Toutes les feuilles sont utiles à la condition qu'elles reçoivent suffisamment de lumière. Les feuilles du bas ou celles qui sont situées à l'intérieur des rangs et qui reçoivent très peu de lumière sont nuisibles.

5.2.5.6. Le palissage

Toutes les variétés utilisées sous serre sont à croissance indéterminée. De ce fait, elles nécessitent un tuteur pour que la tige demeure verticale. En serre, une ficelle doit être fixée au fil de fer au niveau de chaque plante. La ficelle est accrochée sur la 1^{ère} ou la 2^{ème} feuille basale de la plante d'une façon lâche afin de ne pas engendrer de dégâts (blessures ou coupures). Lors du 2^{ème} passage, on enroule manuellement la plante autour de la ficelle à un tour complet entre 2 feuilles et ainsi de suite jusqu'à la fin du cycle.

5.2.5.7. La récolte

La cueillette des fruits s'effectue quand la plus grande partie de la couleur verte a viré au rouge ou à l'oranger. Même lorsque les fruits sont enlevés de la plante, les tomates continuent de mûrir. On peut conserver les tomates fraîches pendant trois semaines dans un endroit frais, protégé du soleil et bien aéré.

Chapitre 6 : Matériel et méthodes

6.1. Objectif de l'expérimentation.

L'objectif de notre essai est de mettre en évidence d'une part l'effet du stress salin causé par deux types d'eaux salines existant en Algérie dans la région de Gassi Touil dans le sud algérien à différent gradient de salinité (Gassi Touil A = 2,75 g/l et Gassi Touil B = 4,59 g/l) à pH =7.8 et d'autre part, identifier l'importance des oligo-éléments sur la nutrition minérale de la tomate moyennement sensible à la salinité variété Saint Pierre et le haricot variété Djadida très sensible à la salinité. Les deux espèces sont cultivées en hors sol.

6.2. Matériel végétal utilisé.

Dans notre expérimentation, on a utilisé deux espèces végétales, le haricot (*Phaseolus vulgaris*) variété Djadida qui est une espèce à développement rapide, et sensible à la salinité et la tomate (*Solanum lycopersicum*), variété Saint-Pierre, qui est une variété moyennement sensible à la salinité.

La variété Djadida présentent les caractéristiques suivantes :

- Très cultivée en Algérie
- Type mangetout
- Variété naine
- Bonne vigueur
- Feuille longue de couleur vert
- Fleurs blanches
- PMG=199g

La variété Saint-Pierre est une :

- Variété fixée demi précoce et productive
- Fruits sont de forme ronde à couleur rougeâtre
- Variété moyennement sensible à la salinité

- Bonne aptitude à la fructification

6.3. Conditions expérimentales.

6.3.1. Lieu de l'expérience.

Notre expérimentation a été réalisée dans une serre en polycarbonate de 382.5m² de surface, au niveau de la station expérimentale du département des biotechnologies de l'université de Blida 1. Cette serre est aérée grâce à des fenêtres placées latéralement de part et d'autre et chauffée en hiver grâce à des radiateurs à eau chaude.



Figure 4 : Localisation du lieu de l'expérience.

Pour suivre l'évolution de la température, nous avons installé un thermomètre positionné au centre de la serre. Des relevés quotidiens de températures ont été effectués à trois moments de la journée : 9h00, 12h00 et 16h00. Le tableau ci-dessous indique les moyennes par décade des températures enregistrées sous serre en (C°).

Selon les relevés de température enregistrés dans le tableau 7, nous remarquons que mis à part les températures relevées le matin à 9h00, comprises entre le 08/12/2015 et le 07/03/2016 que restent basses par rapport aux besoins en température des deux espèces étudiées. Néanmoins, aucune anomalie physiologique n'a été observée au niveau des plantes des deux espèces durant ces périodes, car les températures relevées à 12h et 16h sont favorables à la croissance et au développement des plantes.

Tableau 7 : Les moyennes des températures par décade en (C°).

Périodes	Température		
	9h00	12h00	16h00
08/12/2015	11	24.2	23.6
18/12/2015	11.2	24.21	22.3
28/12/2015	13.4	21.8	23.88
07/01/2016	17.2	24.33	26.3
17/01/2016	15.5	25.1	27.5
27/01/2016	17.6	24.5	24.7
06/02/2016	15.9	24.2	25.2
16/02/2016	14.9	23.7	24.6
26/02/2016	16	24.3	23.62
07/03/2016	16,6	23,4	23,8
17/03/2016	19,5	25,8	29,0
27/03/2016	28,7	35,0	37,0
06/04/2016	20,3	24,8	26,0
16/04/2016	25,7	31,7	32,3
26 /04/2016	26,4	32,0	31,5
06/05/2016	29,7	33,0	33,0
16/05/2016	26,0	35,0	34,3
26/05/2016	30,0	34,0	35,0

6.3.2. Substrat.

Nous avons utilisé dans notre expérimentation, du gravier roulé de rivière d'un diamètre de 3 à 8 mm provenant de la carrière de Chebli qui se situe à 25 Km d'Alger. Ce substrat assure grâce à sa porosité une meilleure aération pour les racines des plantes et forme un milieu défavorable pour le développement des micro-organismes. Cependant, afin d'éloigner tous les risques de contamination par les maladies, nous avons procédé à la désinfection du substrat de la manière suivante :

- Lavage des conteneurs (les pots)
- Élimination des particules terreuses et des résidus organiques présents dans le gravier par un lavage abondant à l'eau. (Figure : 5)

- Remplissage des pots par le gravier lavé.
- Désinfection du gravier avec l'hypochlorite de sodium dilué.
- Rinçage abondant à l'eau afin d'éliminer toute trace d'hypochlorite de sodium qui est nuisible pour les jeunes plantules de haricot et tomate.

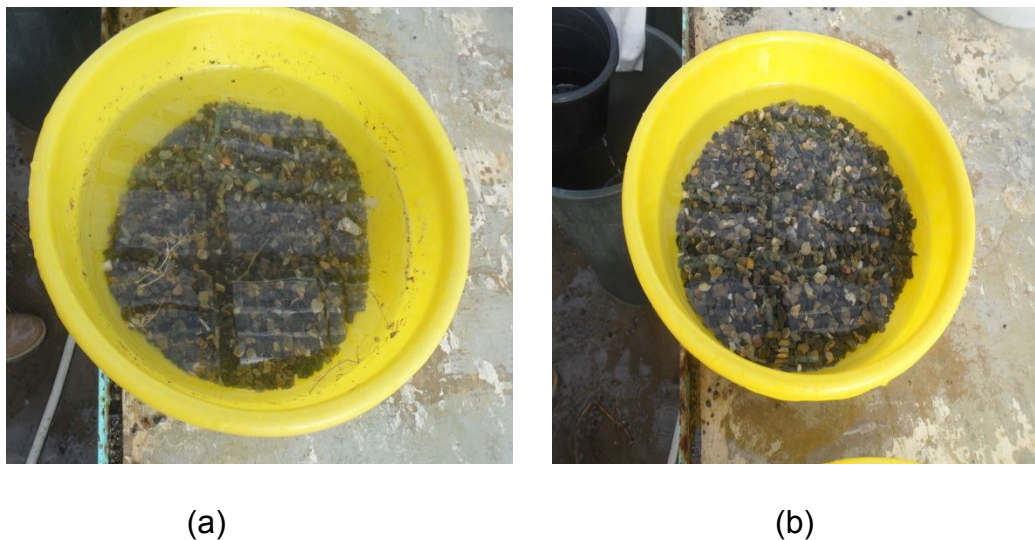


Figure 5 : le gravier avant (a) et après (b) lavage

6.3.3. Conteneurs utilisés.

Les conteneurs utilisés sont des pots en polyéthylène de couleur marron, sombre ayant une capacité de 5 litres et présentant des orifices de drainage à leur base afin de permettre l'évacuation de la solution nutritive excédentaire.

6.3.4. Dispositif expérimental.

Le dispositif expérimental adopté est un plan sans contrôle d'hétérogénéité (randomisation totale), dans lequel l'affectation des traitements s'est faite d'une manière aléatoire selon la table des permutations des nombres aléatoire de 1 à 10.

Le dispositif expérimental est un dispositif à un facteur étudié (facteur solution nutritive à 7 niveaux).

L'ensemble du dispositif expérimental est composé de sept (7) traitements, pour chaque traitement, nous avons (9) observations, soit 63 pots pour chaque espèce, et 126 unités expérimentales au total pour les deux espèces testées.



Figure 6 : Vue générale du dispositif expérimental de la culture du haricot.



Figure 7 : Vue générale du dispositif expérimental de la culture de tomate.



Figure 8 : Schéma du dispositif expérimental adapté

- P1, P2,...P9 : Répétitions
- T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 : Traitements

VI.3.5. Composition des différents traitements :

- ST1 : eau naturelle de Gassi -Touil A à pH= 7,8
- ST1H : eau de Gassi -Touil A partiellement corrigée par (HNO₃) à pH= 5,5
- ST1HOE : eau de Gassi -Touil A partiellement corrigée par (HNO₃) + Oligo-éléments à pH = 5,5
- ST2 : eau naturelle de Gassi -Touil B à pH= 7,8

- ST2H : eau de Gassi -Touil B partiellement corrigée par (HNO₃) à pH= 5,5
- ST2HOE : eau de Gassi -Touil B partiellement corrigée par (HNO₃) + Oligo-éléments à pH = 5,5
- Témoin : solution nutritive standard à pH= 5,5

6.4. Essai de germination et repiquage

6.4.1. Essai de germination

La germination a été effectuée au laboratoire le 06/12/2015 pour le haricot et la tomate. Les graines étaient déposées dans des boîtes de pétrie sur un papier buvard et imbibée d'eau. Les boîtes de Pétri sont placées dans une étuve à 25±1°C pendant une semaine pour la tomate et le haricot.



Figure 9 : Germination de la tomate et du haricot dans l'étuve à 25 C.



Figure 10 : germination des graines de haricot.

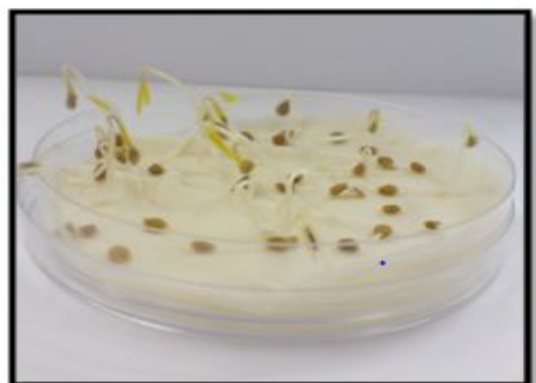


Figure 11 : germination des graines de tomate.

6.4.2. Repiquage des germes

Après que les graines de haricot et de tomate aient germé, un repiquage en place définitive dans des pots remplis du gravier a été réalisé le 12/12/2015 à raison de trois germes par pot, soit 6 jours après germination.

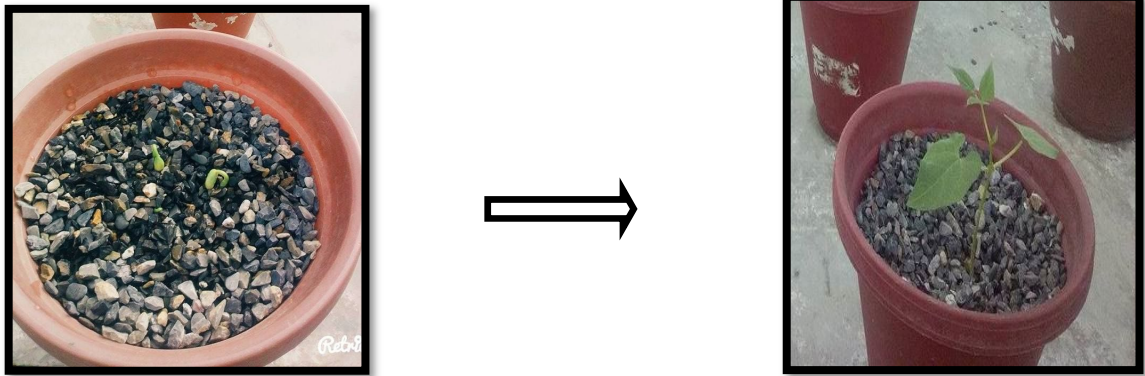


Figure 12 : Stade levée des plantules du haricot

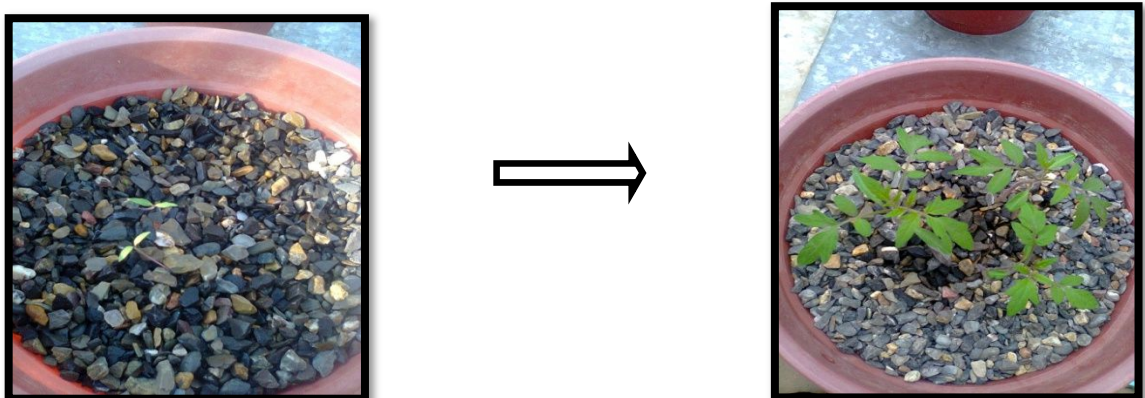


Figure 13 : Stade levée des plantules de tomate

Les jeunes plantules de haricot et de tomate ont été irriguées jusqu'à l'apparition des deux feuilles cotylédonaires par l'eau de robinet tiède pour favoriser la reprise des jeunes plantules et ce pour une durée comprise entre le 12/12/2015 et 05/01/2016. Après ce stade, un démariage a été effectué pour en laisser une seule plantule par pot.

A la date du 07/01/2016 soit 26 jours après le semis, nous avons commencé l'application des sept différents traitements à raison de trois irrigations journalières de 20 ml pour le haricot.

Pour la tomate les jeunes plantules ont été irriguées avec une solution nutritive standard équilibrée à partir du 07/01/2016 afin d'obtenir un matériel végétal résistant et homogène de départ et ceci jusqu'au 21/01/2016 à raison de 3 doses de 20ml/jour.

Nous avons commencé l'application des traitements le 21/01/2016 soit 40 jours après le semis.

6.5. Description des traitements

Pour la préparation des traitements, nous avons utilisé de l'eau potable de Blida, puis la reconstitution des eaux salines qui a été choisie uniquement pour des raisons pratiques, compte tenue les besoins en eau croissants des plantes en cours de culture.

6.5.1. Composition de l'eau de Blida en éléments minéraux

Tableau 8 : Composition de l'eau de Blida en éléments minéraux.

Eléments	Teneur en mg/l	Teneur en (meq/l)
K ⁺	00	00
Ca ⁺²	56.00	2.80
Na ⁺	29.90	1.30
Mg ⁺²	21.60	1.80
NO ₃ ⁻	21.70	0.35
SO ₄ ⁻	38.40	0.80
Cl ⁻	21.30	0.60
HCO ₃ ⁻	245	4.08
Total	433.9	11.73

(Source : SNOUSSI S.A., 2016).

L'analyse de l'eau de Blida présentée dans le tableau ci-dessus révèle une quantité assez élevée en ions bicarbonates (4,08 meq/l) ce qui rend le milieu plus basique (pH= 7,8), nécessitant une correction de pH favorable pour les espèces testées.

La correction de l'eau consiste donc à utiliser l'acide nitrique (HNO₃) pour détruire partiellement les bicarbonates et ramener le pH au voisinage de 5,5 à 5,8 jugés le plus favorable pour le développement et la croissance des plantes. (HNO₃) permet d'une part l'abaissement du pH à la valeur optimale et l'apport de l'élément utile (le nitrate).

La quantité d'acide à apporter est calculée selon la formule suivante :

$$Q \text{ (még/l)} = (\text{quantité d'HCO}_3 \text{ dans l'eau en még/l}) \times 0,833$$

$$Q = 4,08 \times 0,833 = 3,39 \text{ még / l d'eau (SNOUSSI S. A, 2001).}$$

6.5.2. Technique de préparation des traitements

6.5.2.1. Préparation de la solution nutritive standard (Témoin)

L'eau de Blida renferme des teneurs insuffisantes en certains éléments utiles, tels que les nitrates, le potassium et le magnésium.

Parfois des éléments tels que le sodium, le calcium et les sulfates peuvent se trouver à des concentrations supérieures aux besoins des plantes. La formule de solution nutritive peu chargée en sels correspond à la solution nutritive de base synthétisée avec l'eau de Blida selon les normes définies par [62]. Les différentes étapes adoptées pour la réalisation de cette solution sont les suivantes en tenant compte de certaines règles de base :

- On reporte chaque anion et cation selon les quantités contenues dans l'eau exprimées en még / l.
- Apport d'azote est fixé à 12 még / l

{	10,2 még / l NO ₃ ⁻ représentant 85%
	1,8 még / l NH ₄ ⁺ représentant 15%
- Apport de chlore et de sodium étant au-delà des besoins normaux des plantes (0,2 még / l) aucun apport complémentaire n'est nécessaire.

La quantité d'acide nécessaire pour ajuster le pH de l'eau 5,5 à 5,8 est de 3,3 még/l. Ceci permet de satisfaire la totalité des besoins en phosphore en apportant 1,1 még / l de H₃PO₄, et un apport partiel de 2,2 még/l de NO₃⁻.

- A ce niveau, on fait le bilan des anions restant à introduire dans la solution nutritive:
 - Nitrate :
 - Besoins: 10,2 még / l ;

- Déjà disponibles: $0,35 \text{ méq/l (eau)} + 2,2 \text{ méq/l (apport HNO}_3) = 2,55 \text{ méq/l}$;
- A apporter: $10,2 \text{ méq/l} - 2,55 \text{ méq/l} = 7,65 \text{ méq/l}$.

- Sulfate :

- Besoins : $1,5 \text{ meq/l}$
- Déjà disponibles: $0,8 \text{ méq/l (eau)}$
- A apporter: $1,5 \text{ méq/l} - 0,8 \text{ méq/l} = 0,7 \text{ méq/l}$.
- L'apport d'ammonium ($1,8 \text{ méq/l}$ de NH_4^+) est assuré par l'emploi de NO_3NH_4 qui assurera en même temps l'apport de $1,8 \text{ méq/l}$ de NO_3^- .
- Les anions disponibles pour apporter un complément de K, Ca et Mg sont les suivants :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Nitrates} = 7,65 \text{ méq/l} \\ \text{Sulfates} = (1,5 - 0,8) = 0,70 \text{ méq/l} \end{array} \right\} \text{Total} = 6,55 \text{ méq/l}$$

- Somme totale des cations K, Ca et Mg dans la solution nutritive finale :

$$\left\{ \begin{array}{l} (\text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}) \text{ déjà présents dans l'eau} \\ + \\ (\text{K} + \text{Ca} + \text{Mg}) \text{ apportés sous forme de nitrates et de sulfates.} \end{array} \right.$$

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

Les proportions relatives de ces 3 éléments doivent être dans les proportions suivantes :

K : 39,6%

Ca : 47,6%

Mg : 12,8%

Ce qui donne dans le cas présent :

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

On remarque que le Mg dans l'eau est supérieur à $1,43 \text{ meq/l}$ avec une teneur de $1,8 \text{ meq/l}$. de ce fait aucun apport en Mg n'est réalisé.

L'apport de Mg n'étant pas nécessaire compte tenu que : la teneur de l'eau est supérieure à l'apport souhaitable. Les 11,15 méq / l – 1,8 méq / l (Mg) = 9,35 méq/l Il d'anions sont donc à partager entre K et Ca uniquement et en respectant les proportions $K^+ Ca = 87,2\%$ soit :

$$K = (9,35 \times 39,6) / 87,2 = 4,25 \text{ meq / l}$$

$$Ca = (9,35 \times 47,6) / 87,2 = 5,10 \text{ meq / l}$$

Tous les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau 9 : Eau de Blida corrigée (Solution nutritive standard en meq/l) Témoin pH = 5,8.

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
K ⁺ 00	3,55		0,70		4,25
Na ⁺ 1,30					1,30
Ca ⁺⁺ 2,80	2,30				5,10
Mg ₂ ⁺⁺ 1,80					1,80
NH ₄ ⁺ 00	1,80				1,80
H ⁺	2,20	1,10			3,30
Total	10,20	3,30	1,50	0,60	

Les différents traitements sont élaborés à base de solutions mères de macroéléments puis diluées au moment de la préparation de la solution prête à l'utilisation. Un certain ordre de dissolution est respecté afin d'éviter toute précipitation et ceci en commençant par les produits à fonction acide et les plus solubles, ensuite on rajoute au fur et à mesure les autres produits. En dernier lieu, nous avons rajouté une solution d'oligoéléments composée des deux solutions complémentaires d'oligoéléments préconisées par [74]. Le contrôle de pH de la conductivité électrique est obligatoire avant chaque utilisation.

Quantités et ordre de dissolution des sels de la solution nutritive élaborée avec l'eau de Blida (Solution standard) :

$$-\text{HNO}_3^- = 2,20 \times 63 = 138,60 \text{ mg/l}$$

$$-\text{H}_3\text{PO}_4 = 1,10 \times 98 = 107,80 \text{ mg/l}$$

$$-\text{KNO}_3 = 3,55 \times 101,10 = 358,90 \text{ mg/l}$$

$$-\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1,80 \times 80,04 = 144,07 \text{ mg/l}$$

$$-\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 2(\text{H}_2\text{O}) = 2,30 \times 118,07 = 271,56 \text{ mg/l}$$

$$-\text{K}_2\text{SO}_4 = 0,70 \times 87 = 60,90 \text{ mg/l}$$

$$-\text{Sels de l'eau de Blida} = 433,90 \text{ mg/l.}$$

$$-\text{Oligo éléments A et B} = 14,80 \text{ mg/l.}$$

$$\text{Total} = 1530,37 \text{ mg/l soit } 1,53 \text{ g/l.}$$

6.5.2.2. Préparation de la solution saline naturelle (ST1)

Tableau 10 : Eau de Gassi Touil ST1 naturelle, reconstituée avec l'eau de Blida en meq/l pH=7,8

Eau de Blida	NO ₃ ⁻ 0,35	PO ₄ ³⁻ 00	SO ₄ ²⁻ 0,80	Cl ⁻ 0,60	Total
K ⁺ 00	0,20			0,30	0,50
Na ⁺ 1,30			9,35	5,85	16,05
Ca ⁺⁺ 2,80				6,30	9,10
Mg ²⁺⁺ 1,80			6,60		8,42
NH ₄ ⁺ 00					00
HCO ₃ 4,08					2,20
Total	0,55	00	16,75	13,05	

Quantité et ordre de dissolution de la solution saline naturelle (ST1) :

- KNO₃ = 0,20 × 101 = 20,20 mg/l.
- KCl = 0,30 × 74,50 = 22,35 mg/l
- Na₂SO₄ = 9,35 × 71 = 663.85 mg/l
- NaCl = 5,85 × 58,44 = 341,87 mg/l
- CaCl₂·2(H₂O) = 6,30 × 73,50 = 463,05 mg/l
- MgSO₄ (7H₂O) = 6.60×123 = 811.80 mg/l

- Quantité dans l'eau de Blida = 433,90 mg/l
- Total = 2757,024mg/l soit 2,75 g/l

6.5.2.3. Préparation de la solution saline partiellement corrigée (ST1H)

Tableau 11 : Eau de Gassi Touil ST1 naturelle acidifiée, reconstituée avec l'eau de Blida en meq/l pH = 5,5

Eau de	NO ₃ ⁻ 0,35	PO ₄ ³⁻ 00	SO ₄ ²⁻ 0,80	Cl ⁻ 0,60	Total
K ⁺ 00	0,20			0,30	0,50
Na ⁺ 1,30			9,35	5,85	16,05
Ca ⁺⁺ 2,80				6,30	9,10
Mg ²⁺⁺ 1,80			6,60		8,42
NH ₄ ⁺ 00					00
H ⁺	3,30				3,30
Total	3,85	00	16,75	13,05	

Quantité et ordre de dissolution de l'eau de Gassi Touil ST1 naturelle acidifiée (ST1H) :

- HNO₃ (20%) = 3,30 × 63,01 = 207,93 mg/l
- KNO₃ = 0,20 × 101 = 20,20 mg/l
- KCl = 0,30 × 74,5 = 22,35 mg/l
- Na₂SO₄ = 9,35 × 71 = 663,85 mg/l
- NaCl = 5,85 × 58,44 = 341,87 mg/l
- CaCl₂ (2H₂O) = 6,30 × 73,50 = 463,05 mg/l
- MgSO₄ (7H₂O) = 6,60 × 123 = 811,80 mg/l
- Quantité dans l'eau de Blida = 433,90 mg/l
- Total = 2964,957 mg/l soit 2,96 g/l

6.5.2.4. La préparation de la solution saline partiellement corrigée + Oligo-éléments (ST1HOE)

Quantité et ordre de dissolution de la solution saline partiellement corrigée + Oligo-éléments (Annex 17) :

- HNO_3 (20%) = $3,30 \times 63,01 = 207,93$ mg/l
- $\text{KNO}_3 = 0,20 \times 101 = 20,20$ mg/l
- $\text{KCl} = 0,30 \times 74,50 = 22,35$ mg/l
- $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 9,35 \times 71 = 663,85$ mg/l
- $\text{NaCl} = 5,85 \times 58,44 = 341,87$ mg/l
- CaCl_2 (2H₂O) = $6,30 \times 73,5 = 463,05$ mg/l
- Mg SO_4 (7H₂O) = $6,60 \times 123 = 811,8$ mg/l
- Quantité dans l'eau de Blida = 433,9 mg/l
- Oligo-elements A+B = 14,80 mg/l
- Total = 2979,757 mg/l soit 2,97 g/l

6.5.2.5 Préparation de la solution saline naturelle (ST2) à pH=7,8

Tableau 12 : Eau de Gassi Touil ST2 naturelle, reconstituée avec l'eau de Blida en meq/l pH = 7,8

Eau de Blida	NO_3^- 0,35	PO_4^{3-} 00	SO_4^{2-} 0,80	Cl^- 0,60	Total
K^+ 00			1,95		1,95
Na^+ 1,30			6,97	22,18	30,45
Ca^{++} 2,80				14,10	16,09
$\text{Mg } 2^{++}$ 1,80			5,45		7,25
NH_4^+ 00					00
Hco3 4,08					2,76
Total	0,35	00	15,17	36,88	

Quantité et ordre de dissolution de la solution saline naturelle (ST2) :

- K_2SO_4 (98%) = $1,95 \times 87 = 169,65$ mg/l
- $Na_2SO_4 = 6,97 \times 142 = 989,74$ mg/l
- $NaCl = 22,18 \times 58,45 = 1296,42$ mg/l
- $CaCl_2(2H_2O) = 14,10 \times 73,5 = 1063,35$ mg/l
- $MgSO_4(7H_2O) = 5,45 \times 123 = 670,35$ mg/l
- Quantité dans l'eau de Blida = 433,9 mg/l
- Total = 4596,41 mg/l soit 4,59 g/l

6.5.2.6. Préparation de la solution saline partiellement corrigée (ST2H)

Tableau 13 : Eau de Gassi Touil ST2 naturelle acidifiée, reconstituée avec l'eau de Blida en meq/l pH = 5,5

Eau de	NO_3^- 0,35	PO_4^{3-} 00	SO_4^{2-} 0,80	Cl^- 0,60	Total
K^+ 00			1,95		1,95
Na^+ 1,30			6,97	22,18	30,45
Ca^{++} 2,80				14,10	16,09
Mg^{2++} 1,80			5,45		7,25
NH_4^+ 00					00
H^+	3,30				3,30
Total	3,65	00	15,17	36,88	

Quantité et ordre de dissolution de la solution saline partiellement corrigée (ST2H) :

- HNO_3 (20%) = $3.30 \times 63,01 = 207,93$ mg/l
- K_2SO_4 (98%) = $1,95 \times 87 = 169,65$ mg/l
- $Na_2SO_4 = 6,97 \times 142 = 989,74$ mg/l
- $NaCl = 22,18 \times 58,45 = 1296,421$ mg/l
- $CaCl_2(2H_2O) = 14,1 \times 73,5 = 1063,35$ mg/l
- $MgSO_4(7H_2O) = 5,45 \times 123 = 670,35$ mg/l
- Quantité dans l'eau de Blida = 433,9 mg/l
- Total = 4804,34 mg/l soit 4,80 g/l

6.5.2.7. Préparation de la solution saline partiellement corrigée +Oligo-éléments (ST2HOE) :

Quantité et ordre de dissolution de la solution saline partiellement corrigée + Oligo-éléments (Annex 17):

- HNO_3 (20%) = $3,30 \times 63,01 = 207,93$ mg/l
- K_2SO_4 (98%) = $1,95 \times 87 = 169,65$ mg/l
- $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 6,97 \times 142 = 989,74$ mg/l
- $\text{NaCl} = 22,18 \times 58,45 = 1296,421$ mg/l
- CaCl_2 (2H₂O) = $14,10 \times 73,5 = 1063,35$ mg/l
- MgSO_4 (7H₂O) = $5,45 \times 123 = 670,35$ mg/l
- Oligo-elements A+B = 14,8 mg/l
- Quantité dans l'eau de Blida = 433,90 mg/l
- Total = 4819,14 mg/l soit 4,81 g/l

6.6. Entretien des cultures

Les cultures du haricot et de la tomate ont nécessité des opérations d'entretien suivantes :

6.6.1. Irrigation

Le système d'irrigation adopté est celui de la percolation à circuit ouvert permettant l'évacuation de l'eau en excès.

Les doses et les fréquences des arrosages varient selon le cycle de développement de la plante et les conditions microclimatiques de la serre telle que la température et selon les phases physiologiques des plantes.

Tableau 14 : Doses et fréquences d'irrigation appliquées pour la culture de haricot

Date	Stade végétatif	Dose d'irrigation par plant	Fréquence des apports
Du 07/01/2016 au 24/01/2016	Germination au stade trois feuilles	20ml	3 fois/ jours
Du 25/01/2016 au 28/01/2016	Stade trois feuilles au début floraison	30ml	3 fois/ jours
Du 29/01/2016 au 02/02/2016	Stade début floraison à la formation des gousses	40ml	3 fois/ jours
Du 03/02/20 au 03/03/2016	Formation des gousses à la récolte	60ml	3 fois/ jours

Tableau 15 : doses et fréquences d'irrigation nécessaire pour la tomate

Date	Stade végétatif	Dose d'irrigation par plant	Fréquence des apports
Du 12/12/2015 au 24/01/2016	Germination au stade quatre feuilles	20ml	3fois / jour
Du 25/01/2016 au 14/02/2016	Stade quatre feuilles au début floraison	50ml	3fois / jour
Du 15/02/2016 au 24/03/2016	Début floraison au début nouaison	100ml	3fois / jour
Du 25/03/2016 au 31/05/2016	Formation des fruits à la récolte	150ml	4fois / jour

6.6.2. Traitements phytosanitaires

Au cours de l'expérimentation, nous avons effectué des traitements préventifs pour écarter toute attaque d'insectes et maladies nuisibles contre les plantes de haricot et de la tomate pour cela nous avons appliqué les traitements suivants :

Tableau 16 : Traitements phytosanitaires utilisés sur les plantes étudiées.

Produit	Dose	Fréquence du traitement
Durban (insecticide) Mancozeb (fongicide)	0,125 g/l 2 g/l	1 fois/ semaine en alternance

6.6.3. Palissage

Malgré que la variété du haricot utilisée dans notre expérimentation est une variété naine, mais à un moment donné, on a remarqué que les plantes avaient tendance à se recourber, ce qui nous a permis de placer des ficelles, permettant de maintenir les plantes dressées. La même technique a été adoptée pour les plantes de la tomate.

6.6.4. Lessivage

Afin d'éliminer les sels non absorbés par les plantes, et d'éviter qu'ils s'accumulent au fond du pot faussant ainsi les concentrations de départ, un lessivage abondant à l'eau a été effectué chaque fin de semaine avec l'eau du robinet et ce à compter de l'application des différents traitements.

6.7. Récolte

Nous avons effectué deux récoltes, pour la culture du haricot, au stade grossissement et allongement des gousses, et ce en dates 25/02/2016 et 03/03/2016.

La récolte de la tomate est effectuée au stade maturité des fruits le 31/05/2016. Il y a lieu de noter qu'un étêtage a été appliqué au-dessus du 2^{ème} bouquet en laissant deux feuilles au-dessus de ce dernier.

6.8. Paramètres étudiés :

6.8.1. Paramètres de croissance :

6.8.1.1. Hauteur moyenne finale des plantes [cm] :

Cette mesure a été effectuée au moment de la coupe finale, en fin de cycle végétatif des deux espèces à l'aide d'une règle graduée.

6.8.1.2. Diamètre moyen final des tiges des plantes [mm] :

Le principe consiste à mesurer le diamètre des tiges à chaque coupe à l'aide d'un pied à coulisse et ce au niveau de tous les plants expérimentés, des deux espèces testées.

6.8.1.3. Nombre moyen de feuilles par plante

Le principe consiste à faire un comptage des feuilles de chaque plante, et pour chacun des traitements, et ce à la coupe finale des plantes des deux espèces étudiées.

6.8.2. Statut hydrique :

6.8.2.1. Teneur moyenne en eau :

- L'hydratation des plantes a été estimée par la teneur en eau des parties aériennes en $\% = \frac{PF - PS}{PS} \times 100$

PF= poids frais, PS= poids sec déterminé après séjour de 48 heures à l'étuve à 75°C jusqu'à stabilité du poids sec.

6.8.2.2 Biomasse fraîche moyenne produite [g] :

Ce paramètre consiste à peser les différents organes (tige, feuille, racine) de la plante en gramme, à l'aide d'une balance et ce au niveau de tous les plants de chacun des traitements.

6.8.2.3 Biomasse sèche moyenne produite [g] :

La biomasse sèche a été mesurée après le dessèchement des poids frais des tiges, des feuilles, des racines, de chaque traitement et pour chacun des plants et ce dans une étuve à 75°C jusqu'à la stabilité du poids sec.

6.8.2.4. Rapport biomasse sèche des racines / biomasse sèche des parties

aériennes (R/PA) : C'est le rapport de la biomasse sèche des racines rapporté à celle des parties aériennes.

6.8.3. Paramètres de production

6.8.3.1. Nombre moyen de fleurs par plante

Ce principe consiste à faire un comptage du nombre de fleurs apparues en cours de culture des deux espèces étudiées.

6.8.3.2. Nombre moyen de fruits par plante

Le nombre des fleurs nouées ou transformées en gousses pour le haricot et en fruit pour la tomate.

6.8.3.3. Production moyenne par plante en [g] :

6.8.3.4. Classification des fruits et gousses.

Pour le haricot nous avons classé les gousses en deux classes :

- Classe (A) gousses > 12 cm.
- Classe (B) gousses comprises entre 6 cm et 12 cm.

Pour la tomate nous avons classé les fruits en 4 classes

- Classe (A) fruits dont le calibre est < 47 cm
- Classe (B) fruits dont le calibre est compris entre [47 - 57] cm
- Classe (C) fruits dont le calibre est compris entre [57 - 67] cm
- Classe (D) fruits dont le calibre est [67 - 77] cm

6.8.4. Paramètres de qualité des fruits

6.8.4.1. Teneurs moyenne en sucres totaux des fruits de tomate

La détermination de la teneur en sucre totaux des fruits est réalisée à l'aide d'un réfractomètre. Le principe de cette opération est basé sur la mise d'une gouttelette de jus de tomate dans le refractomètre puis passer à la lecture directe.

6.8.4.2. Teneurs moyenne en vitamine "C" des fruits de tomate :

La teneur en vitamine "C" dans les fruits de tomate est déterminée comme suit :

- Une quantité de 10g de fruits frais est réduite en pâte
- Ajouter 50 ml d'acide chlorhydrique (HCl 2%)
- Laisser en repos pendant 10 minutes.
- Faire filtrer le mélange dans un bécher de 100 ml

La détermination de la vitamine c est passée par deux étapes :

1^{ère} Etape :

- Prélever 10ml d'extrais filtrée et mettre dans un erlenmeyer,
- Ajouter 30ml d'eau distillée
- Ajouter 1ml de solution d'iodure de potassium (KI 1%)
- Additionner 2 ml de solution d'amidon 5%.
- La solution obtenue est titrée à l'iodate de potassium (KIO₃ N/1000) jusqu'à l'apparition d'une coloration bleu

- Mesurer le volume en ml d'iodure de potassium (KI) utilisé pour le titrage de la solution à titrer

2^{ème} Etape :

On réalise un témoin dans les mêmes conditions. Les 10 ml d'extraits sont remplacées par une quantité égale d'acide chlorhydrique 2%

$$X = \frac{N.V_1 - 0.88}{G.V_2} \times 100 \text{ ou } \left\{ \begin{array}{l} \bullet X : \text{mg d'acide ascorbique /g de produit à l'analyse} \\ \bullet N : \text{volume d'iodate de potassium résultant de la différence entre le 1^{er} titrage et le titrage témoin} \\ \bullet V_1 : \text{volume total d'extrait obtenu pour analyse} \\ \bullet V_2 : \text{volume initial d'extrait soumis à l'analyse} \\ \bullet G : \text{quantité de produit analysé} \end{array} \right.$$

6.8.4.3. Acidité du jus des fruits de

- Mode d'opérateur :
- Moudre la tomate fraîche
 - Prendre 5 à 30g de jus
 - Ajouter 100ml d'eau distillée bouillante
 - Filtrer et compléter à 200ml
 - Centrifuger la solution finale obtenue

- Dosage :
- Prélever 100ml du surnagent
 - Ajouter 3 à 4 gouttes de phénolphaléine
 - Titrer à la soude (NaOH) N/10

- Expression des résultats :
- $$N_1 \cdot V_1 = N_2 \cdot V_2$$
- g d'acide citrique / 100g de jus
 - g d'acide citrique / kg de fruit frais
 - g d'acide malique / 100g de jus
 - g d'acide malique / kg de fruit frais

$$N_1 = \frac{N_2 \cdot V_2}{V_1} \text{ où } \left\{ \begin{array}{l} \bullet N_2 : \text{la normalité de la soude utilisée pour le titrage} = 0.1 \\ \bullet \text{Volume de soude versé en [ml] pendant le titrage} \\ \bullet \text{Volume de surnagent prélevée} = 100 \text{ ml} \end{array} \right.$$

6.8.5. Paramètres physiologiques :

6.8.5.1 Teneur en proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par [119]. Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon.

La méthode consiste à :

- Mettre 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 :

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

dessous du collet et traitées selon les méthodes conventionnelles et colorées au carmin vert d'iode.

6.8.5.2. Dosage de la chlorophylle :

Le dosage de la Chlorophylle (A) et (B) a été réalisé durant le stade végétatif des plantes des deux espèces, sur les feuilles médianes de la tomate, et du haricot, en utilisant 3 répétitions pour chacun des traitements.

L'extraction de la chlorophylle (A) et (B) a été réalisé selon la méthode de [117] La méthode d'extraction consiste à une macération des feuilles (0.1g) dans 10 ml d'un mélange de l'acétone et de l'éthanol (75 % et 25%) de volume et de (80% et 40%) de concentration.

Les feuilles sont coupées en petits morceaux et mises dans les boites noires (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière). Après 48h, on procède à la lecture des densités optiques des solutions avec un spectrophotomètre(UV), à trois longueurs d'ondes : (470, 645et 663 nm).

La détermination des teneurs en chlorophylle est faite 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 solution extraite et W le poids de matière fraîche de l'échantillon

6.8.5.3. Dosage des sucres solubles :

Nous avons procédé au dosage des sucres solubles dans les feuilles des plantes selon la méthode de [118]. L'extraction des sucres solubles s'est faite comme suit :

- Mettre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai
- Ajouter 2 ml d'éthanol à 80%.
- Laisser les tubes fermés au repos pendant 48h.
- Faire évaporer l'alcool en mettant les tubes à essai dans un bain Marie à 70°C.

Après refroidissement :

- Ajoute 20 ml d'eau distillée dans chaque tube à essai.
- Prendre 1 ml de la solution
- Ajouter 1 ml de phénol à 5 % et bien agiter.
- Ajouter 5 ml d'acide sulfurique concentré, dans chaque tube à essai
- Passer au vortex,
- Laisser au repos pendant 10mn
- Passer au bain Marie pendant 15 mn à 30°C.
- Procéder à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 490 nm.

La détermination de la teneur des sucres solubles est réalisée selon la formule :
Sucres solubles ($\mu\text{g/g MF}$) = $DO_{490} \times 1.657$.

6.8.6. Observations anatomiques des tiges et des racines des plantes de tomate et de haricot :

Les coupes transversales de la tige et de la racine de plantes âgées de 126 jours ont été réalisées à main levée à 1cm au-dessus et en dessous du collet et traitées selon les méthodes conventionnelles et colorées au carmin vert d'iode.

Chapitre 7 :

Résultats et discussions

Les effets des modifications (acidification, ajout d'oligoéléments) des eaux salines reconstituées sur la croissance et le développement de la tomate et du haricot sont présentés ci-dessous.

7.1. Paramètres de croissance et de développement.

7.1.1. Croissance en longueur des tiges en (cm) :

L'analyse de la variance au seuil de 5% montre que le facteur traitement exerce une action significative sur le paramètre mesuré. En effet les résultats obtenus montrent que la croissance en longueur est affectée négativement suite à l'irrigation par les eaux salines étudiées, mais de façon plus marquée pour ST2 que ST1, et ce de façon approximativement similaire chez la tomate et le haricot soit respectivement d'environ -47% et -40% par rapport au témoin.

Tableau 17 : Variation de la hauteur moyenne finale des plantes en % :

	Témoin	ST1	ST1H	ST1HOE	ST2	ST2H	ST2HOE
Tomate	92 ± 2,01 a	55,40 ± 0,79 c	76 ± 0,83 b	84,33 ± 1,48 ab	48,67 ± 0,86 d	70,25 ± 1,17 b	76,50 ± 1,25 b
Variation (%) / Témoin	100	- 39,79	- 17,40	- 8,34	- 47,10	- 23,65	- 16,85
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 22,39	+ 9,06	-	+ 23,45	+ 6,8
Haricot	25 ± 0,93 a	14,78 ± 0,69 c	17,39 ± 0,58 b	18,89 ± 0,71 ab	13,33 ± 0,66 d	14,72 ± 0,83 c	16,22 ± 0,79 b
Variation (%) / Témoin	100	- 40,88	- 30,41	- 24,44	- 46,68	- 41,12	- 35,12
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 10,47	+ 5,97	-	+ 5,56	+ 6

L'acidification des eaux salines pour l'irrigation par HNO₃ améliore la croissance en longueur des deux plantes étudiées mais de façon plus marquée chez la tomate (+22 et +23 % au niveau des traitements ST1 et ST2) que le haricot (+10% et 5% pour ST1 et ST2 respectivement) (Figure 14, Tableau 17).

Lorsque les oligo-éléments sont ajoutés aux eaux d'irrigation acidifiées, nous remarquons une amélioration de la croissance en longueur plus marquée pour la

tomate (+9% et +7% pour ST1 et ST2 respectivement), que pour le haricot (+6% pour ST1 et ST2) (Figure 15, Tableau 17).

7.1.2. Croissance en épaisseur des tiges (mm).

L'analyse de la variance au seuil de 5% montre que le facteur traitement exerce un effet remarquable sur le paramètre mesuré. En effet les résultats obtenus montrent que la croissance en épaisseur est également réduite suite à l'irrigation avec les eaux salines reconstituées de façon plus marquée chez le haricot (-40% et -47% respectivement pour ST1 et ST2) que la tomate (-24% et -27% au niveau des traitements ST1 et ST2) par rapport au témoin.

Tableau 18 : Variation de diamètre moyen final des plantes en % :

	Témoin	ST1	ST1H	ST1HOE	ST2	ST2H	ST2HOE
Tomate	7,61 ± 0,23 a	5,81 ± 0,09 c	6,98 ± 0,13 b	7,24 ± 0,10 a	6,52 ± 0,06 b	6,55 ± 0,08 b	7,01 ± 0,21 a
Variation (%) / Témoin	100	- 23,66	- 8,28	- 4,87	- 27,47	- 13,94	- 7,89
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 15,38	+ 3,41	-	+ 13,53	+ 6,05
Haricot	5,32 ± 0,18 a	3,21 ± 0,06 c	3,70 ± 0,15 b	3,94 ± 0,11 b	2,83 ± 0,07 d	3,56 ± 0,13 bc	3,71 ± 0,19 b
Variation (%) / Témoin	100	- 39,67	- 30,45	- 25,94	- 46,81	- 33,09	- 30,27
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 9,22	+ 4,51	-	+ 13,72	+ 2,82

L'acidification des eaux d'irrigation se traduit par une amélioration plus marquée de la croissance en épaisseur chez la tomate (+15% et +13% pour ST1 et ST2 respectivement) que le haricot (+9% et 14% respectivement pour ST1 et ST2) (Figure 16, Tableau 18).

L'ajout d'oligo-éléments aux eaux d'irrigation acidifiées se traduit par un effet favorable sur le diamètre des tiges pour la tomate (+3,5% et 6% au niveau de ST1 et ST2). Pour le haricot, on enregistre des accroissements de (+4,4% et 2,8% au niveau des traitements ST1 et ST2 respectivement) (Figure 17, Tableau 18).

7.1.3. Nombre moyen de feuilles par plante.

Selon les résultats relatifs à l'analyse de la variance, nous remarquons que le facteur traitement au seuil de 5% manifeste un effet significatif sur le paramètre mesuré. En effet, le haricot s'avère encore une fois plus sensible aux eaux

d'irrigation que la tomate. Le nombre de feuilles est réduit de -54% et -21% pour ST1 et de façon plus marquée pour ST2 soit de -59% et -35% pour le haricot et la tomate respectivement par apport au témoin.

L'acidification a permis le développement d'un plus grand nombre de feuilles soit +6% et +12% chez la tomate au niveau des traitements ST1 et ST2 respectivement. Chez le haricot l'augmentation était de +19% et +7% respectivement pour ST1 et ST2) (Figure 18, Tableau 19).

Tableau 19 : Variation du nombre moyen de feuilles par plante % :

	Témoin	ST1	ST1H	ST1HOE	ST2	ST2H	ST2HOE
Tomate 126 j	16 ± 1,58 a	12,67 ± 0,11 c	13,67 ± 0,18 b	15,07 ± 1,01 ab	10,33 ± 0,09 d	12,33 ± 0,91 e	13,57 ± 1,06 b
Variation (%) / Témoin	100	- 20,82	- 14,57	- 5,82	- 35,35	- 22,94	- 15,19
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 6,25	+ 8,75	-	+ 12,41	+ 7,75
Haricot 77j	8 ± 1,12 a	3,67 ± 0,07 c	5,22 ± 0,37 b	6,33 ± 0,69 b	3,33 ± 0,06 c	3,89 ± 0,43 c	4,44 ± 0,63 b
Variation (%) / Témoin	100	- 54,13	- 34,75	- 20,88	- 58,58	- 51,38	- 44,5
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 19,38	+ 13,87	-	+ 7,2	+ 6,88

L'ajout d'oligoéléments aux eaux d'irrigation acidifiées a stimulé la production de feuilles d'environ +9% et +14% pour respectivement la tomate et le haricot pour ST1, pour ST2 l'augmentation était d'environ + 8% et +7% respectivement pour la tomate et le haricot (Figure 19, Tableau 19).

7.2. Estimation du statut hydrique des organes des plantes.

7.2.1. Biomasse moyenne produite par plante.

7.2.1.1. Biomasse moyenne fraîche par plante (g).

Nous remarquons d'après les résultats obtenus que le facteur traitement induit une action remarquable au seuil de 5% sur le paramètre mesuré. D'une manière générale les eaux d'irrigation salines reconstituées réduisent la production de biomasse fraîche d'une manière plus marquée pour ST2 que ST1, le haricot que la tomate et les parties aériennes que la partie racinaire (Figure 20, Tableau 20).

L'acidification des eaux d'irrigation améliore la biomasse fraîche aérienne et racinaire ce paramètre de façon plus importante chez la tomate. L'accroissement

pour les parties aériennes et racinaires est environ +28% et +34% respectivement au niveau du ST1H. Le haricot manifeste des accroissements de +22% et +28% respectivement au niveau des parties aériennes et racinaires. A l'inverse c'est le haricot qui présente la meilleure amélioration au niveau du ST2 avec +23% et +28% respectivement au niveau des parties aériennes et racinaires, alors que pour la tomate on enregistre un accroissement de +17% et +20% respectivement au niveau des parties aériennes et racinaires des plantes (Figure 20, Tableau 20).

Tableau 20 : Variation de la biomasse moyenne fraîche de la partie aérienne et racinaire en (%).

		Témoin	ST1	ST1H	ST1HOE	ST2	ST2H	ST2HOE
Tomate	Partie aérienne	159,1 ± 4,13 a	61,48 ± 1,24 d	106,22 ± 2,11 b	122,07 ± 3,03 b	51,04 ± 1,48 e	78,84 ± 0,42 c	89,28 ± 1,14 b
	Variation (%) / Témoin	100	- 61,36	- 33,33	- 23,27	- 67,2	- 50,54	- 43,88
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 28,03	+ 10,06	-	+ 16,66	+ 6,66
	Partie Racinaire	57,44 ± 2,21 a	24,69 ± 1,34 d	45,18 ± 1,09 b	50,12 ± 1,06 a	18,85 ± 1,42 e	30,51 ± 1,03 c	36,54 ± 1,23 c
	Variation (%) / Témoin	100	- 57,02	- 21,34	- 12,74	- 67,18	- 46,88	- 36,39
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 33,68	+ 8,6	-	+ 20,3	+ 10,49
Haricot	Partie aérienne	67,13 ± 2,01 a	21,35 ± 1,03 c	36,18 ± 0,02 b	38,03 ± 0,04 b	16,84 ± 0,41 d	32,42 ± 1,60 b	35,04 ± 1,40 b
	Variation (%) / Témoin	100	- 68,2	- 46,1	- 43,35	- 74,94	- 51,71	- 47,8
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 22,1	+ 2,75	-	+ 23,23	+ 3,91
	Partie Racinaire	26,37 ± 1,03 a	10,46 ± 0,08 d	17,78 ± 0,86 b	19,05 ± 0,31 b	8,04 ± 0,07 e	15,51 ± 0,61 c	16,78 ± 0,93 b
	Variation (%) / Témoin	100	- 60,33	- 32,57	- 27,76	- 69,51	- 41,18	- 36,37
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 27,76	+ 4,81	-	+ 28,33	+ 4,81

L'addition des oligo-éléments aux eaux acidifiées a tout de même permis de mettre en évidence un comportement différent au niveau des deux espèces étudiées. En effet chez la tomate, cette amélioration a été peu importante pour ST1 soit 10% et 9% pour les parties aériennes et racinaires, contre 6,5% et 10,5% respectivement au niveau du traitement ST2. Chez le haricot l'amélioration pour le ST1 était de +22% et 28% respectivement au niveau des parties aériennes et

racinaires, sans grande variation au niveau du traitement ST2 (Figure 21, Tableau 20).

7.2.1.2. Biomasse moyenne sèche par plante (g).

L'analyse de la variance au seuil de 5%, montre que le facteur traitement exerce une action remarquable sur le paramètre mesuré. En effet, les deux espèces étudiées ont montré un comportement différent concernant la production de biomasse sèche aussi bien vis-à-vis de l'irrigation par ST1 que ST2, et ce en réponse à l'acidification de ces eaux et à l'ajout des oligoéléments aux eaux acidifiées.

Tableau 21 : Variation de la biomasse moyenne sèche de la partie aérienne et racinaire en (%) :

		Témoin	ST1	ST1H	ST1HOE	ST2	ST2H	ST2HOE
Tomate	Partie aérienne	18,94 ± 3,42 b	15,44 ± 0,64 c	22,40 ± 1,11 a	23,15 ± 1,97 a	14,24 ± 1,20 d	18,65 ± 1,31 b	19,75 ± 2,10 b
	Variation (%) / Témoin	100	- 18,48	- 18,27	+ 22,23	- 24,82	- 1,53	+ 4,28
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 0,21	+ 40,5	-	+ 23,29	+ 5,81
	Partie racinaire	1,50 ± 0,002 c	1,85 ± 0,01 b	2,26 ± 0,09 a	2,29 ± 0,06 a	1,57 ± 0,007 c	2,20 ± 0,06 a	2,19 ± 0,03 a
	Variation (%) / Témoin	100	+ 23,33	+ 50,67	+ 52,67	+ 4,67	+ 46,62	+ 46
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 27,34	- 2	-	+ 41,95	- 0,62
Haricot	Partie aérienne	6,73 ± 1,62 a	3,24 ± 0,04 c	4,09 ± 0,03 b	3,98 ± 0,08 b	3,24 ± 0,12 c	4,20 ± 0,76 b	4,00 ± 0,20 b
	Variation (%) / Témoin	100	-51,86	- 39,23	- 40,81	- 51,86	- 37,59	- 40,56
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 12,63	- 1,58	-	+ 14,27	- 2,97
	Partie racinaire	2,84 ± 0,02 a	1,60 ± 0,02 c	2,00 ± 0,043 b	2,11 ± 0,02 b	1,40 ± 0,01 d	1,87 ± 0,033 b	1,98 ± 0,073 b
	Variation (%) / Témoin	100	- 43,66	- 29,58	- 25,7	- 50,7	- 34,15	- 30,28
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 14,08	+ 3,88	-	+ 16,55	+ 3,87

Comme pour la biomasse fraîche produite, les eaux d'irrigation souterraines reconstituées ST2 réduisent la production de biomasse sèche d'une manière plus marquée par rapport au traitement chez le ST1, le haricot que la tomate quel que soit l'organe analysé (Figure 22, Tableau 21).

L'acidification des eaux d'irrigation a engendré une augmentation de la biomasse sèche des parties aériennes plus importante au niveau du traitement ST2 pour la tomate (+23%) que le haricot (+14%) (Figure 22, Tableau 21).

Le traitement ST1H manifeste un accroissement important (+12,63%) au niveau des plants de haricot. L'acidification du milieu ST1 reste sans grande importance, puis l'accroissement n'est que de 0,21% au niveau de la partie aérienne des plants de tomate, pour ce qui est de la partie racinaire, le traitement ST2H manifeste l'accroissement le plus élevé environ 42% contre 27,34% au niveau du traitement ST1H. L'accroissement observé chez le haricot est moindre quel que soit le traitement testé et l'organe mesuré.

Chez la tomate, il est remarqué que l'addition des oligo-éléments à l'eau saline ST1HOE a provoqué un accroissement remarquable 22,23% par rapport au traitement témoin et 40,5% par apport à l'acidification. Ces améliorations sont moindres au niveau du traitement ST2HOE (Figure 23, Tableau 21).

Pour ce qui est du haricot, il y a lieu de noter que l'addition des oligo-éléments reste sans grand effet marqué au niveau des traitements testés, néanmoins un léger accroissement de l'ordre de 3,80% est observé par apport à l'acidification.

7.2.2. Rapport biomasse sèche de la partie racinaire/biomasse sèche de la partie aérienne.

Selon les résultats relatifs au rapport de la biomasse sèche de la partie aérienne sur celle de la partie racinaire nous remarquons que le paramètre mesuré est augmenté de + 23,33% et +4 % pour la tomate irriguée respectivement avec les eaux de ST1 et ST2 et ce par apport au témoin (Figure 24, Tableau 22).

Pour ce qui est de l'espèce haricot, l'accroissement par apport au témoin, des eaux salines ST1 et ST2 est moindre que celui observé chez la tomate et plus particulièrement au niveau du traitement ST2.

L'acidification des eaux salines ST1H et ST2H se traduit par une augmentation légèrement supérieure de ce rapport au niveau du ST2H pour la tomate. A l'inverse c'est le haricot qui manifeste l'accroissement légèrement supérieur au niveau du ST1H (Figure 24, Tableau 22). L'ajout d'oligo-éléments aux eaux acidifiées s'est traduit chez la tomate par une augmentation de ce rapport pour ST1HOE de +25%,

et par une régression au niveau du traitement ST2HOE d'environ 3% (Figure 25, Tableau 22).

Tableau 22 : Rapport moyen de la biomasse sèche racinaire / Biomasse sèche aérienne.

	Témoin	ST1	ST1H	ST1HOE	ST2	ST2H	ST2HOE
Tomate 126 j	0,37	0,456	0,471	0,564	0,387	0,551	0,54
Variation (%) / Témoin	100	+ 23,33	+ 27,39	+ 52,67	+ 4,67	+ 48,95	+ 46,00
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 4,57	+ 25,28	-	+ 9,74	- 2,95
Haricot 77j	0,42	0,490	0,490	0,529	0,429	0,449	0,998
Variation (%) / Témoin	100	+ 16,67	+ 16,67	+ 26,19	+ 2,38	+ 7,14	+ 19,00
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 11,32	+ 9,52	-	+ 4,76	+ 11,91

Le haricot manifeste un accroissement du rapport biomasse sèche racinaire / biomasse sèche aérienne de 12% au niveau du traitement ST2HOE et ce par apport au traitement acidifié.

7.2.3. Teneur moyenne en eau des organes des plantes en (%).

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que l'irrigation avec les eaux salines reconstituées ST1 et ST2 a induit une action remarquable au seuil de 5% sur le paramètre mesuré.

Tableau 23 : Variation de la teneur moyenne en eau (%)

		Témoin	ST1	ST1H	ST1HOE	ST2	ST2H	ST2HOE
Tomate	Partie aérienne	88,09	74,88	78,91	81,03	72,09	76,34	77,87
	Variation (%) / Témoin	100	- 15	- 10,42	- 8,01	- 18,16	- 13,66	- 11,60
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 4,58	+ 2,41	-	+ 4,50	+ 2,06
	Partie Racinaire	89,69	76,33	80,11	81,03	74,09	75,34	76,96
	Variation (%) / Témoin	100	- 14,9	- 10,68	- 9,66	- 17,39	- 16,00	- 14,19
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 3,41	+ 1,02	-	+ 1,39	+ 1,81
Haricot	Partie aérienne	89,97	84,82	88,70	89,53	80,76	87,05	88,58
	Variation (%) / Témoin	100	- 5,72	- 1,41	- 0,49	- 10,24	- 3,25	- 1,55
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 4,31	+ 0,92	-	+ 6,99	+ 1,70
	Partie Racinaire	89,27	84,70	88,75	88,92	82,59	87,94	88,20
	Variation (%) / Témoin	100	- 5,12	- 0,58	- 0,34	- 7,48	- 1,49	- 1,15
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 4,54	+ 0,24	-	+ 5,99	+ 0,34

En effet, la réduction de l'hydratation est plus importante au niveau du traitement ST2 par comparaison à ST1 notamment chez la tomate par apport à

haricot. Dans les parties aériennes, la teneur en eau a accusé une baisse de -15 % et -18 % au niveau des traitements ST1 et ST2 chez la tomate, et des régressions -6% et -10% au niveau de ST1 et ST2 chez le haricot et ce par apport au témoin (Figure 26, Tableau 23).

L'acidification des eaux salines d'irrigation a permis dans les parties aériennes une légère amélioration de leur teneur en eau pour le haricot (+4% et +7% au niveau des traitements ST1 et ST2), et chez la tomate (+5% et +3% pour ST1 et ST2) et ce par apport aux traitements salins naturels (Figure 27, Tableau 23).

L'ajout des oligo-éléments aux eaux acidifiées ne s'est pas manifesté grandement dans les parties aériennes. Un léger accroissement est observé au niveau des espèces cultivées (Figure 27, Tableau 23).

7.3. Paramètres de production mesurés.

7.3.1. Nombre moyen de fleurs.

L'analyse de la variance au seuil de 5%, montre que le facteur traitement exerce un effet remarquable sur le paramètre mesuré. En effet, les deux espèces étudiées se comportent différemment au stade floral suite à l'irrigation par les eaux salines reconstituées. Qui s'est traduit par une réduction de la production florale beaucoup plus importante chez la tomate (-44,50% et -29 % au niveau de ST1 et ST2) par rapport au haricot environ -18% et -34% au niveau des traitements ST1 et ST2 respectivement (Figure 28, Tableau 24).

Tableau 24 : Variation du nombre moyen de fleurs en (%)

	Témoin	ST1	ST1H	ST1HOE	ST2	ST2H	ST2HOE
Tomate	32,15 ± 0,25 b	17,84 ± 0,41 e	28,38 ± 0,32 c	27,54 ± 0,14 c	22,84 ± 0,17 d	34,82 ± 0,54 a	31,08 ± 0,13 b
Variation (%) / Témoin	100	- 44,51	- 11,73	- 14,34	- 28,96	+ 8,3	- 3,33
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 32,78	- 2,61	-	+ 37,26	- 4,97
Haricot	39,40 ± 0,19 b	32,54 ± 0,25 c	42,89 ± 0,82 a	44,15 ± 0,45 a	25,91 ± 0,13 d	26,98 ± 0,10 d	35,93 ± 0,29 b
Variation (%) / Témoin	100	- 17,41	+ 8,86	+ 12,06	- 33,24	- 31,52	- 8,81
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 26,27	+ 3,20	-	+ 1,72	+ 22,71

L'acidification des eaux salines d'irrigation a l'inverse provoque une stimulation de l'induction florale plus importante chez la tomate (+33% et +37% au niveau des

traitements ST1 et ST2 respectivement) par rapport à l'espèce haricot qui n'enregistre que +26,27% et +1,72% pour respectivement ST1 et ST2 (Figure 28, Tableau 24).

L'addition des oligo-éléments aux eaux d'irrigation acidifiées n'a pas eu un effet sur la production de fleurs chez la tomate (-3% et -5% au niveau des traitements ST1 et ST2 respectivement) mais chez le haricot nous avons remarqué un accroissement remarquable au niveau du traitement ST2 qui est de l'ordre de 23% comparativement au ST1 qui enregistre un gain de 3,20% (Figure 29, Tableau 24).

7.3.2. Nombre moyen de fruits par plante.

Selon les résultats relatifs à l'analyse de la variance, nous remarquons que le facteur traitements au seuil de 5% manifeste un effet significatif sur le paramètre mesuré. L'irrigation avec les eaux salines de Gassi Touil reconstituées s'est traduite par une diminution importante du nombre de fruits par plante chez la tomate, comparativement au haricot (Figure 30, Tableau 25).

Tableau 25 : Variation du nombre moyen de fruits en (%).

	Témoin	ST1	ST1H	ST1HOE	ST2	ST2H	ST2HOE
Tomate	28 ± 0,11 a	9,00 ± 0,01 d	19,00 ± 0,03 c	19,00 ± 0,03 c	9,00 ± 0,01 d	23,00 ± 0,02 b	23,00 ± 0,02 b
Variation (%) / Témoin	100	- 67,86	- 32,14	- 32,14	- 67,86	- 17,86	- 17,86
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 35,72	-	-	+ 50	-
Haricot	30,00 ± 0,23 a	17,00 ± 0,01 c	26,00 ± 0,10 b	29,00 ± 0,12 a	12,00 ± 0,01 d	17,00 ± 0,01 c	23,00 ± 0,16 c
Variation (%) / Témoin	100	- 43,33	- 13,33	- 3,33	- 60,00	- 43,33	- 23,33
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 30	+ 10	-	+ 16,67	+ 20

L'acidification des eaux d'irrigation a permis une augmentation du nombre de fruit plus marquée pour la tomate que le haricot avec un accroissement de 36% par rapport aux deux traitements correspondants ST1 et ST2. L'accroissement est beaucoup moindre chez le haricot et plus particulièrement au niveau du traitement ST2 qui est de l'ordre de 17%.

L'addition des oligo-éléments aux eaux salines acidifiées a engendré une légère amélioration de l'ordre de 20% de la production des gousses chez le haricot et notamment au niveau du traitement ST2 (Figure 31, Tableau 25).

7.3.3. Production de fruits (g).

Nous remarquons d'après les résultats obtenus que le facteur traitement induit une action remarquable au seuil de 5% sur le paramètre mesuré. La production de fruits par plant est réduite par les eaux salines d'irrigation testés, mais de façon plus prononcée chez le haricot (-65% et 77 % au niveau de ST1 et ST2 respectivement) que la tomate (-46,5% et -49 % pour les traitements ST1 et ST2) (Figure 32, Tableau 26).

L'acidification des eaux salines a permis une amélioration plus importante au niveau du ST1 (+27% et 51% pour la tomate et le haricot respectivement) au niveau du traitement, on enregistre des faibles accroissements de ST2 (+8,5% et +15,5% pour respectivement la tomate et le haricot) (Figure 32, Tableau 26).

Tableau 26 : Production moyenne de fruits de tomate et de gousses du haricot (%).

	Témoin	ST1	ST1H	ST1HOE	ST2	ST2H	ST2HOE
Tomate	731,76 ± 50,12 a	391,74 ± 10,06 d	590,86 ± 30,34 b	598,57 ± 41,05 b	374,28 ± 27,73 e	435,82 ± 46,08 c	447,72 ± 34,03 c
Variation (%) / Témoin	100	- 46,47	- 19,25	- 18,2	- 48,85	- 40,44	- 32,82
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 27,22	+ 1,05	-	+ 8,41	+ 7,62
Haricot	113,81 ± 8,60 a	39,58 ± 0,94 d	97,96 ± 1,91 b	121,9 ± 9,04 a	26,62 ± 2,12 e	44,38 ± 3,10 c	90,77 ± 5,09 b
Variation (%) / Témoin	100	- 65,22	- 13,93	+ 7,11	- 76,61	- 61,01	- 20,24
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 51,29	+ 21,04	-	+15,60	+ 40,77

L'apport des oligo-éléments aux eaux salines acidifiées manifeste un effet beaucoup plus bénéfique pour le haricot (+21% et 15,5% au niveau des traitements ST1 et ST2) les accroissements faibles, voire négatifs sont enregistrés pour la tomate (-1% et +1,5% pour les traitements ST1 et ST2) (Figure 33, Tableau 26).

7.3.4. Classification des fruits de tomate et des gousses de haricot.

Nous remarquons d'après les résultats du Tableau 27 que le facteur traitement manifeste un effet remarquable sur le calibre, le nombre et le poids des fruits de tomate.

Tableau 27 : Nombre, Poids et calibre des fruits de tomate en fonction des traitements.

	Paramètre mesuré	Calibre Tomate				TOTAL
		< 47	[47 - 57]	[57 - 67]	[67 - 77]	
ST1	Nombre de fruits	7	2	-	-	9
	Poids de fruits (g)	251,63	140,11	-	-	391,74
ST1H	Nombre de fruits	16	3	-	-	19
	Poids de fruits (g)	343,39	247,47	-	-	590,86
ST1HOE	Nombre de fruits	16	3	-	-	19
	Poids de fruits (g)	333,24	237,32	-	-	570,57
ST2	Nombre de fruits	5	4	-	-	9
	Poids de fruits (g)	131,29	242,99	-	-	374,28
ST2H	Nombre de fruits	21	2	-	-	23
	Poids de fruits (g)	300,79	135,03	-	-	435,82
ST2HOE	Nombre de fruits	21	2	-	-	23
	Poids de fruits (g)	334,79	169,03	-	-	447,72
Témoin	Nombre de fruits	21	6	-	1	28
	Poids de fruits (g)	332,71	339,23	-	59,82	731,76

Le traitement salin ST2 semble affecté légèrement le poids des fruits des tomates.

L'acidification favorise légèrement le poids de fruits au niveau du traitement ST2. La même constatation est à noter, concernant l'addition des oligo-éléments aux traitements salins au niveau du traitement ST2, Nous remarquons une amélioration du nombre de fruits, suivi d'une régression légère du poids de ces dernier.

Tableau 28 : Nombre, Poids et classe des gousses du haricot.

	Classes				TOTAL	
	[6 - 12 cm]		> 12 cm		Nombre	Poids (g)
	Nombre	Poids (g)	Nombre	Poids (g)		
ST1	15	28.85	2	10.73	17	39,58
ST1H	18	51.9	8	46.06	26	97,96
ST1HOE	20	74.78	9	47.12	29	121,19
ST2	11	22.05	1	4.57	12	26,62
ST2H	14	28.25	3	16.13	17	44,38
ST2HOE	17	60.64	6	30.13	23	90,77
Témoin	21	67.78	9	46.03	30	113,81

L'addition des oligo-éléments au traitement salin ST1 semble favoriser le nombre de gousses compris en 6 cm et 12 cm, suis d'un poids important. Ce constat

reste valable pour le même traitement concernant les gousses supérieures à 12 cm. Le traitement fortement salin ST2 agit négativement sur la longueur et le poids des gousses.

7.4. Paramètres de qualité des fruits de tomate et des gousses de haricot.

7.4.1. Teneur moyenne en sucres totaux des tomates et des gousses.

Selon les résultats relatifs à l'analyse de la variance au seuil 5%, nous remarquons que le facteur traitement manifeste un effet significatif sur le paramètre mesuré. La teneur en sucre totaux des fruits de tomate est diminuée dans les fruits des plantes irriguées par les eaux souterraines reconstituées mais de façon plus marquée chez la tomate (-32% et -49 % pour ST1 et ST2 respectivement).

Le haricot manifeste des régressions moindre (-26,5% et -38 % pour respectivement ST1 et ST2) et ce par rapport au témoin (Figure 34, Tableau 29).

L'acidification des eaux salines d'irrigation a induit une augmentation des sucres totaux des fruits plus prononcée pour ST2 (+31% et +27,5 % au niveau des fruits de tomate et des gousses de haricot que ST1 (+23% et 22% au niveau la tomate et le haricot respectivement) (Figure 34, Tableau 29).

Tableau 29 : Teneur moyenne en sucres totaux des fruits de tomate et des gousses de haricot [%].

	Témoin	ST1	ST1H	ST1HOE	ST2	ST2H	ST2HOE
Tomate	5,90 ± 0,42 a	4,00 ± 0,10 b	5,33 ± 0,32 a	5,51 ± 0,46 a	3,03 ± 0,22 c	4,87 ± 0,13 b	5,01 ± 0,34 a
Variation (%) / Témoin	100	- 32,20	- 9,66	- 6,61	- 48,64	- 17,46	- 15,08
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 22,54	+ 3,05	-	+ 31,18	+ 2,38
Haricot	5,18 ± 0,33 a	3,80 ± 0,20 c	4,93 ± 0,16 b	5,07 ± 0,31 a	3,20 ± 0,11 c	4,63 ± 0,19 b	4,80 ± 0,75 b
Variation (%) / Témoin	100	- 26,64	- 4,83	- 2,12	- 38,22	- 10,62	- 7,34
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 21,81	+ 2,71	-	+ 27,6	+ 3,28

L'ajout des oligo-éléments aux solutions d'irrigation acidifiées a induit une légère augmentation de l'ordre de 2 à 3% quel que soit l'espèce testé (Figure 35, Tableau 29).

7.4.2. Teneur moyenne en vitamine "C".

L'analyse de la variance au seuil de 5%, montre que le facteur traitement exerce un effet remarquable sur le paramètre mesuré.

Tableau 30 : Teneur en vitamine C des fruits de tomate et des gousses de haricot.

Espèce	Témoïn	ST1	ST1H	ST1HOE	ST2	ST2H	ST2HOE
Tomate	28,81 ± 3,3 a	18,38 ± 1,07 d	26,40 ± 2,4 b	28,67 ± 1,9 a	14,43 ± 2,1 e	24,21 ± 3,2 c	26,06 ± 1,5 b
Variation (%) / Témoïn	100	- 36,20	- 8,37	- 0,49	- 49,91	- 15,97	- 9,55
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 27,83	+ 7,88	-	+ 33,94	+ 6,42
Haricot	4,94 ± 0,06 a	1,98 ± 0,01 d	4,31 ± 0,02 b	4,40 ± 0,02 b	1,50 ± 0,01 e	3,81 ± 0,01 c	4,07 ± 0,02 b
Variation (%) / Témoïn	100	- 59,90	- 12,66	- 10,86	- 69,63	- 22,90	- 17,66
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 47,24	+ 1,80	-	+ 46,73	+ 5,24

En effet, l'irrigation par les eaux souterraines reconstituées a eu un impact négatif sur la qualité des fruits et en particulier sur leur teneur en vitamine C, toutefois plus marqué pour ST2 (- 50% et -70% au niveau de la tomate et du haricot) respectivement au niveau du traitement ST1, on enregistre des régressions de l'ordre de (36% et de 60%) pour la tomate et le haricot respectivement (Figure 36, Tableau 30).

L'acidification des eaux salines d'irrigation a induit une amélioration plus marquée de la teneur en vitamine C des gousses de haricot plus importante au niveau de ST1 (+47,24% contre +28 % chez la tomate. Il est de même au niveau du traitement ST2 où le haricot manifeste l'accroissement du taux de vitamine C le plus important (47%) contre (34%) chez la tomate (Figure 36, Tableau 30).

L'addition des oligo-éléments aux solutions salines acidifiées a permis une légère augmentation de leur teneur en vitamine "C" l'accroissement est moindre chez la tomate (+8% et 6,5% au niveau des traitements ST1 et ST2). Pour le haricot l'accroissement moindre (+2% et +5% au niveau du ST1 et du ST2) respectivement et ce par rapport aux traitements acidifiés correspondants (Figure 37, Tableau 30).

7.4.3. Acidité des fruits du jus de tomate.

Selon les résultats relatifs à l'analyse de la variance, nous remarquons que le facteur traitement au seuil de 5% manifeste un effet significatif sur le paramètre

mesuré. En effet, l'acidité titrable du jus de tomate de plantes cultivées sur les eaux souterraines reconstituées s'est traduite par une diminution de l'acidité titrable plus marquée pour ST2 que ST1 soit respectivement -67% et -52% (Figure 38, Tableau 31).

Tableau 31 : Acidité des fruits (g/100g de jus de tomate).

	Témoin	ST1	ST1H	ST1HOE	ST2	ST2H	ST2HOE
Tomate	0,59 ± 0,04 a	0,283 ± 0,006 c	0,493 ± 0,04 b	0,52 ± 0,02 a	0,194 ± 0,005 d	0,40 ± 0,02 b	0,47 ± 0,02 b
Variation (%) / Témoin	100	- 52,03	- 16,44	- 11,86	- 67,12	- 32,20	- 20,44
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 35,59	+4,58	-	+ 34,92	+11,76

L'acidification des eaux salines d'irrigation a favorisé un accroissement de l'acidité titrable +36% et +35% au niveau des traitements ST1 et ST2 respectivement (Figure 38, Tableau 31)

Aussi, l'apport des oligoéléments aux solutions acidifiées a permis une augmentation supplémentaire de +12 % pour ST2 (Figure 38, Tableau 31).

7.5. Paramètres physiologiques mesurés.

7.5.1. Teneur moyenne en proline.

L'analyse de la variance au seuil de 5%, montre que le facteur traitement exerce une action significative sur le paramètre mesuré.

En effet, les teneurs en proline sont plus importantes dans les parties aériennes que les parties racinaires quel que soit l'espèce étudiée.

Tableau 32 : Teneur moyenne en proline [$\mu\text{g/g}$ MF].

		ST1	ST1H	ST1HOE	ST2	ST2H	ST2HOE
Tomate	Feuilles	0,053 \pm 0,001 c	0,075 \pm 0,002 b	0,194 \pm 0,004 a	0,043 \pm 0,001 d	0,05 \pm 0,001 c	0,196 \pm 0,003 a
	Variation (%) / Traitements	-	+ 41,51	+ 266,04	-	+ 114,59	+ 741,20
	Tiges	0,06 \pm 0,001 c	0,079 \pm 0,003 b	0,079 \pm 0,002 b	0,033 \pm 0,001 d	0,05 \pm 0,001 c	0,182 \pm 0,006 a
	Variation (%) / Traitements	-	+ 31,67	+ 31,67	-	+ 117,39	+ 693,3
	Racines	0,022 \pm 0,001 b	0,026 \pm 0,001 a	0,026 \pm 0,001 a	0,026 \pm 0,002 a	0,018 \pm 0,001 c	0,025 \pm 0,002 a
	Variation (%) / Traitements	-	+ 18,18	+ 18,18	-	+ 12,50	+ 56,26
Haricot	Feuilles	0,052 \pm 0,003 c	0,067 \pm 0,004 b	0,072 \pm 0,007 a	0,040 \pm 0,002 d	0,058 \pm 0,002 c	0,062 \pm 0,006 b
	Variation (%) / Traitements	-	+ 28,85	+ 30,46	-	+ 45	+ 55
	Tiges	0,056 \pm 0,001 d	0,089 \pm 0,003 b	0,106 \pm 0,008 a	0,059 \pm 0,001 d	0,066 \pm 0,003 c	0,066 \pm 0,003 c
	Variation (%) / Traitements	-	+ 58,93	+ 89,29	-	+ 11,86	+ 11,86
	Racines	0,027 \pm 0,02 b	0,041 \pm 0,043 a	0,043 \pm 0,002 a	0,024 \pm 0,001 c	0,027 \pm 0,002 b	0,028 \pm 0,002 b
	Variation (%) / Traitements	-	+ 51,85	+ 59,26	-	+ 12,50	+ 16,67

L'acidification des eaux salines d'irrigation a permis une augmentation dans les feuilles de tomate, le taux de proline (+41,5% et +114,5% au niveau des traitements ST1 et ST2). Le haricot enregistre des accroissements moins élevés (+29% et +45% pour respectivement ST1 et ST2) par rapport aux traitements salins naturels (Figure 39, Tableau 32).

L'addition des oligo-éléments aux traitements salins acidifiés a induit une augmentation marquée de la teneur en proline des feuilles encore une fois de plus marquée chez la tomate (+266% et +741% au niveau des traitements ST1 et ST2). Chez le haricot les accroissements sont moindres que la tomate (+30,50 % et +55% au niveau des traitements ST1 et ST2) respectivement et ce par rapport aux traitements acidifiés correspondants (Figure 40, Tableau 32).

Il y a lieu de remarquer que les accroissements des teneurs en proline sont plus importants chez la tomate et plus particulièrement au niveau du traitement salin ST2.

7.5.2. Teneur moyenne en chlorophylles des feuilles.

Nous remarquons d'après les résultats présentés dans le tableau 33 que le facteur traitement induit une action remarquable au seuil de 5% sur le paramètre mesuré.

Les teneurs en chlorophylles (a), (b) et (c) des feuilles sont réduites d'une manière plus marquée au niveau des eaux de ST2 que celles de ST1, beaucoup plus chez le haricot que chez la tomate.

D'une manière générale et chez les deux plantes étudiées, les teneurs en Chl (c) sont plus importantes que celles de la Chl (a) que celles de la Chl (b) (Figure 41, Tableau 33).

Tableau 33 : Teneur moyenne en chlorophylle Chl (a); Chl (b) et Chl (c) [$\mu\text{g/g MF}$] chez la tomate.

		Témoin	ST1	ST1H	ST1HOE	ST2	ST2H	ST2HOE
Tomate	Chl (a) [$\mu\text{g/g MF}$]	1,83 \pm 0,03 a	0,90 \pm 0,01 c	1,55 \pm 0,03 b	1,74 \pm 0,02 ab	0,71 \pm 0,009 d	1,31 \pm 0,02 b	1,49 \pm 0,03 b
	Variation (%) / Témoin	100	- 50,71	- 15,41	- 4,86	- 61,31	- 28,47	- 18,74
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 33,3	+ 10,55	-	+ 32,84	+ 9,73
	Chl (b) [$\mu\text{g/g MF}$]	1,12 \pm 0,02 a	0,81 \pm 0,01 c	1,01 \pm 0,02 b	1,12 \pm 0,01 a	0,66 \pm 0,006 d	0,8 \pm 0,01 c	0,99 \pm 0,03 b
	Variation (%) / Témoin	100	- 27,77	- 9,91	- 0,09	- 41,34	- 21,52	- 11,96
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 17,86	+ 9,82	-	+ 19,82	+ 9,56
	Chl (c) [$\mu\text{g/g MF}$]	11,26 \pm 0,37 a	7,72 \pm 0,11 d	10,02 \pm 0,28 b	11,19 \pm 0,24 a	5,76 \pm 0,07 e	8,79 \pm 0,31 c	9,79 \pm 0,33 b
	Variation (%) / Témoin	100	- 31,43	- 11,01	- 0,62	- 48,88	- 21,94	- 13,03
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 20,42	+ 10,39	-	+ 26,94	+ 8,91

L'acidification des eaux salines d'irrigation, a permis d'observer une augmentation des teneurs en chlorophylles (a) dont la plus marquée a été observée chez le haricot (+42% et +50% au niveau des traitements ST1 et ST2).

Comparativement à la tomate avec environ +33% d'accroissement au niveau des deux stations ST1 et (Figure 41, Tableau 34).

Tableau 34 : Teneur moyenne en chlorophylle Chl (a); Chl (b) et Chl (c) [$\mu\text{g/g MF}$] chez le haricot.

		Témoin	ST1	ST1H	ST1HOE	ST2	ST2H	ST2HOE
Haricot	Chl (a) [$\mu\text{g/g MF}$]	2,07 \pm 0,02 a	0,69 \pm 0,007 c	1,57 \pm 0,02 b	1,8 \pm 0,04 a	0,31 \pm 0,005 d	1,36 \pm 0,03 b	1,59 \pm 0,03 b
	Variation (%) / Témoin	100	- 66,57	- 24,15	- 14,49	- 84,83	- 34,3	- 23,19
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 42,42	+ 9,66	-	+ 50,53	+ 11,11
	Chl (b) [$\mu\text{g/g MF}$]	1,14 \pm 0,01 a	0,55 \pm 0,002 c	0,88 \pm 0,003 b	1,00 \pm 0,01 ab	0,45 \pm 0,006 d	0,74 \pm 0,01 b	0,82 \pm 0,01 b
	Variation (%) / Témoin	100	- 52,19	- 22,98	- 13,42	- 60,96	- 34,74	- 28,33
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 29,21	+ 9,56	-	+ 26,22	+ 6,41
	Chl (c) [$\mu\text{g/g MF}$]	10,37 \pm 0,32 a	6,23 \pm 0,02 c	8,84 \pm 0,18 b	9,60 \pm 0,19 ab	4,97 \pm 0,10 d	7,60 \pm 0,24 b	8,21 \pm 0,16 b
	Variation (%) / Témoin	100	- 39,92	- 17,75	- 7,71	- 52,07	- 26,71	- 20,83
	Variation (%) / Traitements	-	-	+ 25,17	+ 7,04	-	+ 25,36	+ 1,35

L'ajout des oligo-éléments aux eaux d'irrigation acidifiées a favorisé une amélioration moindre aux teneurs en chlorophylle l'accroissement est de l'ordre de +10% par rapport aux traitements acidifiés correspondants et ce au niveau des deux espèce étudiées (Figure 42, Tableau 33-34).

7.5.3. Teneur moyenne en sucres solubles.

Selon les résultats relatifs à l'analyse de la variance, nous remarquons que le facteur traitement au seuil de 5% manifeste un effet significatif sur le paramètre mesuré. En effet, la réduction de la teneur en chlorophylles des feuilles suite à l'irrigation par les eaux salines reconstituées s'est traduite par la réduction de leur teneur en sucres solubles. En effet les teneurs en sucres solubles sont faibles comme pour les chlorophylles de façon plus marquée chez la tomate que le haricot, notamment au niveau du traitement ST2 avec (-48% et -27% respectivement).

Le traitement ST1 manifeste une régression de l'ordre de -31% par rapport au témoin, quel que soit l'espèce étudiée (Figure 43, Tableau 35).

Tableau 35 : Teneur moyenne en sucres solubles [$\mu\text{g/g}$ MF]

	Témoin	ST1	ST1H	ST1HOE	ST2	ST2H	ST2HOE
Tomate 126 j	0,509 \pm 0,04 a	0,35 \pm 0,009 c	0,478 \pm 0,04 b	0,493 \pm 0,01 ab	0,26 \pm 0,007 d	0,405 \pm 0,03 b	0,443 \pm 0,03 b
Variation (%) / Témoin	100	- 31,25	- 6,09	- 3,14	- 48,2	- 20,43	- 12,97
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 25,16	+ 2,95	-	+ 27,77	+ 7,46
Haricot 77j	0,521 \pm 0,03 a	0,361 \pm 0,01 c	0,42 \pm 0,02 b	0,480 \pm 0,02 b	0,38 \pm 0,01 c	0,387 \pm 0,01 c	0,407 \pm 0,05 b
Variation (%) / Témoin	100	- 30,71	- 19,39	- 17,87	- 27,06	- 25,72	- 21,88
Variation (%) / Traitements	-	-	+ 11,32	+ 1,52	-	+ 1,34	+ 3,84

L'acidification a engendré à l'inverse une amélioration remarquable beaucoup plus pour la tomate que le haricot soit respectivement (+25% et +11% au niveau de ST1 et +28% et +1,34% au niveau de ST2) (Figure 43, Tableau 35).

Les teneurs en sucres solubles manifestent une légère augmentation suite à l'addition des oligoéléments, de manière plus marquée pour la tomate que le haricot soit respectivement +3 et 1,5% pour ST1 et +7,50% et 4% pour ST2 (Figure 44, Tableau 35).

7.6. Coupes anatomiques sur les tiges et les racines de tomate et de haricot en fin de cycle.

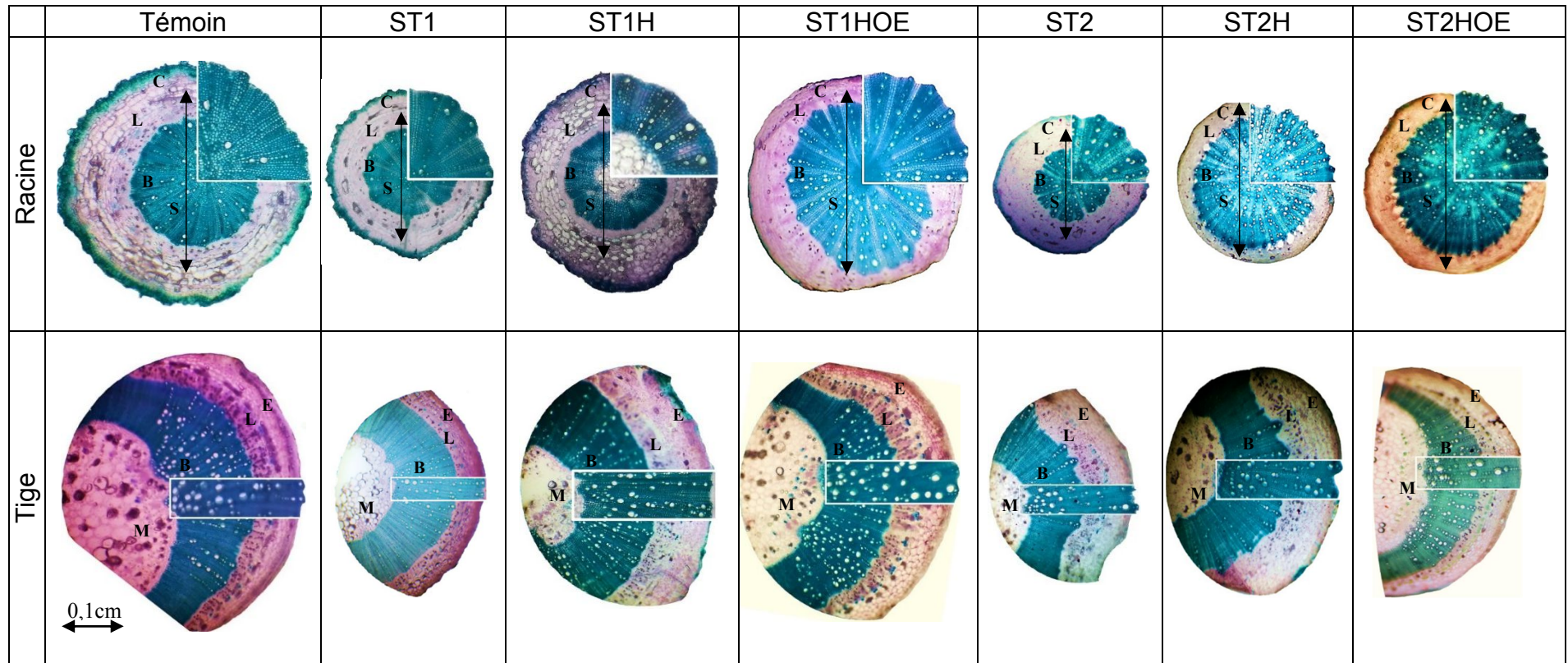
Les modifications morphologiques observées chez les variétés de tomate et de haricot étudiées en réponse à la salinité des eaux d'irrigation et leur modification par acidification et addition des oligoéléments après acidification se traduisent par les changements anatomiques divers.

Chez la tomate, la taille de la stèle, l'importance des tissus vasculaires par rapport au cortex, l'épaisseur du bois et du diamètre des vaisseaux de xylème sont plus réduits en ST2 qu'en ST1 en réponse à la salinité. L'acidification des milieux de culture a permis d'atténuer les effets de la salinité aussi bien dans la tige que la racine, particulièrement dans le xylème secondaire par une augmentation du

nombre de vaisseaux et de leur diamètre permettant un plus large approvisionnement en eau d'où une turgescence permanente des tiges et des racines.

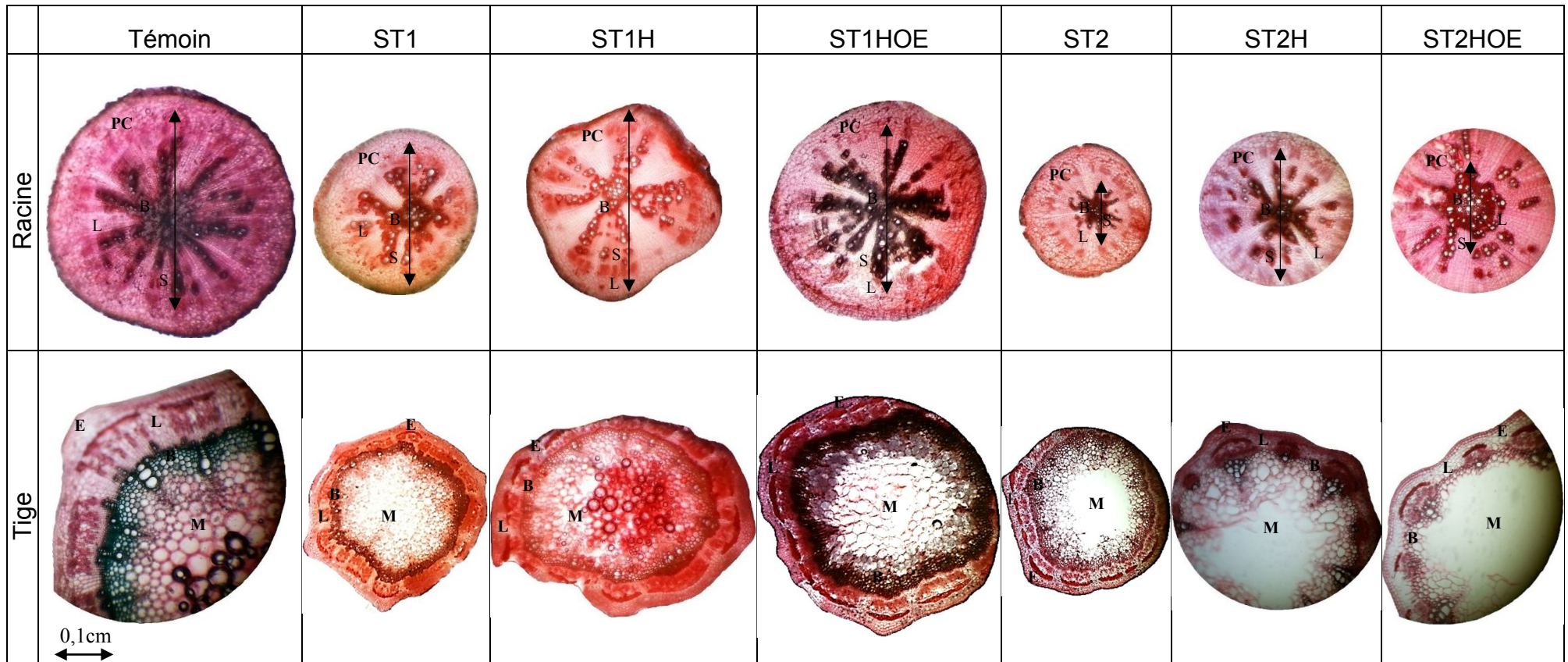
L'ajout des oligoéléments aux eaux d'irrigation acidifiées n'a pas permis l'observation de modifications anatomiques claires par comparaison aux eaux acidifiées (Figure 45).

Chez le haricot, les effets de l'irrigation avec les eaux souterraines recomposées et celles modifiées par acidification et ajout des oligoéléments ne se sont pas traduits par des modifications anatomiques évidentes, probablement en relation avec le cycle de développement relativement plus court (77 jours), par rapport à celui de la tomate qui était de 126 jours (Figure 46).



B : Bois (Xylème secondaire) ; C : Cortex ; E : Epiderme ; L : Liber (phloème secondaire) ; M : Moelle ; S : Stèle.

Figure 45 : Coupes transversales des tiges et des racines de plants de tomate après 126 jours de culture en fonction des différents traitements testés. (G: 10×40).



B : Bois (Xylème secondaire) ; L : Liber (phloème secondaire) ; M : Moelle ; S : Stèle ; PC : Parenchyme cortical.

Figure 46 : Coupes transversales des tiges et des racines de plants du haricot après 77 jours de culture en fonction des différents traitements testés. (G: 10×40).

DISCUSSION GÉNÉRALE

A travers la présentation des différents résultats issus des mesures effectuées sur les deux espèces étudiées, à savoir la tomate espèce moyennement sensible à la salinité, et le haricot espèce sensible à la salinité, on peut en premier lieu dire que la croissance en longueur des deux plantes étudiées, évaluée par la hauteur moyenne finale de la tige, est réduite quel que soit l'espèce suite à leur irrigation par les eaux souterraines de Gassi Touil reconstituées. Cette réduction est moins marquée pour ST1 (-40%) que ST2 (-47%) compte tenu que le milieu plus chargé en sels. Le sel est connu pour affecter la croissance des glycophytes [118] telles que la tomate et le haricot. La réduction de la hauteur des plants de tomate par la salinité a également été observée par [40] et [119].

La croissance en longueur est le résultat de l'activité des méristèmes apicaux dont la taille et les divisions cellulaires diminuent [120], comme conséquence de l'altération de la nutrition minérale de ses régions basales par la salinité [121]. Le sel inhibe également la croissance en longueur des racines de la tomate et du haricot en inhibant l'activité du méristème racinaire sous le contrôle de l'acide abscissique [122] en raison d'une diminution de production des cellules dont la taille diminue [123].

La croissance en épaisseur est aussi affectée par la salinité des eaux d'irrigation. Cette inhibition est plus profonde pour ST2 par comparaison à ST1 et pour le haricot que la tomate. Cette diminution du diamètre moyen final de la tige de la tomate a été également observée par [120].

Les coupes anatomiques des deux espèces ont montré une diminution de l'importance du xylème secondaire et de la taille des vaisseaux aussi bien dans les tiges et que les racines particulièrement chez la tomate beaucoup plus au niveau du traitement ST2. Ceci serait le résultat des effets de la salinité sur l'activité du cambium, du méristème secondaire dont les divisions sont responsables du développement des tissus vasculaires. La différenciation du xylème secondaire est affectée par le sel [125] ainsi que la taille des vaisseaux de xylème [126] dans la racine et la tige [127].

Les Biomasses moyennes fraîches et sèches sont d'une manière générale réduites suite à l'irrigation par les eaux d'irrigation souterraines recomposées. L'effet de ST2 est plus marqué que le ST1, notamment chez le haricot par rapport à la tomate et beaucoup plus au niveau des parties aériennes que racinaires.

Le stress salin est connu pour réduire les biomasses fraîches et sèches des feuilles, des tiges et des racines [127]. Toutefois nous avons observé une augmentation du rapport (racine / partie aérienne) suite à l'irrigation des eaux souterraines recomposées chez les deux espèces étudiées. Le stress hydrique induit par la salinité réduit plus la croissance des parties aériennes que celle des racines, induisant un remodelage de l'architecture de la plante [128] qui est corrélé à la tolérance au sel [129]. Cette observation est courante chez les glycophytes quand elles sont osmotiquement stressées.

La croissance évaluée par la production de biomasse est une mesure indirecte de la photosynthèse nette. La réduction de la production de biomasse est le résultat de l'inhibition de la photosynthèse [130]. La photosynthèse est l'un des premiers processus affectés par la salinité [15] suite à l'altération du métabolisme photosynthétique [131] et de l'ultrastructure du chloroplaste [127].

La réduction de croissance est en partie le résultat d'une moindre production d'assimilats par les feuilles sources. Ceci est la conséquence de plusieurs facteurs dont la réduction de la surface assimilatrice. Nous avons en effet observé une diminution du nombre moyen de feuilles suite à l'irrigation par les eaux souterraines reconstituées. Toutefois, le haricot s'avère encore une fois plus sensible à la salinité des eaux d'irrigation que la tomate.

Le nombre moyen de feuilles est réduit respectivement de -54% et -21% pour ST1 et de façon plus marquée pour ST2 soit de -59 % et -35 % au niveau du haricot et la tomate respectivement. Les salinités élevées réduisent de façon importante le nombre de feuilles chez la tomate [40].

Les teneurs moyennes en chlorophylles des feuilles ont été réduites d'une manière plus marquée par les eaux de ST2 que celles de ST1 beaucoup plus chez le haricot que la tomate. D'une manière générale et chez les deux plantes étudiées, les teneurs en Chl (a) sont plus affectées que celles de la Chl (b) que celles de la

Chl (c). La diminution du contenu en chlorophylles chez la tomate en conditions de salinité a également été observée par [119], [127] [132]

L'ensemble des paramètres étudiés évaluant la croissance (hauteur, croissance en longueur et en épaisseur, nombre de feuilles, biomasses fraîche et sèche, teneurs en chlorophylles) ont été affectés par la salinité et ont été en conséquence plus profonds pour les plantes cultivées sur ST2 plus chargée en sel que ST1. De plus, les effets néfastes de la salinité ont été plus prononcés chez le haricot espèce sensible que la tomate moyennement tolérante à la salinité.

Lorsque le pH des eaux d'irrigation est ramené de sa valeur initiale soit 7,8 à un pH acide de 5,5 cela va se traduire par une amélioration de tous les paramètres précédemment cités. En effet, il est bien établi que les effets du sel sont plus néfastes en pH élevé [133] tel que celui des eaux de Gassi Touil. Le pH basique de la solution nutritive induirait une moindre disponibilité des éléments minéraux indispensables pour la croissance [121].

La croissance des poils absorbants impliqués dans l'absorption des ions et de l'eau est même favorisée à pH acide [134]. D'une manière générale, l'acidification des eaux d'irrigation a permis d'améliorer les paramètres de croissance en conditions de salinité d'une manière plus efficace chez la tomate moyennement tolérante que le haricot sensible, probablement par une amélioration de la nutrition minérale dont dépend la croissance. Les besoins en macronutriments, plus disponibles en milieu acidifié pour la tomate, pourraient être supérieurs à ceux du haricot.

Ces effets néfastes de la salinité des eaux d'irrigation vont induire une réduction de la teneur moyenne en sucres solubles des feuilles observée chez les deux espèces étudiées suite à l'irrigation par les eaux souterraines reconstituées. Ces teneurs sont diminuées de façon plus marquée chez la tomate que le haricot, et notamment au niveau de ST2 que ST1. Ces résultats ne sont pas conformes avec la bibliographie, mais peuvent être expliqués par le pH élevé (7,8) des eaux d'irrigation ST1 et ST2 qui ne favorisent pas la nutrition minérale et va se répercuter sur la photosynthèse. Ceci est confirmé par les effets de l'acidification de ces eaux.

En effet, l'ajout de HNO_3^- a induit une forte augmentation de la teneur moyenne des sucres solubles dans les feuilles et en particulier chez la tomate.

En condition de stress salin, on observe généralement une augmentation de la teneur en sucres solubles [135] comme observé chez la tomate [136]. Les sucres solubles et en particulier le saccharose et le glucose agissent comme osmolytes dans le cytoplasme [137].

L'osmorégulation est aussi accomplie par la proline, soluté compatible connu pour s'accumuler dans le cytoplasme en conditions de salinité. Chez les plantes étudiées, les teneurs moyenne en proline sont plus importantes dans les parties aériennes que les racines et augmentent considérablement suite à l'acidification mais aussi à l'ajout des oligoéléments aux eaux d'irrigation acidifiées. La proline s'accumule en condition de stress salin [138] et contribue à l'ajustement osmotique [128] avec les sucres dans le cytoplasme permettant le maintien d'une hydratation suffisante compatible avec la physiologie des plantes.

Chez les plantes étudiées, l'irrigation avec les eaux souterraines reconstituées de ST1 et ST2 a induit une diminution de la teneur moyenne en eau plus importante pour ST2 par comparaison à ST1 et plus prononcée chez la tomate que le haricot. Ceci serait corrélé à la réduction du nombre et de la taille des vaisseaux de xylème conséquence d'une diminution des flux hydrique et minéral. Ceci serait le résultat d'une diminution de la transpiration moteur de l'absorption hydrominérale, En effet l'un des premiers effets de la salinité est de diminuer le potentiel osmotique de la solution autour des racines.

Toutefois le maintien de la croissance et l'accomplissement du cycle de développement est le signe que l'hydratation des plantes malgré sa diminution est suffisante pour l'accomplissement des fonctions vitales. Ceci est réalisé par l'ajustement osmotique réalisé par les solutés compatibles dans le cytoplasme, proline et les sucres solubles, dont les concentrations augmentent suite à l'irrigation par les eaux souterraines reconstituées chez les deux plantes étudiées particulièrement suite à leur acidification. Cette dernière permettrait aussi une meilleure absorption des minéraux favorisant en conséquence leur contribution à l'ajustement osmotique.

L'ajout des oligoéléments aux solutions d'irrigation acidifiées a eu soit un léger impact positif soit légèrement négatif. La contribution des oligoéléments aux ions

totaux est plutôt faible. Les besoins des plantes en ces éléments étant réduits, le seuil de toxicité est rapidement atteint, ce qui reste à déterminer.

En ce qui concerne les paramètres de production, et de qualité des deux espèces étudiées, on peut dire que la salinité a affecté le développement végétatif et mais aussi reproducteur des plantes étudiées qui se sont comportées différemment au stade floral suite à l'irrigation par les eaux souterraines recomposées. Les effets de la salinité varient avec les espèces ainsi les différents stades phénologiques [140]. L'augmentation de la CE des eaux d'irrigation affecte moins la croissance végétative que le rendement [141].

L'irrigation a induit une réduction de la production moyenne de fleurs. Pour le traitement ST1, la floraison est plus affectée chez la tomate que le haricot respectivement (-44% et -17%). Pour les salinités élevées qui caractérisent les eaux de ST2, c'est le haricot (-33% et -29%) dont la production moyenne de fleurs est la plus réduite par comparaison à la tomate ce qui confirme sa sensibilité au sel.

Les effets néfastes de la salinité des eaux d'irrigation, particulièrement marqués pour ST2 plus chargés en sel, tels la réduction du nombre moyen de feuilles, de la teneur en chlorophylle et les conséquences néfastes qui en découlent sur la photosynthèse vont se traduire par une moindre disponibilité de photosynthétats pour l'alimentation à partir du méristème floral, organe puits ce qui expliquerait une moindre production de fleur et qui est plus marquée pour ST2 que ST1 et pour le haricot plus sensible à la salinité que la tomate.

En plus de cet effet direct de la salinité, l'alimentation des organes puits est aussi réduite car une partie des sucres solubles est déviée pour l'adaptation à la salinité et en particulier l'ajustement osmotique [142]. Les effets néfastes de la salinité sur la production moyenne de fleurs est plutôt le résultat d'une altération de la relation source-puits et seraient la conséquence d'une faible disponibilité d'assimilats chez l'orge et le blé [143] chez la tomate [155] et le pois chiche [156].

Le rendement moyen par plant est réduit par les eaux d'irrigation mais de façon plus prononcée chez le haricot (-65% et 77% au niveau des traitements, respectivement ST1 et ST2) que la tomate (-46,5% et -49% pour les traitements ST1 et ST2). Chez la tomate, le rendement moyen est réduit de façon significative

pour les salinités dont la CE est égale ou supérieure à 5 dsm^{-1} [119] ce qui est le cas des eaux de ST2.

La taille moyenne des fruits est aussi diminuée. La qualité des fruits en ce qui concerne leur teneur moyenne en sucres est également affectée par la salinité d'une manière plus prononcée pour la tomate que le haricot et pour ST2 que ST1.

Pour la vitamine C, sa teneur moyenne diminue dans les deux types de fruits et d'une manière plus prononcée pour ST2 que ST1, mais ce sont les fruits de la tomate qui présentent des teneurs moyennes en vitamine C les plus élevées par rapport aux gousses du haricot.

L'acidité du jus de tomate diminue avec la salinité et de façon plus marquée au niveau du traitement ST2 que ST1. L'acidification des eaux d'irrigation a un impact positif sur la qualité des fruits. Nous avons remarqué lors de l'acidification des eaux saline, une augmentation de la teneur en sucres plus importante pour ST2 et particulièrement chez la tomate. On observe aussi, une augmentation de leur teneur en vitamine "C" chez la tomate plus importante que le haricot et particulièrement au niveau du traitement ST2.

L'addition des d'oligoéléments aux eaux d'irrigation acidifiées accroît très légèrement les teneurs moyennes en sucre et en vitamine "C". L'acidité du jus de tomate est augmentée suite à l'acidification, mais, faiblement par l'ajout des oligoéléments.

La diminution de la qualité des fruits et particulièrement celle de la tomate peut être attribuée en partie au pH élevé des eaux d'irrigation qui est de 7,8. En effet l'acidification de ces eaux a permis en conjonction avec la salinité, l'amélioration de la qualité des fruits. L'ajout des oligoéléments a eu peu d'effet sur la qualité des fruits. L'amélioration provoquée par l'acidification peut être expliquée par le fait que le pH bas induit une meilleure disponibilité des ions essentiels pour la croissance et le développement [121] mais aussi des ions Na^+ et Cl^- expliquant à la fois l'amélioration du rendement chez les deux plantes étudiées, mais, aussi l'amélioration de la qualité nutritionnelle des fruits en particulier celui de la tomate ce qui est en accord avec la bibliographie.

En effet, il a été rapporté que la salinité modérée augmente la qualité nutritionnelle des fruits de tomate bien qu'elle diminue son rendement [146]. En effet, elle augmente les sucres et l'acidité du jus de tomate [119]. L'augmentation de la concentration en sucre serait en partie le résultat d'une diminution de l'élargissement de la taille moyenne du fruit qui est la conséquence du stress hydrique induit par la salinité [147]. L'addition de sel dans les eaux d'irrigation est même utilisée pour augmenter les qualités nutritionnelles, organoleptiques et nutraceutiques des fruits de tomate [148], [149].

CONCLUSION

La salinité des eaux souterraines qui varie avec le site constitue un obstacle majeur à leur utilisation en irrigation. Notre étude a montré que l'irrigation avec les eaux recomposées des stations ST1 et ST2 de Gassi Touil a affecté la croissance (hauteur, épaisseur, biomasses fraîche et sèche) des deux espèces étudiées toutefois de manière plus marquée pour ST2 plus chargée en sels que ST1, et le haricot que la tomate. Cet effet dépressif sur la croissance est le résultat de l'effet de la salinité des eaux d'irrigation sur la production de sucres par les feuilles dont le nombre et la teneur en chlorophylles diminuent.

Aussi, nous pouvons dire que les deux plantes étudiées accomplissaient leur cycle de développement malgré une diminution de la teneur en eau de leurs organes grâce à un ajustement osmotique auquel y contribue l'accumulation observée de la proline. De même que pour la croissance, les paramètres étudiés relatifs à la reproduction (nombre de fleurs, nombre de fruit et production de fruits) ont été affecté d'une manière plus prononcée pour le haricot que la tomate et pour ST2 que ST1.

En effet, nous avons observé une diminution du nombre de fleurs, de fruits dont la taille et le poids diminuent ainsi que leur qualité (teneur en sucres et vitamine C, acidité titrable). L'acidification des eaux d'irrigation et particulièrement celle de ST1 a eu un impact favorable sur la croissance et la reproduction chez les deux espèces étudiées et notamment sur la tomate. L'addition des oligoéléments aux solutions acidifiées a en général porté de faibles améliorations, voire des effets négatifs sur la plupart des paramètres étudiés.

Enfin, ces résultats seront d'un apport important pour participer à une meilleure conduite de la tomate et du haricot dans les zones semi-arides et arides où la qualité des eaux fournie pour l'irrigation est défavorable à l'irrigation.

L'utilisation des eaux souterraines en irrigation est limitée en raison de leur forte composition en sels. La modification de leurs propriétés physicochimiques et en

particulier leur acidification pourrait constituer une alternative à leur valorisation en agriculture notamment en zone aride et semi-aride.

En perspectives, la salinité c'est un facteur limitant qui affecte un grand nombre de processus morphologiques, physiologiques et biochimiques. Il serait donc intéressant d'utiliser des techniques basées sur la biologie moléculaire pour une meilleure identification des processus d'amélioration et d'adaptation des espèces cultivées à la salinité des eaux d'irrigation.

Aussi, il est nécessaire de faire une approche économique, afin d'inciter les agriculteurs pour adopter ce concept afin de développer le secteur agricole dans les régions arides et semi-aride où l'approvisionnement du marché local en produits horticoles reste insuffisant et très dépendant des régions nordiques.

ANNEXE

7.1.1. Croissance en longueur des tiges en (cm) :

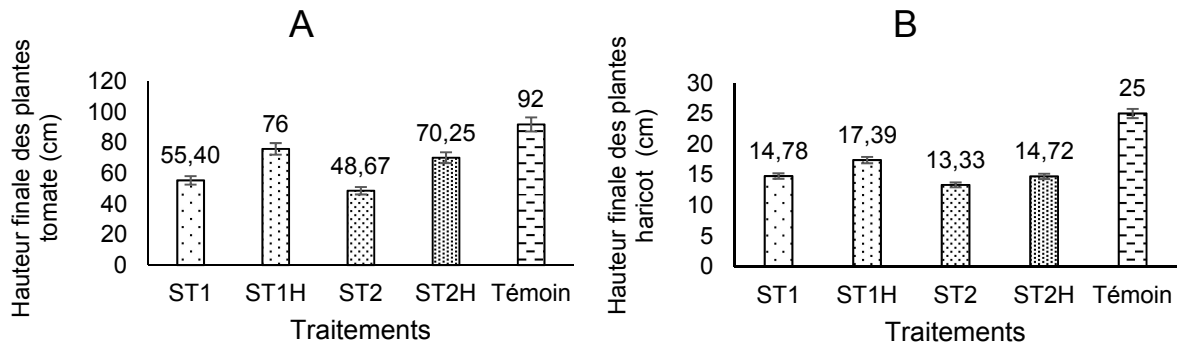


Figure 14 : Effet des traitements acidifiés sur la hauteur moyenne finale (cm) des plantes de tomate (A) et de haricot (B).

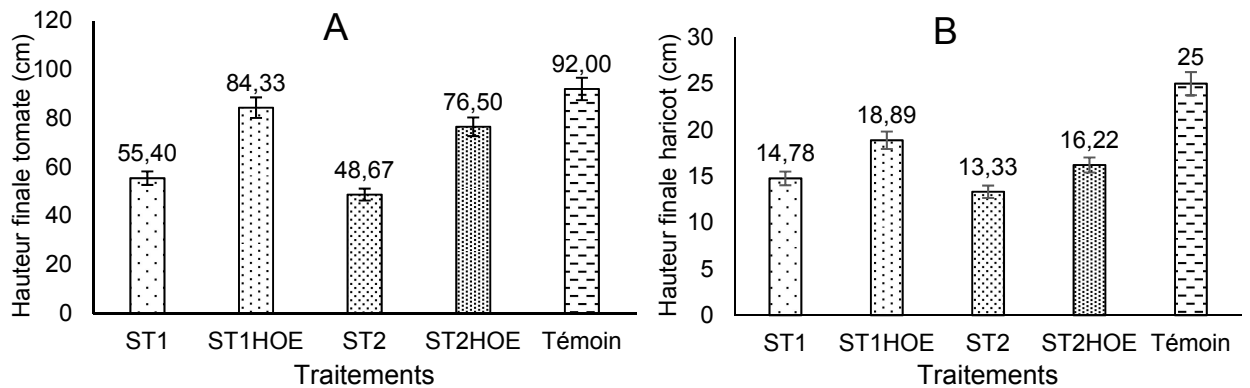


Figure 15 : Effet des traitements acidifiés et additionnés d'oligo-éléments sur la hauteur finale moyenne (cm) des plantes de tomate (A) et de haricot (B).

7.1.2. Croissance en épaisseur des tiges (mm)

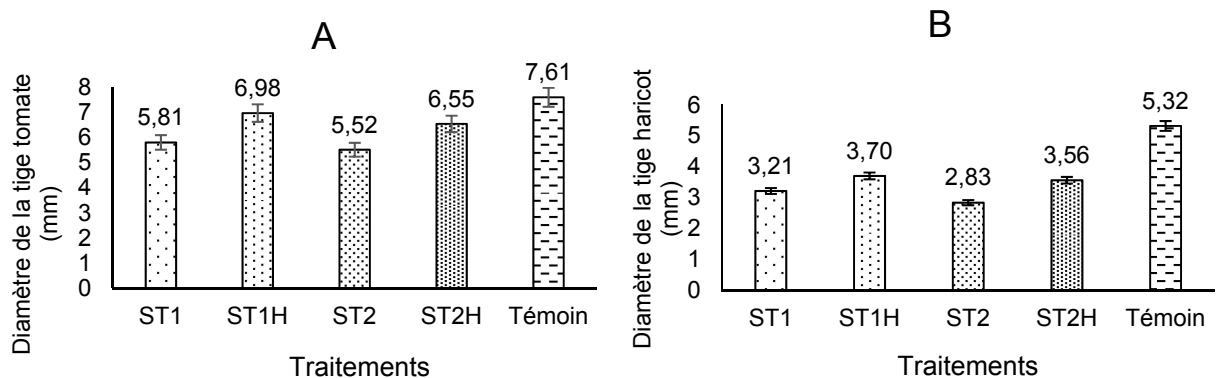


Figure 16 : Diamètre moyen des tiges de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés en fin du cycle de développement.

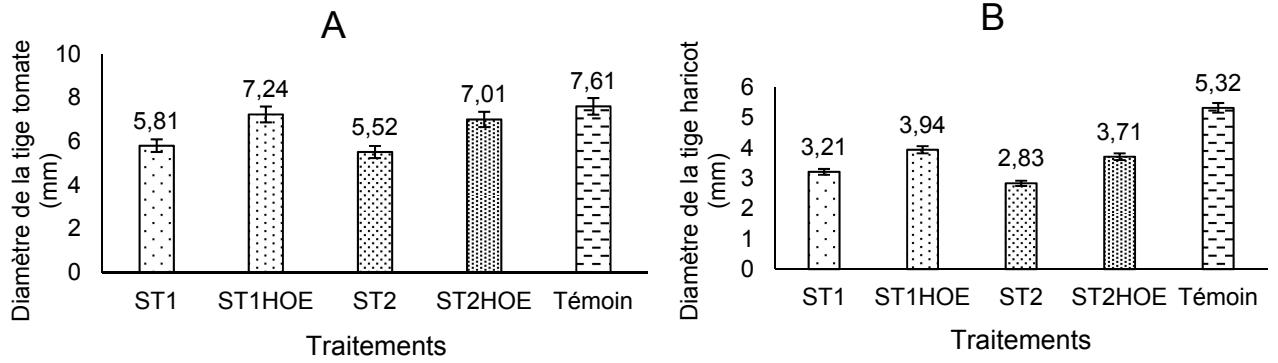


Figure 17 : Diamètre moyen des tiges de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et additionnés d'oligo-éléments en fin du cycle de développement.

7.1.3. Nombre moyen de feuilles par plante.

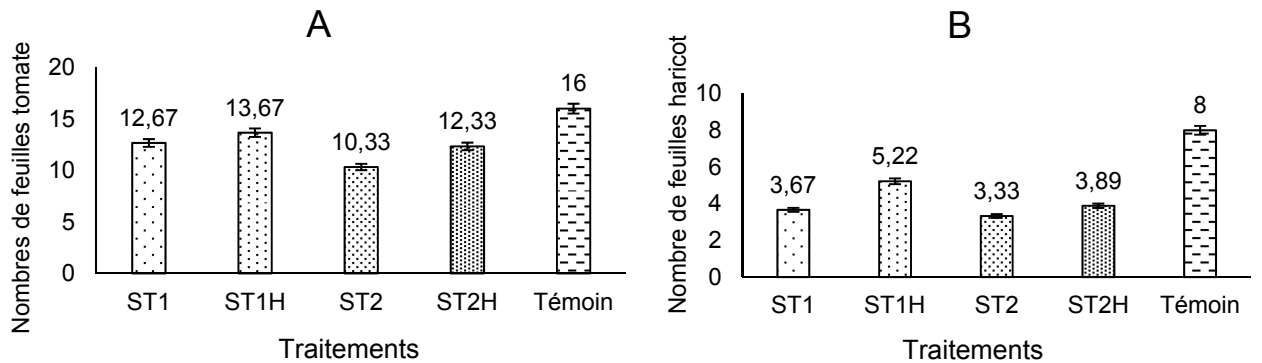


Figure 18 : Nombre moyen de feuilles de la tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés en fin du cycle de développement.

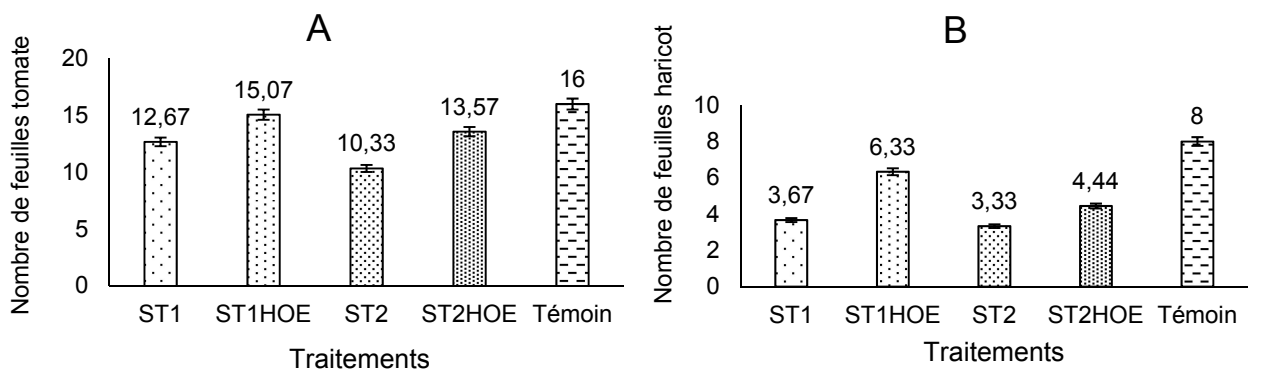


Figure 19 : Nombre moyen de feuilles de la tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et additionnés d'oligo-éléments en fin du cycle de développement.

7.2.1.1. Biomasse fraîche moyenne par plante (g).

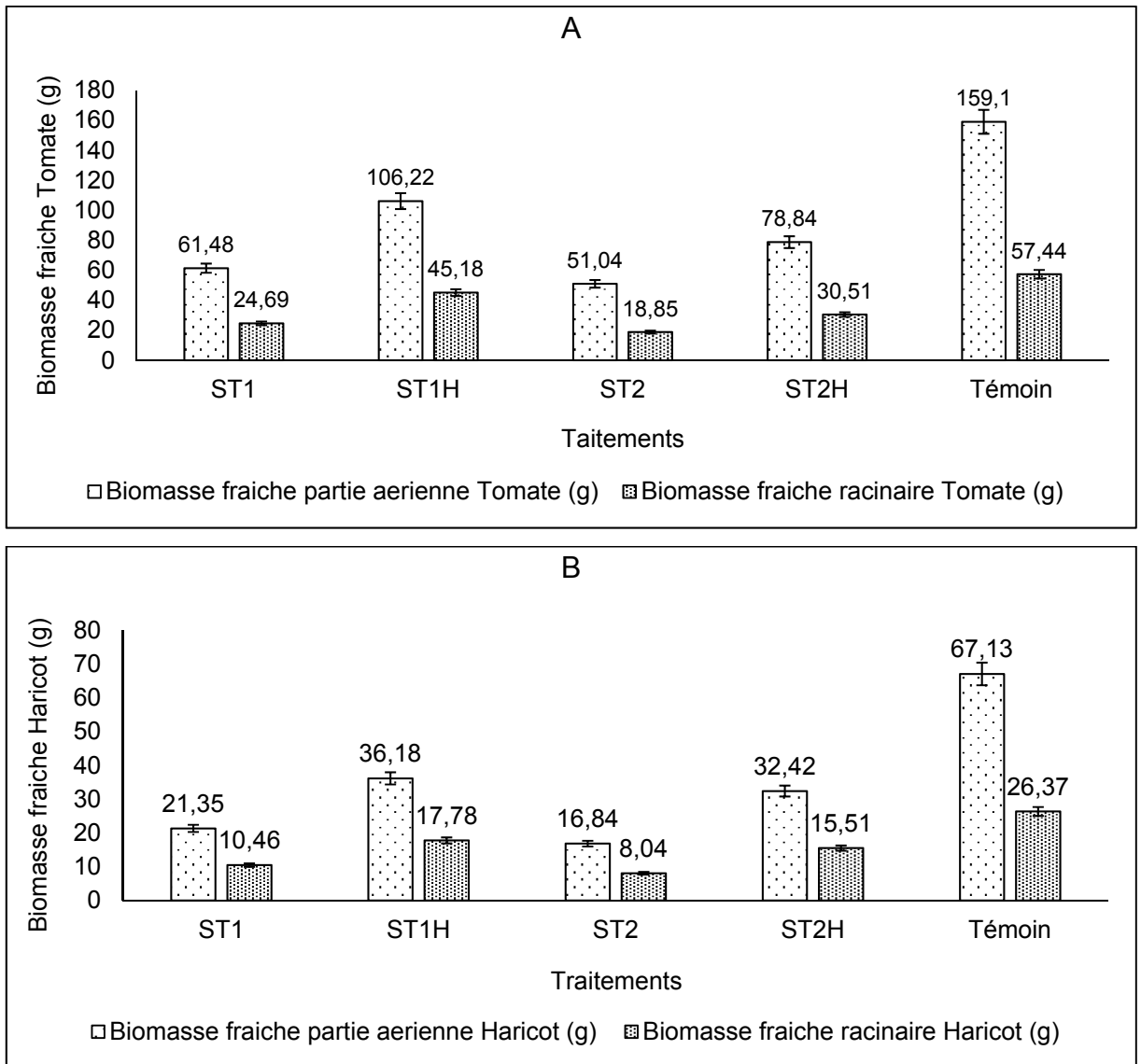


Figure 20 : Biomasse fraîche moyenne aérienne et racinaire de la tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.

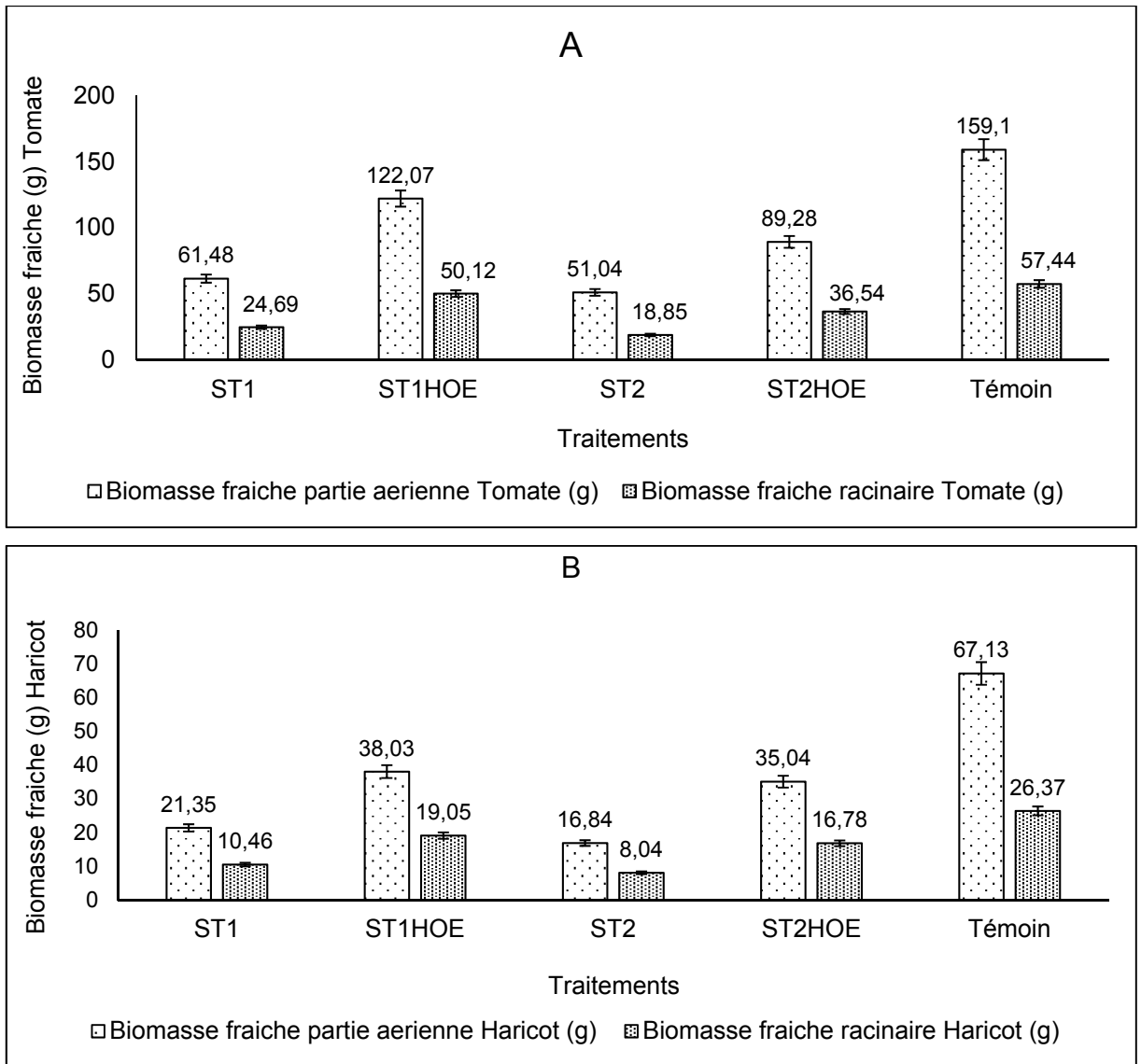


Figure 21 : Biomasse fraîche moyenne aérienne et racinaire de la tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et additionnés d'oligo-éléments.

7.2.1.2. Biomasse sèche moyenne par plante (g).

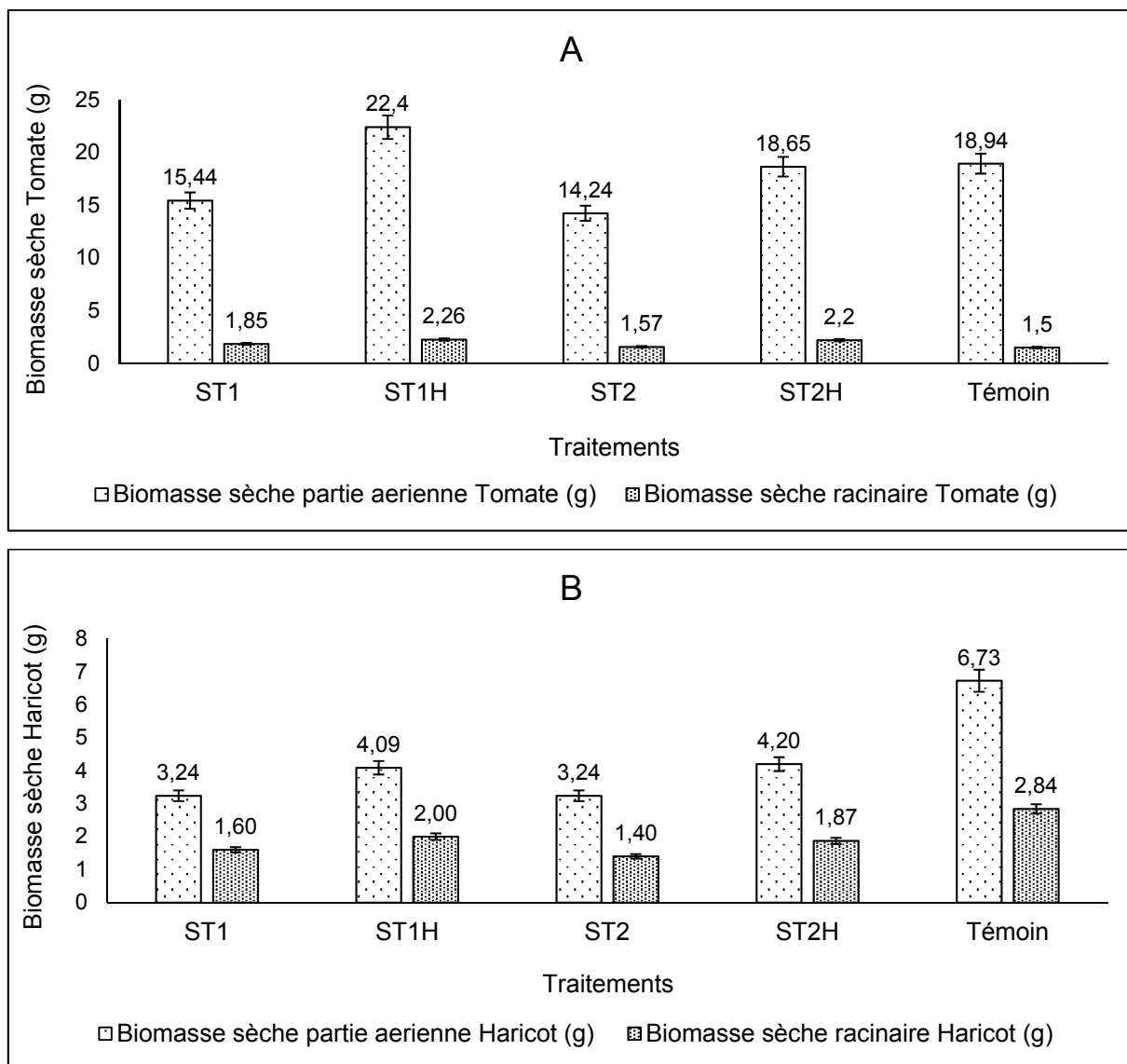


Figure 22 : Biomasse sèche moyenne aérienne et racinaire de la tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.

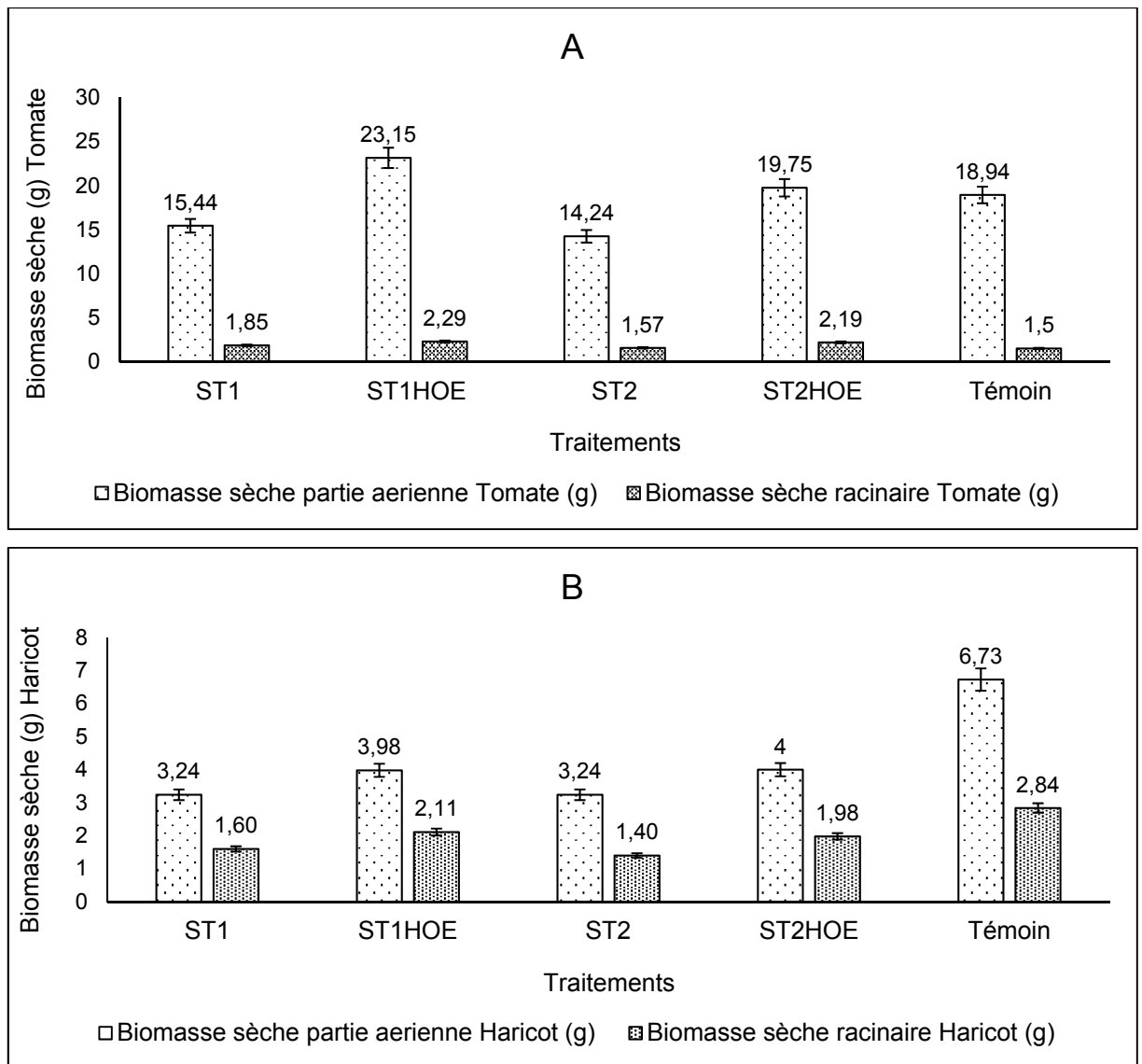


Figure 23 : Biomasse sèche moyenne aérienne et racinaire de la tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et additionnés d'oligo-éléments.

7.2.2. Rapport moyen de la biomasse sèche de la partie racinaire/biomasse sèche de la partie aérienne.

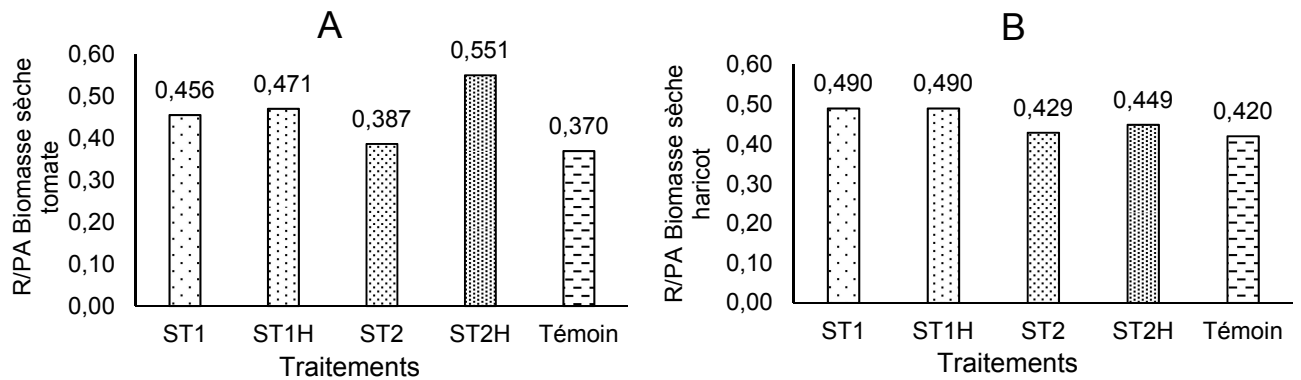


Figure 24 : Rapport moyen de la biomasse sèche de la partie racinaire / biomasse sèche de la partie aérienne des plants de tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.

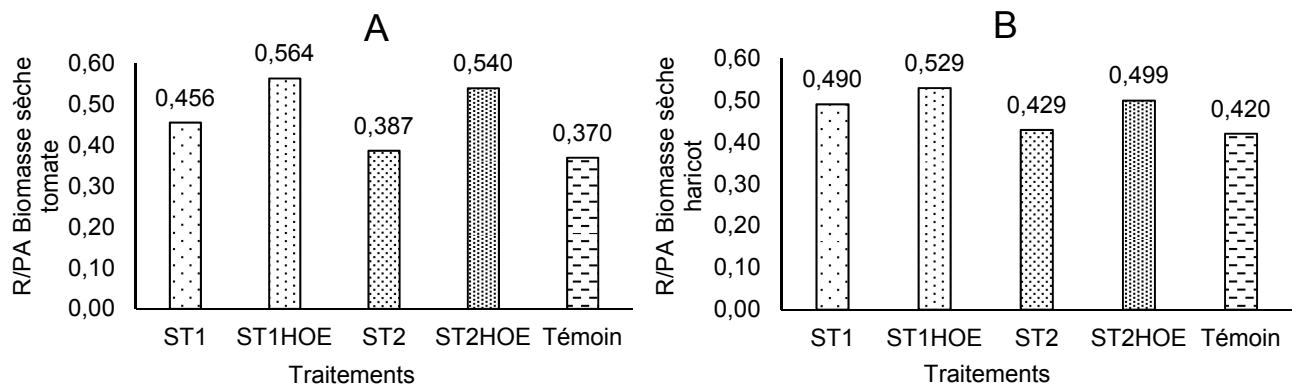


Figure 25 : Rapport moyen de la biomasse sèche de la partie racinaire / biomasse sèche de la partie aérienne des plants de tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et additionnés d'oligo-éléments.

7.2.3. Teneur moyenne en eau des organes des plantes en (%).

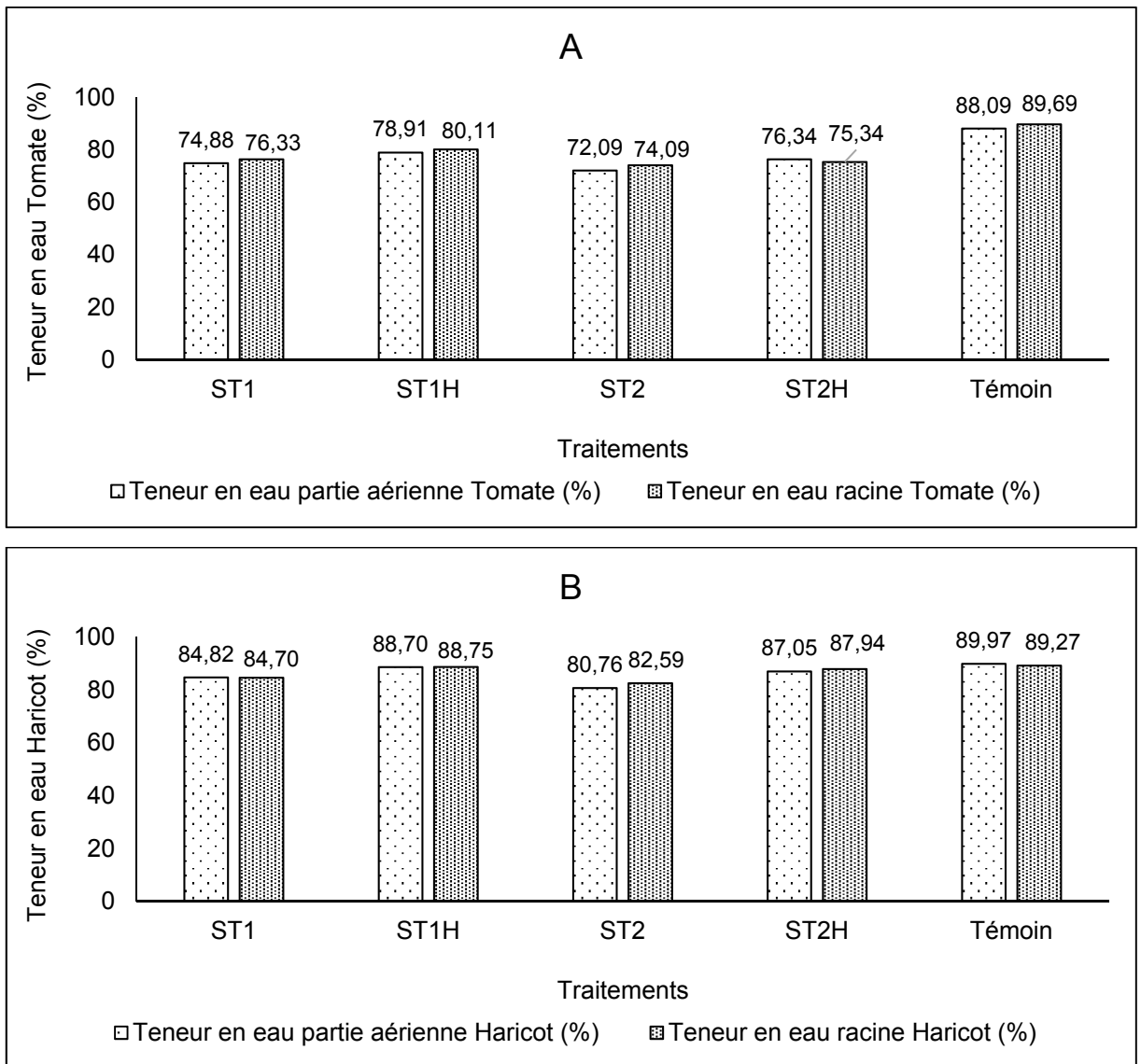


Figure 26 : Teneur en eau (%) des racines et de la partie aérienne de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.

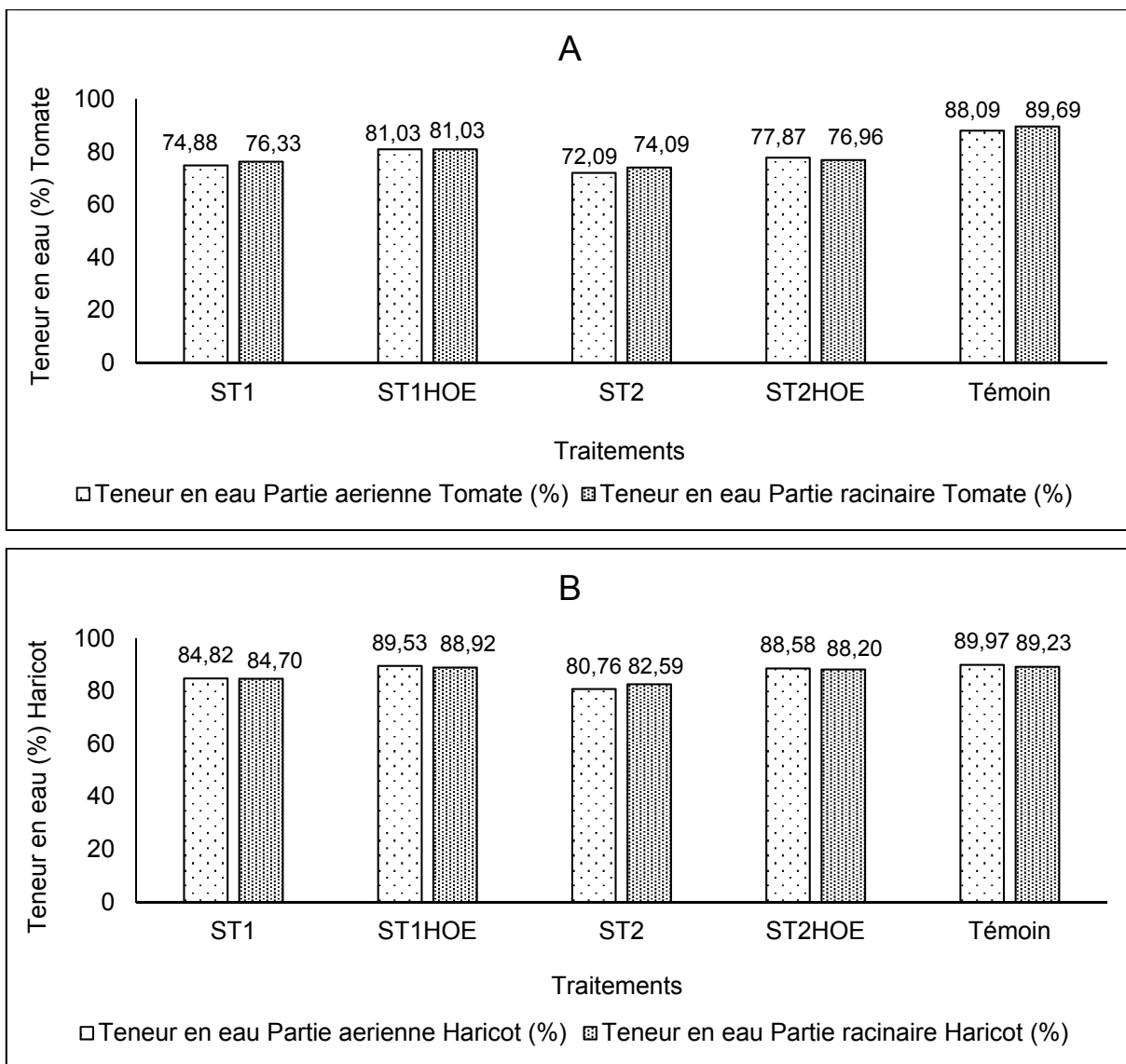


Figure 27 : Teneur en eau (%) des racines et de la partie aérienne de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et ajoutés d'oligo-éléments.

7.3. Paramètres de production

7.3.1. Nombre moyen de fleurs

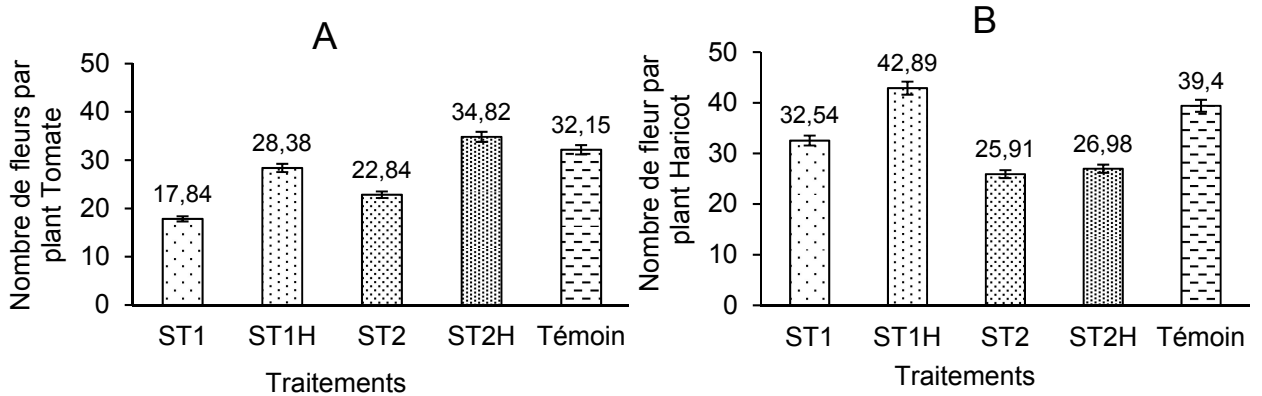


Figure 28 : Nombre moyen de fleurs par plant de tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiées.



Figure 29 : Nombre moyen de fleurs par plant de tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiées et ajoutées d'oligo-éléments.

7.3.2. Nombre moyen de fruits

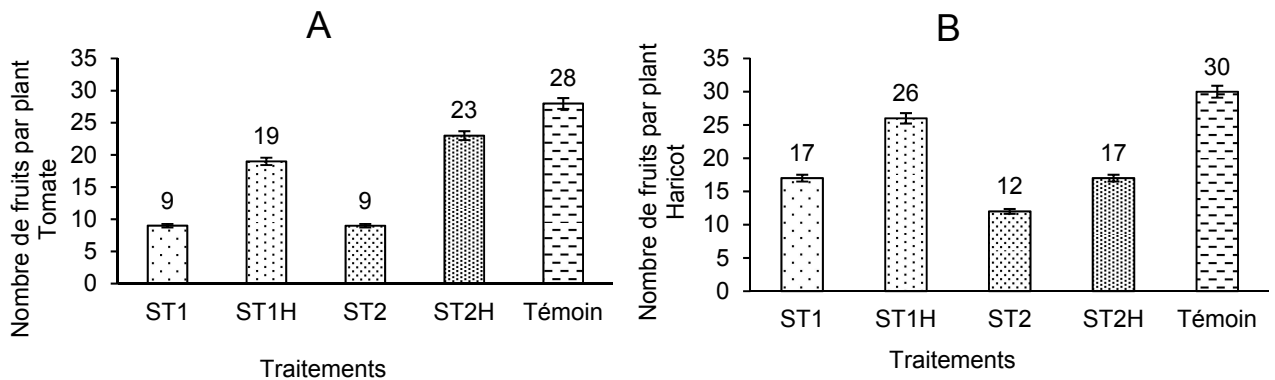


Figure 30 : Nombre de fruits par plant de tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiées.

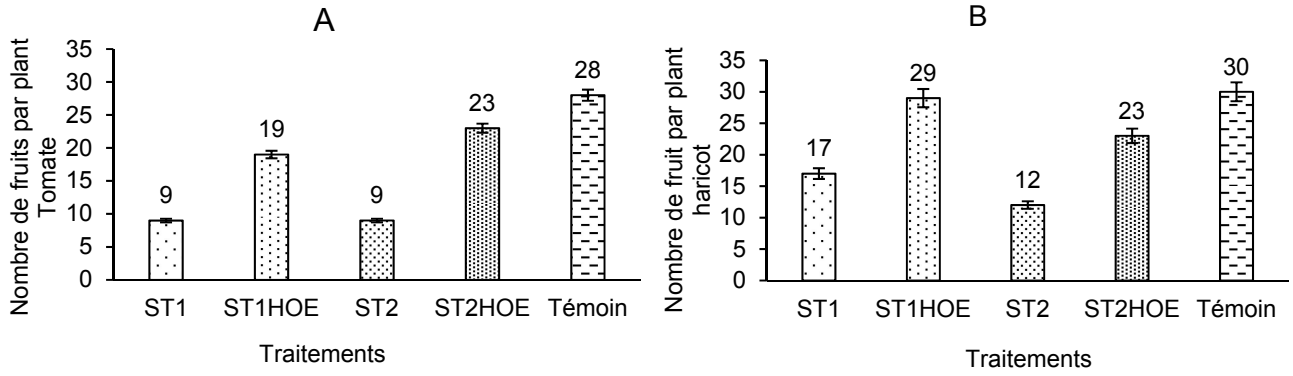


Figure 31 : Nombre moyen de fruits par plant de tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiées et ajoutées d' oligo-éléments.

7.3.3. Production de fruits (g).

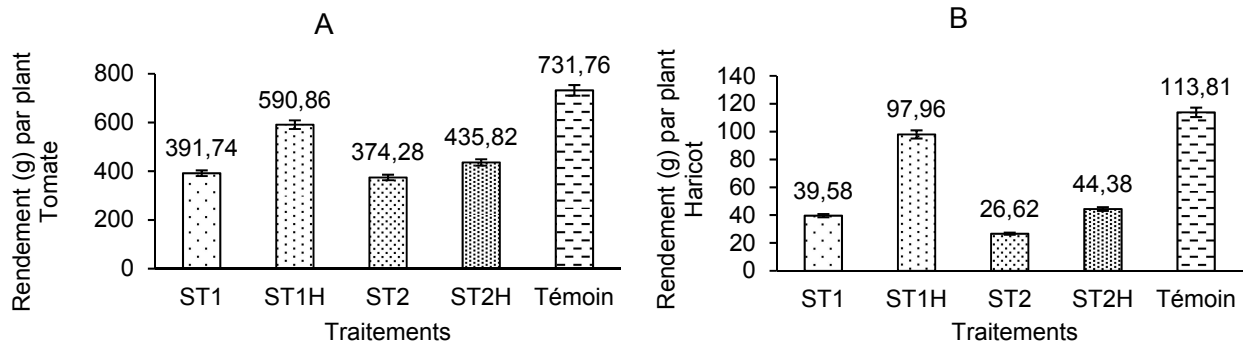


Figure 32 : Production moyenne de fruit de tomate (A) et de gousse de haricot(B) en fonction des traitements acidifiées.

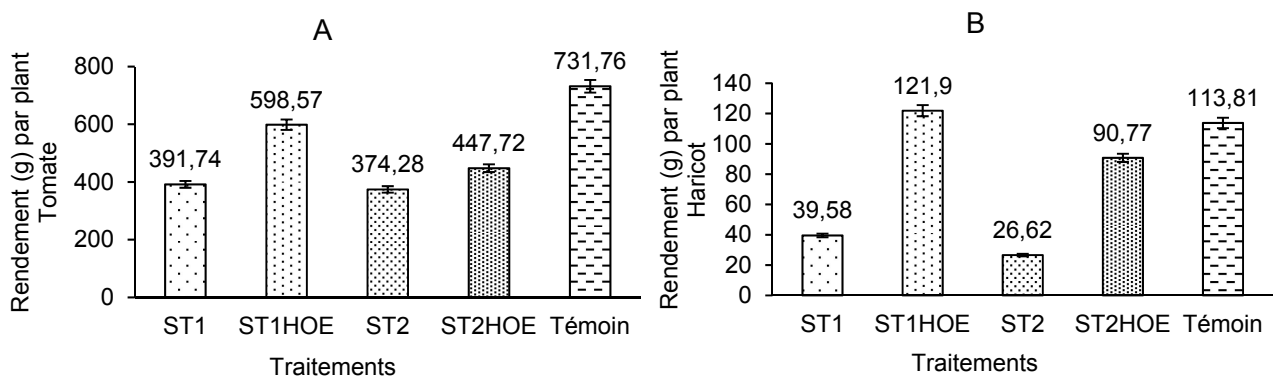


Figure 33 : Production moyenne de fruit de tomate (A) et de gousse de haricot(B) en fonction des traitements acidifiées et ajoutées d' oligo-éléments.

7.4. Paramètres de qualité des fruits de tomate et des gousses de haricot.

7.4.1. Teneur moyenne en sucres totaux des fruits de tomate et des gousses de haricot.

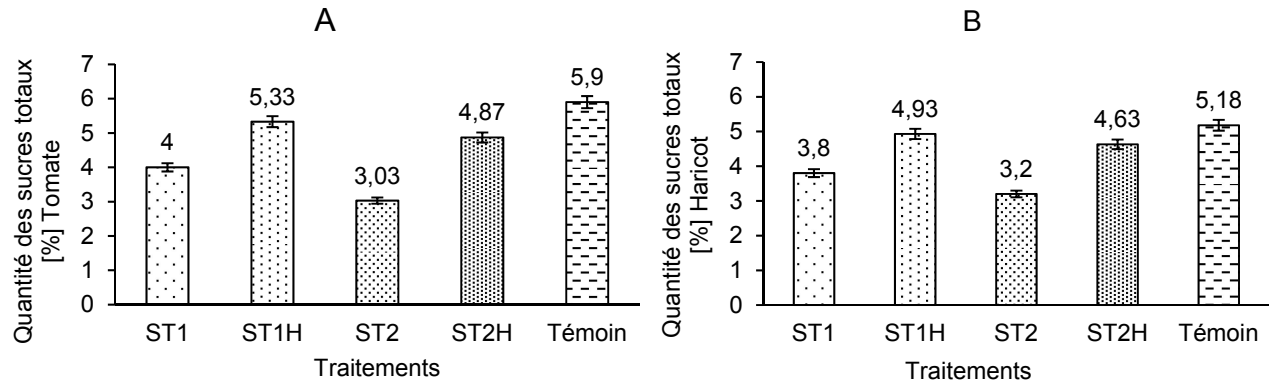


Figure 34 : Teneur moyenne en sucres totaux des fruits de tomate et des gousses de haricot en fonction des traitements acidifiés.

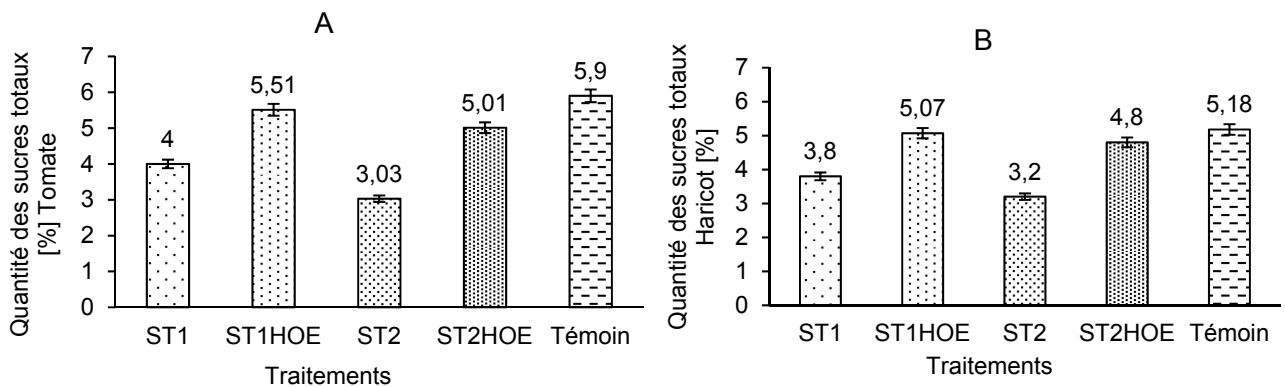


Figure 35 : Teneur moyenne en sucres totaux des fruits de tomate et des gousses de haricot en fonction des traitements acidifiés et additionnés d'oligoéléments.

7.4.2. Teneur en vitamine "C" :

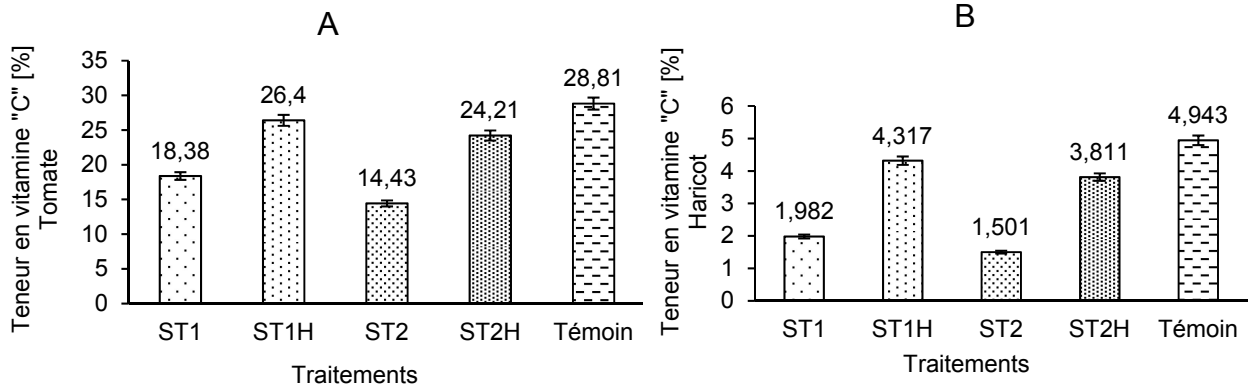


Figure 36 : Teneur en vitamine "C" des fruits de tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.



Figure 37 : Teneur en vitamine "C" des fruits de tomate (A) et de haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et additionnés des oligoéléments.

7.4.3. Acidité des fruits du jus de tomate

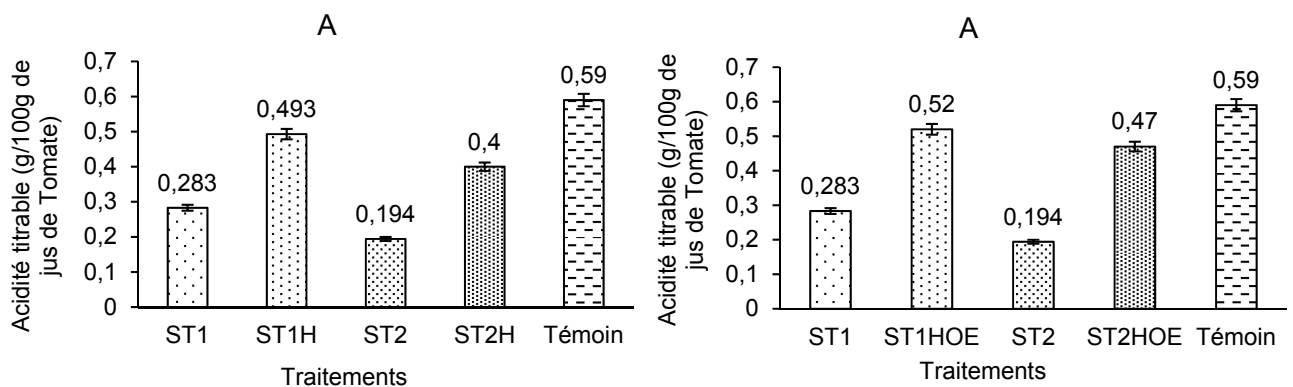


Figure 38 : Acidité titrable (g/100g) de jus des fruits de tomate en fonction des traitements.

7.5. Paramètres physiologiques

7.5.1. Teneur moyenne en proline

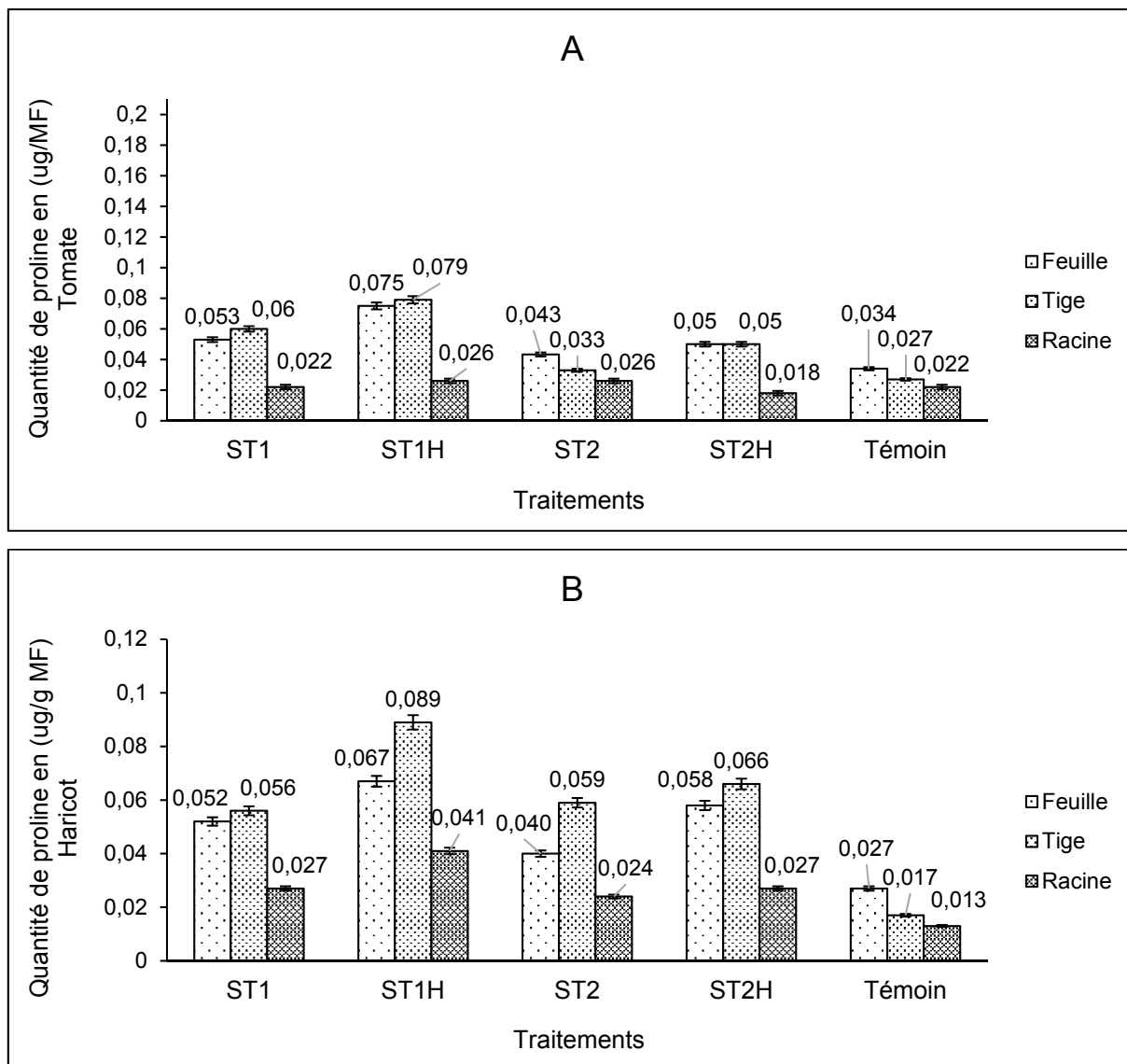


Figure 39 : Teneur moyenne en proline (ug/g MF) des différentes parties aériennes et racinaires de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.

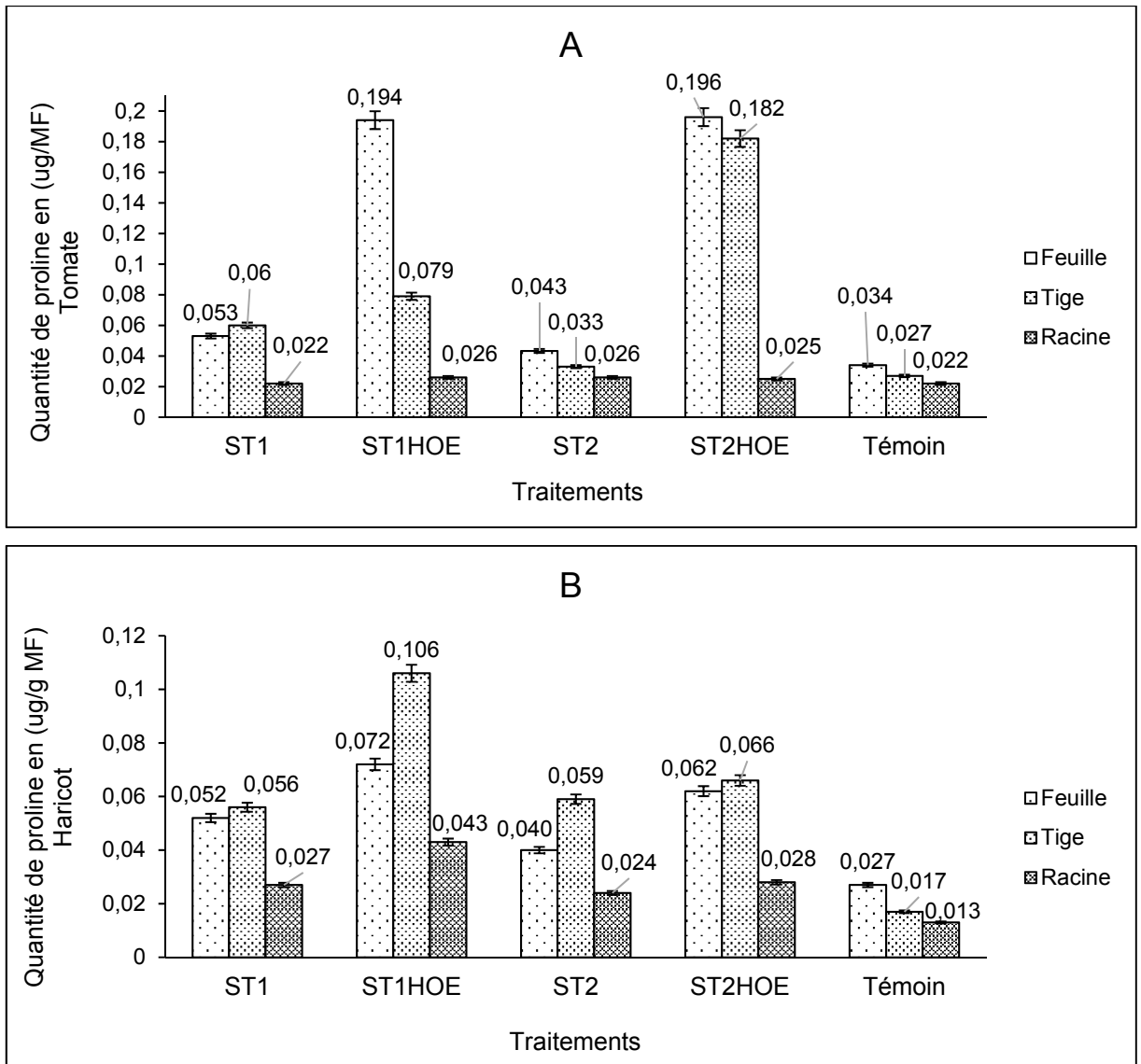


Figure 40 : Teneur moyenne en proline (ug/g MF) des différentes parties aériennes et racinaires de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et ajoutés d'oligo-éléments.

7.5.2. Teneur moyenne en chlorophylles des feuilles.

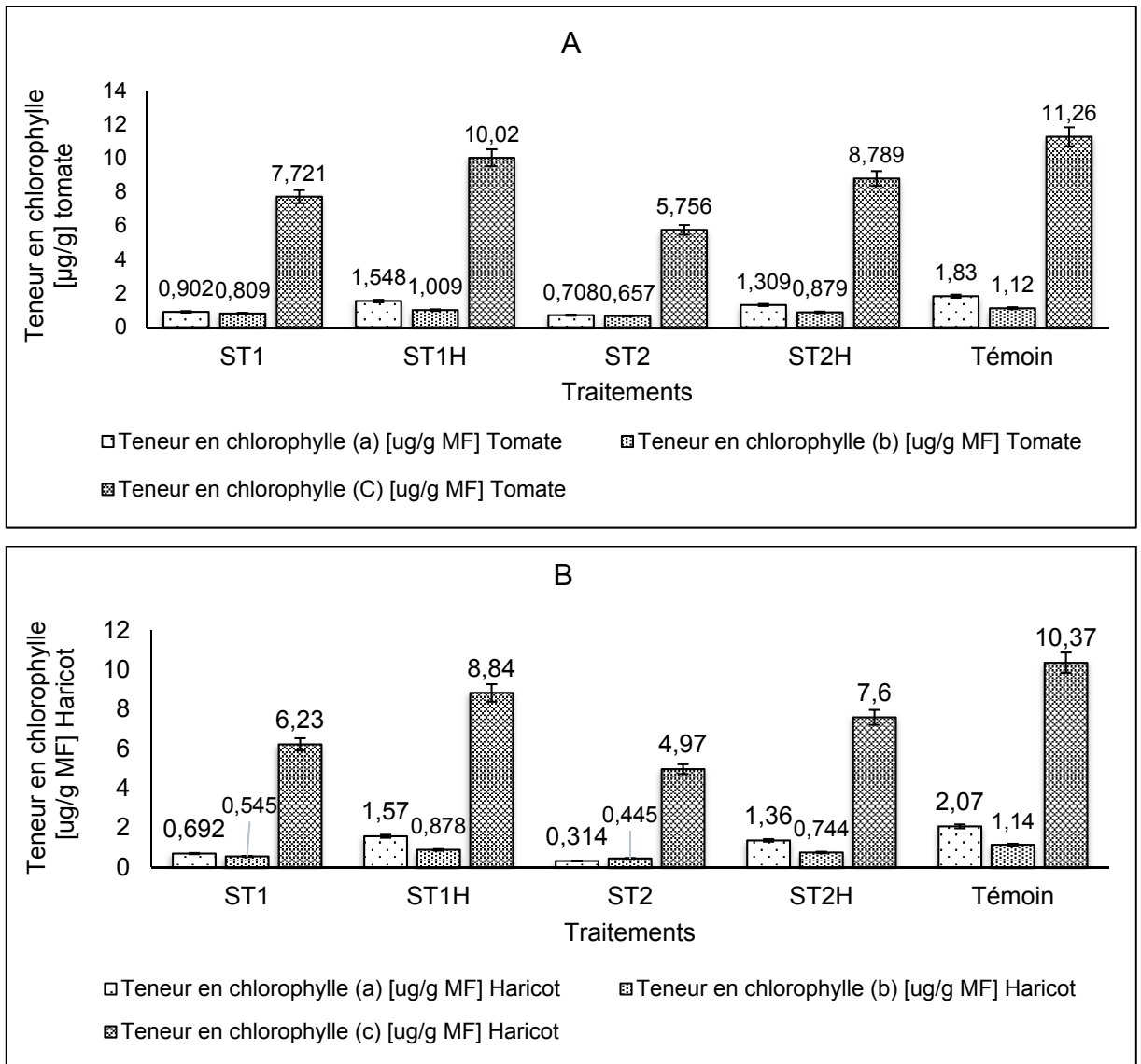


Figure 41 : Teneur moyenne en chlorophylles des feuilles de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.

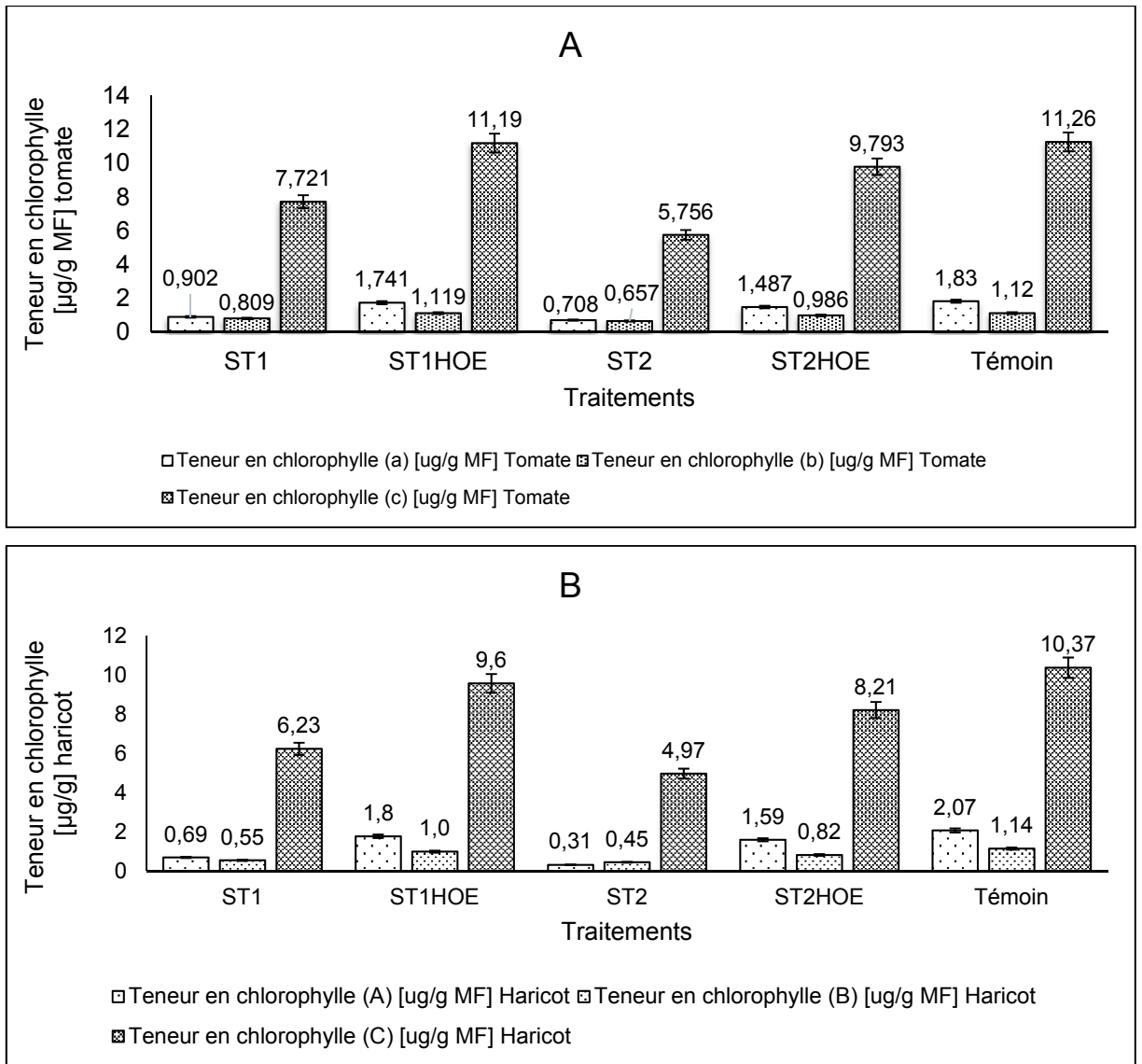


Figure 42 : Teneur moyenne en chlorophylles des feuilles de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés et ajoutés d’oligo-éléments.

7.5.3. Teneur moyenne en sucres solubles

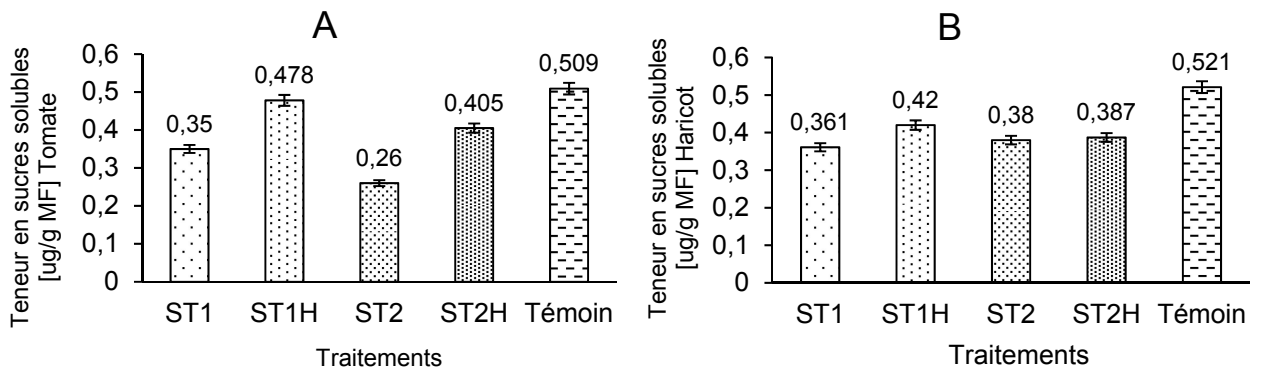


Figure 43 : Teneur moyenne en sucres solubles des feuilles de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements acidifiés.

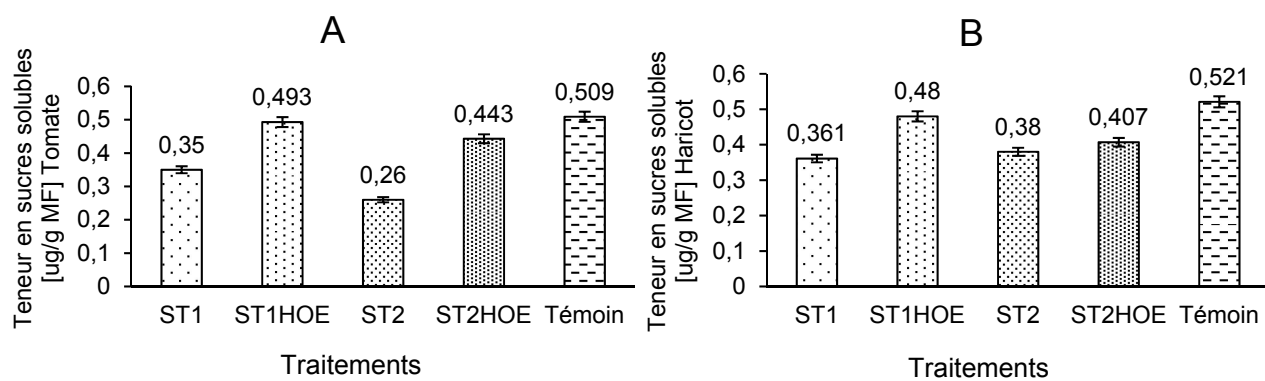


Figure 44 : Teneur en sucres solubles des feuilles de la tomate (A) et du haricot (B) en fonction des traitements et additionnés d'oligo-éléments.

Annexe 01 :

Tableau 01 : Hauteur finale moyenne des plantes de la tomate.

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	1440	6	240	18,51	0,0116	16,80
Intra-groupes	380	56	6,80			
Total (Corr.)	1820,80	62				

Tableau 02 : Hauteur finale moyenne des plantes du haricot.

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	218,76	6	36,46	20,51	0,0316	15,06
Intra-groupes	811,94	56	14,49			
Total (Corr.)	1030,71	62				

Annexe 02 :

Tableau 03 : Diamètre final moyen des tiges de la tomate

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	96,54	6	16,09	38,86	0,0026	17,88
Intra-groupes	35,28	56	0,63			
Total (Corr.)	131,82	62				

Tableau 04 : Diamètre final moyen des tiges du haricot

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	38,52	6	6,42	43,35	0,0009	21,34
Intra-groupes	2,74	56	0,049			
Total (Corr.)	41,26	62				

Annexe 03 :

Tableau 05 : Nombre de feuilles moyen par plante (haricot).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	318,24	6	53,04	123,04	0,006	14,61
Intra-groupes	22,4	56	0,40			
Total (Corr.)	340,64	62				

Tableau 06 : Nombre de feuilles moyen par plante (tomate).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	1824,18	6	304,03	209,13	0,001	39,41
Intra-groupes	104,16	56	1,86			
Total (Corr.)	1928,34	62				

Annexe 04 :

Tableau 07 : Biomasse fraîche moyenne aérienne par plante (tomate).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	19872,4	6	19872,4	761,78	0.002	37,02
Intra-groupes	30,15	56	30,15			
Total (Corr.)	120922,8	62				

Tableau 08 : Biomasse fraîche moyenne aérienne par plante (haricot).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	6582,66	6	1097,11	191,17	0.005	42.63
Intra-groupes	335,2	56	4,20			
Total (Corr.)	6817,86	62				

Annexe 05 :

Tableau 09 : Biomasse fraîche moyenne racinaire par plante (tomate).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	9654,72	6	1609,12	802,18	0.000	67,26
Intra-groupes	285,04	56	5,09			
Total (Corr.)	9939,76	62				

Tableau 10 : Biomasse fraîche moyenne racinaire par plante (haricot).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	6078,06	6	1013,03	691,63	0.000	69,40
Intra-groupes	192,08	56	3,43			
Total (Corr.)	6270,14	62				

Annexe 06 :

Tableau 11 : Biomasse sèche moyenne aérienne par plante (tomate).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	820,5	6	136,75	733,93	0.012	36,37
Intra-groupes	3,36	56	0,06			
Total (Corr.)	823,86	62				

Tableau 12 : Biomasse sèche moyenne aérienne par plante (haricot).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	527,34	6	87,89	520,56	0.014	42.63
Intra-groupes	2,24	56	0,04			
Total (Corr.)	529,58	62				

Annexe 07 :

Tableau 13 : Biomasse sèche moyenne racinaire par plante (tomate).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	36,48	6	6,08	324,15	0.024	24,82
Intra-groupes	0,1456	56	0,0026			
Total (Corr.)	36,62	62				

Tableau 14 : Biomasse sèche moyenne racinaire par plante (haricot).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	24,66	6	4,11	131,32	0.018	37,59
Intra-groupes	0,1008	56	0,0018			
Total (Corr.)	24,76	62				

Annexe 08 :

Tableau 15 : Nombre moyen de fleurs par plante (tomate).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	742,56	6	123,76	34,82	0.000	37,26
Intra-groupes	254,80	56	4,55			
Total (Corr.)	997,36	62				

Tableau 16 : Nombre moyen de fleurs par plante (haricot).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	874,32	6	145,72	44,15	0.000	33,24
Intra-groupes	210,60	56	3,60			
Total (Corr.)	1075,92	62				

Annexe 09 :

Tableau 17 : Nombre moyen de fruits par plante (tomate).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	812,40	6	135,40	28,11	0.000	67,86
Intra-groupes	185,92	56	3,32			
Total (Corr.)	898,32	62				

Tableau 18 : Nombre moyen de fruits par plante (haricot).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	1428,18	6	238,03	30,23	0.000	60
Intra-groupes	237,44	56	4,24			
Total (Corr.)	1665,62	62				

Annexe 10 :

Tableau 19 : Production moyenne de fruits par plante (tomate).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	4990,56	6	831,76	118,47	0.000	46,47
Intra-groupes	3946,88	56	70,48			
Total (Corr.)	8937,44	62				

Tableau 20 : Production moyenne de fruits par plante (haricot).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	979,86	6	163,81	98,16	0.000	76
Intra-groupes	852,32	56	15,22			
Total (Corr.)	1832,18	62				

Annexe 11 :

Tableau 21 : Teneur moyenne en sucres totaux des fruits (tomate).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	213	6	35,50	128,09	0.000	48,64
Intra-groupes	16,80	14	0,30			
Total (Corr.)	229,80	20				

Tableau 22 : Teneur moyenne en sucres totaux des gousses (haricot).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	61,86	6	10,31	80,66	0.000	38,22
Intra-groupes	26,32	14	0,47			
Total (Corr.)	88,18	20				

Annexe 12 :

Tableau 23 : Teneur moyenne en vitamine "C" des fruits (tomate).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	172,86	6	28,81	169,21	0.006	49,91
Intra-groupes	16,80	14	0,30			
Total (Corr.)	189,66	20				

Tableau 24 : Teneur moyenne en vitamine "C" des gousses (haricot).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	48,42	6	8,07	53,78	0.001	69,63
Intra-groupes	6,16	14	0,11			
Total (Corr.)	54,58	20				

Annexe 13 :

Tableau 25 : Acidité des fruits (tomate)

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	588,78	6	98,13	310,07	0.015	35,59
Intra-groupes	12,32	14	0,22			
Total (Corr.)	601,10	20				

Annexe 14 :

Tableau 26 : Teneur moyenne en proline (feuilles de la tomate)

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	1,116	6	0,186	630,06	0.023	117,20
Intra-groupes	0,014	14	0,001			
Total (Corr.)	1,13	20				

Tableau 27 : Teneur moyenne en proline (tige de la tomate)

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	2,598	6	0,433	248,96	0.017	80,32
Intra-groupes	0,028	14	0,002			
Total (Corr.)	2,626	20				

Tableau 28 : Teneur moyenne en proline (racine de la tomate)

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	1,254	6	0,209	352,37	0.010	56,26
Intra-groupes	0,07	14	0,005			
Total (Corr.)	1,324	20				

Tableau 29 : Teneur moyenne en proline (feuilles du haricot)

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	0,0138	6	0,0023	143,06	0.003	55,62
Intra-groupes	0,00112	14	0,0007			
Total (Corr.)	0,01492	20				

Tableau 30 : Teneur moyenne en proline (tige du haricot)

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	0,018	6	0,003	108,55	0.001	89,29
Intra-groupes	0,00112	14	0,00008			
Total (Corr.)	0,01912	20				

Tableau 31 : Teneur moyenne en proline (racine du haricot)

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	0,0246	6	0,0041	98,17	0.004	59,28
Intra-groupes	0,000882	14	0,000063			
Total (Corr.)	0,025482	20				

Annexe 15 :

Tableau 32 : Teneur moyenne en chlorophylle (a) (tomate)

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	20,253	6	3,3755	832,06	0.043	50,71
Intra-groupes	0,091	14	0,0065			
Total (Corr.)	20,344	20				

Tableau 33 : Teneur moyenne en chlorophylle (b) (tomate)

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	62,052	6	10,342	564,90	0.076	41,34
Intra-groupes	0,0056	14	0,00040			
Total (Corr.)	62,0576	20				

Tableau 34 : Teneur moyenne en chlorophylle (c) (tomate)

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	52,002	6	8,667	956,78	0.007	31,43
Intra-groupes	0,084	14	0,0060			
Total (Corr.)	52,086	20				

Tableau 35 : Teneur moyenne en chlorophylle (a) (haricot)

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	31,986	6	5,331	465,06	0.068	84,83
Intra-groupes	0,112	14	0,008			
Total (Corr.)	32,098	20				

Tableau 36 : Teneur moyenne en chlorophylle (b) (haricot)

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	68,634	6	11,439	175,88	0.011	60,96
Intra-groupes	0,00798	14	0,00057			
Total (Corr.)	68,6419	20				

Tableau 37 : Teneur moyenne en chlorophylle (c) (haricot)

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	17,43	6	2,905	815,76	0.001	52,07
Intra-groupes	0,00714	14	0,00051			
Total (Corr.)	17,43714	20				

Annexe 16 :

Tableau 38 : Teneur moyenne en sucres solubles (tomate).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	3,798	6	0,633	74,88	0,001	12,97
Intra-groupes	0,00448	14	0,00032			
Total (Corr.)	3,80248	20				

Tableau 39 : Teneur moyenne en sucres solubles (haricot).

Source	Somme des carrés	DDI	Carré moyen	Test F	Probabilité	C.V (%)
Inter-groupes	14,796	6	0,411	62,03	0,001	17,87
Intra-groupes	0,0098	14	0,00070			
Total (Corr.)	14,8058	20				

Annex 17:

Tableau 40 : Composition des solutions complémentaires d'oligo-éléments A et B.

Solution « A »			Solution « B »		
Éléments	Dose g/l	Prélèvement (ml/l)	Éléments	Dose g/l	Prélèvement (ml/l)
Molybdate d'ammonium (NH ₄) ₆ (MO ₇ O ₂₄) 4H ₂ O	0,50	0,1	Séquestrène de fer	2	5
Acide borique (H ₃ BO ₃)	15				
Sulfate de manganèse (MnSO ₄ , 5H ₂ O)	20				
Sulfate de cuivre (CuSO ₄ , 5H ₂ O)	2,50				
Sulfate de Zinc (ZnSO ₄ , 7H ₂ O)	10				

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. CHEVERRY C. (1995). Extension et diversité des phénomènes mettant en jeu les sels solubles. C. R. Acad. Agric.F2., 81. N°2. pp 42-46.
2. BESRI M. (1990). Effet de la salinité sur le développement des maladies des plantes, Institut Technique et Vétérinaire Hassan II, Maroc, 9-11 pp.
3. 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. 152 p.
4. SNOUSSI, S. (2014). Impact du potentiel hydrogène (pH) d'un environnement salin dans la nutrition de deux glycophytes cultivées. *Revue Agrobiologia*, (6), 13-20.
5. SNOUSSI, S. A., HALITIM, A., & VALLES, V. (2004). Absorption hydrique en milieu salin chez la tomate et le haricot. *Cahiers Agricultures*, 13(3), 283-287.
6. SNOUSSI, S. A (2015). Dynamique d'absorption des éléments minéraux (Ca^{++} , K^+ , Mg^{++} et Na^+) chez la tomate et le haricot en milieu salin. *Agrobiologia*, 5 (2), 5.
7. DAOUD, Y., & HALITIM, A. (1994). Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 5(3), 151-160.
8. ROUVILLOIS BRIGL. M. (1975). Le pays de Ouargla Sahara Algérien population de département de géographie de l'université de paris sorbonne. 130 p.
9. NEZLI, I. E., ACHOUR, S., & HAMDIAÏSSA, B. (2009). Approche hydrogéochimique à l'étude de la fluoration des eaux de la nappe du complexe terminal de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). *Courrier du Savoir*, 9, 57-62.
10. Houari, I. M., Nezli, I. E., & Bouregaa, S. (2014). Description Géologique et Géométrique des Formations Aquifères de la Cuvette de Ouargla. *Algerian Journal of Arid Environment*, 258(1627), 1-8.
11. BENAMEUR, F. (2017). Etude de la variabilité spatiale de quelques paramètres pédologiques en surface de sol dans la région de Ouargla. Thèse de l'université de Ouargla.
12. Tabouche, N., & Achour, S. (2004). Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien. *Larhyss Journal*, 3, 99-113
13. AL-KARAKI G N., (2000) - Growth, water use efficiency and sodium and potassium acquisition by tomato cultivars grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition* ; 23 (1) : 1-8
14. BAATOUR O., M'RAH S., BEN BRAHIM N., BOULESNEM F., LACHAAL M., (2004) -Réponse physiologique de la gesse (*Lathyrus sativus*) à la salinité du milieu. *Revue des Régions Arides*; 1: 346-358.

15. Munns R, James RA, Läuchli (2006) A. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *J Exp Bot.*; 57(5):1025-43
16. MARCUM K.B., (2006) -Use of saline and non-potable water in the turf grass industry: Constraints and development. *Agri. Water Manag.*80 : 132-146p.
17. KINET J.M., BENREBIHA F., BOUZID S., LAILHACAR S., DUTUIT P., (1999) - Le réseau Atriplex ou comment allier biotechnologies et écologie pour une sécurité alimentaire accrue en régions semi arides et arides. IN ESTEM Ed, *Actualités scientifiques : Biotechnologie, amélioration des plantes et sécurité alimentaire.*89-100 p.
18. LEGROS J.P., (2009) - La salinisation des terres dans le monde. Académie des sciences et lettres de Montpellier, conférence n°4069 : 257-269p.
19. WANG, X., ZHANG, F., DING, J., LATIF, A., & Johnson, V. C. (2018) - Estimation of soil salt content (SSC) in the Ebinur Lake Wetland National Nature Reserve (ELWNNR), Northwest China, based on a Bootstrap-BP neural network model and optimal spectral indices. *Science of the Total Environment*, 615, 918-930.
20. MUNNS R. (2002) - Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25 :239, p 50.
21. ZURQANI, H., MIKHAILOVA, E., Post, C., SCHLAUTMAN, M., & Sharp, J. (2018). Predicting the Classes and Distribution of Salt-Affected Soils in Northwest Libya. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(6), 689-700.
22. CRONAN, S. (2018) -Soil Biogeochemistry. In: *Ecosystem Biogeochemistry*. Springer, Cham. p. 11-29.
23. EMILE, Y. K., PATRICE, K. K., ODILE, B. L., & ALBERT, Y. K. (2018). Caractéristiques morphopedologiques et géochimiques des sols brunifiés de anikro et de kahankro (centre-sud de la cote d'Ivoire). *European Scientific Journal*, ESJ, 14(3).
24. MERMOUD A., MUSY A., (2006) -Salinisation du sol depuis une nappe peu profonde : Stimulation de l'effet d'un abaissement de la nappe sur les remontées d'eau vers la surface, 42th. Int. Exécutive concil Meeting of ICID, China, 14 :1-9p.
25. DJILI, K., DAOUD, Y., GAOUAR, A., & BELDJOUADI, Z. (2003). La salinisation secondaire des sols au Sahara. Conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 14(4), 241-246.
26. BENICHOU, S. A., BOUGHROUS, A. A., EI OUARGHI, H., BENGAMRA, S., ABOULHASSAN, M. A., & AMHAMDI, H. (2018)- Impact of anthropogenic activities on water quality in Ajdir commune (Al Hoceima, Morocco). 9(5), pp.1588 -1597.
27. LEVITT J., (1980) - Water stress. In *Response of plants to environment stresses*. Vol II.2ed Ed. By T. Kozlowski. Academic press, p 30.

28. HALE, M. G., & ORCUTT, D. M. (1987). The physiology of plants under stress. John Wiley & Sons. 206 p.
29. MONNEVEUX, P., & THIS, D. (1997). La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse: espoirs et difficultés. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 8(1), 29-37.
30. RANTY B., ALDON D., COTELLE V., GALAUD J.P., THULEAU P., MAZARS C. (2016) - Calcium Sensors as Key Hubs in Plant Responses to Biotic and Abiotic Stresses. *Front Plant Sci.* 16, 7-327.
31. WITZEL, K., MATROS, A., MØLLER, A. L., RAMIREDDY, E., FINNIE, C., PEUKERT, M., ... & KASPAR-SCHOENEFELD, S. (2018). Plasma membrane proteome analysis identifies a role of barley membrane steroid binding protein in root architecture response to salinity. *Plant, cell & environment*. Sous presse.
32. SRINIVAS, A., RAJASHEKER, G., JAWAHAR, G., DEVINENI, P. L., PARVEDA, M., KUMAR, S. A., & KISHOR, P. B. K. (2018) - Deploying Mechanisms Adapted by Halophytes to Improve Salinity Tolerance in Crop Plants: Focus on Anatomical Features, Stomatal Attributes, and Water Use Efficiency. In *Salinity Responses and Tolerance in Plants, Volume 1* (pp. 41-64). Springer, Cham. sous presse.
33. MUNNS, R., SCHACHTMAN, D. P. AND CONDON, A. G., (1995) -The significance of a two-phase growth response to salinity in wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.* 22, 561-569.
34. MUNNS R., (1993)-Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant Cell Environ.* 16, 15-24.
35. ÁLVAREZ, S., RODRIGUEZ, P., BROETTO, F., & SANCHEZ-BLANCO, M. J. (2018). Long term responses and adaptive strategies of *Pistacia lentiscus* under moderate and severe deficit irrigation and salinity: Osmotic and elastic adjustment, growth, ion uptake and photosynthetic activity. *Agricultural Water Management*. pp 253-262
36. ROMERO-ARANDA, R., SORIA, T. and CUARTERO, J., (2001)-Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Sci.* 160, 265-272.
37. MELONI, D.A., OLIVA, M.A., RUIZ, H.A. AND MARTINEZ, C.A., (2001)-Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *J. Plant Nutr.* 24, 599-612.
38. GHOULAM, C., FOURSRY, A. et FARES, K., (2002)-Effects of salt stress on growth, Inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environ. Exp. Bot.* 47, 39-50.
39. MUNNS R. (2015) - Salinity tolerance of crops – what is the cost *New Phytologist*, 208, pp 668-673.

40. MOHAMMAD. M., SHIBLI. R., ADJOUNI. M., NIMRI. L., (1998) -Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. J. Plant Nutr.21, pp1667-1680.
41. FISARAKIS, I., CHARTZOULAKIS, K. and STAVRAKAS, D., (2001) - Response of sultana vines (*V. vinifera* L.) on six rootstocks to NaCl salinity exposure and recovery. Agric. Water Manage. 51, pp13-27.
42. PARIDA A.K., DAS, A.B. and MITTRA, B., (2004)-Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove *Bruguiera parviflora*. Trees-Struct. Funct. 18, pp 167-174.
43. IYENGAR, E.R.R. AND REDDY, M. P., (1996) - Photosynthesis in highly salt-tolerant plants. In: M. Pessarakli (ed.), Handbook of Photosynthesis, Marcel Dekker, New York, pp 897-909.
44. AGASTIAN P., KINGSLEY. S.J., VIVEKANANDAN. M., (2000)-Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. Photosynthetica 38,287-290.agriculture, N°57, Ed: PNTTA, Rabat, p 29.
45. LAWLOR DW, CORNIC G. (2006) Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant Cell Environ. 25(2):275-294.
46. PARIDA, A., DAS, A. B., & DAS, P. (2002). NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins, and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. Journal of Plant Biology, 45(1), 28-36.
47. KHAVARINEJAD R.A., MOSTOFI Y. (1998): Effects of NaCl on photosynthetic pigments, saccharides, and chloroplast ultrastructure in leaves of tomato cultivars. Photosynthetica, 35: 151-154.
48. R'him T., Tlili I., Hnan I., Ilahy R., Benali A. et Jebari H. (2013) - Effet du stress salin sur le comportement physiologique et métabolique de trois variétés de piment (*Capsicum annum* L.). Journal of Applied Biosciences, 66, 5060-5069.
49. PARIDA A., DAS K. (2005) - Salt tolerance and salinity effects on plants : a review. Ecotoxicology and Environmental Safety. (60): 324-349 pp.
50. MUNNS. R., JAMES. R. A., LAUCHLI. R., (2006) - Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany; 57 (5): 1025-1043.
51. ASHRAF, M. (2004) - Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 199 (5), 361-376.
52. MAZELIAK P., (1995) - Physiologie végétale, nutrition et métabolisme. Ed HERMAN, Paris, France : p539.

53. HAMROUNI, L., HANANA, M., ABDELLEY, C., & GHORBEL, A. (2011) - Exclusion du chlorure et inclusion du sodium : deux mécanismes concomitants de tolérance à la salinité chez la vigne sauvage *Vitis vinifera* subsp. *sylvestris* (var.'Séjène.) / Chloride exclusion and sodium inclusion : two concomitant mechanisms of salt tolerance in *Vitis vinifera* subsp. *sylvestris* (var.'Séjène') wild type grapevine. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 15(3), 387.
54. SLAMA, F. (1987). Recherches sur les causes de l'exclusion du sodium des feuilles des plantes sensibles à NaCl. *Agronomie*, 7(7), 517-522.
55. HANANA, M., HAMROUNI, L., Hamed, K., & ABDELLEY, C. (2015) - Vigueur de croissance et compartimentation ionique comme critères de sélection et indicateurs de tolérance à la salinité chez les porte-greffes de vigne. *J. New Sci*, 19(4), 722-735.
56. BERTHOMIEU, P., CONEJERO, G., NUBLAT, A., BRACKENBURY, W. J., LAMBERT, C., SAVIO, C., ... & GOSTI, F. (2003) - Functional analysis of AtHKT1 in *Arabidopsis* shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *The EMBO journal*, 22(9), 2004-2014.
57. LERNER H.R., AMZALLAG G.N., FRIEDMAN Y. AND GOLOUBINOFF P., (1994) - The response of plants to salinity : from turgor adjustments to genome modification. *Jsr J. Plant Sci.* 42 : 285-300.
58. Hassani, A., Dellal, A., Belkhodja, M. et Kaid- Harche, M. (2008) - Effet de la Salinité Sur L'eau et Certains Osmolytes Chez L'orge (*Hordeum Vulgaris* L) *European Journal of Scientific Research*. Vol.23, n°1, pp.61-69.
59. SHABALA, S. N., & CUIN, T. A. (2006)-Osmoregulation versus osmoprotection: re-evaluating the role of compatible solutes. *Agricultural Science* 405-416 pp.
60. VERSLUES, P. E., & SHARMA, S. (2010). Proline metabolism and its implications for plant-environment interaction. *The arabidopsis book*, p 140.
61. WYSE, R. E., ZAMSKI, E., & TOMOS, A. D. (1986) - Turgor regulation of sucrose transport in sugar beet taproot tissue. *Plant Physiology*, 81(2), 478-481.
62. MOURI, C., BENHASSAINI, H., BENDIMERED, F. Z., & BELKHODJA, M. (2012) - Variation saisonnière de la teneur en proline et en sucres solubles chez l'oyat (*Ammophila arenaria* (L.) Link) provenant du milieu naturel de la côte ouest de l'Algérie. *Acta Botanica Gallica*, 159(1), 127-135.
63. ABDELLEY. C., BEN AMOUR. N., BEN HAMED. K., DEBEZ. A., et GRIGNON. C., (2005) - Physiological and antioxydant responses of the perennial halophyte *Crithmum maritimum* to salinity. *Plant Science* 168. Tunisie. pp : 889 - 899.
64. BLANC D., (1987) - Les cultures hors sol. INRA, Paris, 409 p.
- BENTON JONES J.R., (2005)-hydroponics: A practical guide for the soilless grower.2nd Ed CRC press New York: 349p.
65. MORARD P., (1995) - les cultures végétales en hors sol, Pub. Agris, Paris : 301p.

66. GERICKE, W.F., (1937) - Hydroponics-crop production in liquid culture media. *Science* 85: 177.
67. SCHWARZ, M. (2012) - Soiless culture management (Vol. 24). Springer Science & Business Media. 197p.
68. URBAN L., (1997) -Introduction à la production sous serre : irrigation fertilisante en culture hors sol (TOME 2). Ed. Maison Rustique. Paris : 180p.
69. COIC Y. & LESAIN CH., (1983) - Cultures hydroponiques, technique d'avenir, Ed. Maison Rustique, Paris, 300 p.
70. CHAPMAN, N., MILLER, A. J., LINDSEY, K., & WHALLEY, W. R. (2012). Roots, water, and nutrient acquisition: let's get physical. *Trends in plant science*, 17(12), 701-710.
71. COOPER, A. (1979) - The ABC of NFT. Nutrient film technique. Grower Books. 181 p.
72. WEBER, J. (2004) - Etude des interactions symbiotiques entre *Acacia mangium* et ses partenaires fixateurs d'azote et mycorhiziens en culture aéroponique et autres systèmes. Thèse de Doctorat, Nancy 1. 171p.
73. GRAD, I., MĂNESCU, C., MATEOC, T., & MATEOC-SÎRB, N. (2014) - New trends in agriculture-crop systems without soil. *Scientific Papers : Management, Economic Engineering in Agriculture & Rural Development*, 14(1). pp143-146.
74. FEVRAU J., (1987) - culture en containers. *Revue horticole*.33 :17-19p.
75. HOAGLAND, DENNIS R, ARNON, Daniel I. et al. (1950) - The water-culture method for growing plants without soil. Circular. California agricultural experiment station, 2nd edit. vol. 347. 32 p.
76. MARSCHNER M (1995) - Mineral Nutrition in Higher Plants. 2 ed. London: Academic Press. 128p.
77. SONNEVELD, C., & VOOGT, W. (2009) - Nutrient management in substrate systems. In *Plant nutrition of greenhouse crops*. Springer, Dordrecht. pp 277-312.
78. TOURNIER, P. H. (2015) - Absorption de l'eau et des nutriments par les racines des plantes : modélisation, analyse et simulation. Thèse de Doctorat. Université Paris VI. 164 p.
79. MAZINGA, K. M., Van KONINCKXLOO, M., JARA, M. G., LONGANZA, L. B., & LOUVIEAUX, J. (2013) - Acclimatation de vitroplants de bananier (*Musa* sp.) en culture hydroponique : impact de différentes concentrations en cuivre sur la croissance des vitroplants. *Tropicultura*, 31(2), 110-120.
80. CHARBONNEAU, J., GOSSELIN, A., & TRUDEL, M. J. (1988) - Influence de la conductivité électrique de la solution nutritive sur la croissance et le développement de la tomate de serre cultivée avec ou sans éclairage d'appoint. *Canadian journal of plant science*, 68(1), 267-276.

81. BRUN, R., & BLANC, D. (1987) - Cinétique de l'absorption hydrique et minérale. Composition ionique des solutions. Les Cultures Hors Sol. Ed. D Blanc, 203-220.
82. Hewitt, E. J. (1966) - Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Commonwealth Agricultural Bureaux. 600 p.
83. COÏC, Y., & COPPENET, M. (1989). Les oligo-éléments en agriculture et élevage : Incidence sur la nutrition humaine. Editions Quae. 134 p.
84. LOUÉ A., (1993) –Oligo-éléments en agriculture. 2ème édition Nathan, Paris. 577p.
85. TRAN, T.S., M. GIROUX, P. AUDRESSE et J. GUIBAULT, (1995) - Importance des oligo-éléments en agriculture : symptômes visuels de carence, analyses des végétaux et des sols. Agro sol, Vo. 8 (1) :12-22 pp.
86. STENUIT, D., & PIOT, R. (1957) - Etude des symptomes de carence en manganese et influence du manganese sur la croissance de differents vegetaux. Pedologie, 271p.
87. VINSON J., (2003) - L'acidité des sols en Bretagne, un handicap pour l'agriculture ; Portail de l'information environnementale de Bretagne. Agrocompus Ouest. 6 p.
88. JANEL, P., MONROZIER, L. J., & TOUTAIN, F. (1979) - Caractérisation de l'azote des litières et des sols par hydrolyse acide. Soil Biology and Biochemistry, 11(2), 141-146.
89. LORENT V. & WOUTERS P. (2002) - Le pH du sol, estimer le niveau trophique du sol, Fiche technique N° 4, Belgique, 1-8 pp.
90. ANONYME (2003) - Détermination du pH à l'eau dans les sols agricoles, centre d'expertise en analyse environnementale du Québec et Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, M.A. 1010 – pH 1.0, 8 P.
91. BRUN, R., & MONTARONE, M. (1987) - pH du milieu et réaction de la plante, différences spécifiques et variétales. Les Cultures hors Sol (Blanc D, ed) INRA, Paris, 153-170 pp.
92. CAUDWELL, C. (1987) - Etude expérimentale de la formation de micrite et de sparite dans les stromatolites d'eau douce à Rivularia. Bulletin de la Société géologique de France, 3(2), 299-306 pp.
93. SNOUSSI, S. (2014) - Impact du potentiel hydrogene (pH) d'un environnement salin dans la nutrition de deux glycophytes cultivees. Revue Agrobiologia,(6),13-20.
94. SPRING, J. L. (2017). Nutrition de la vigne. Revue suisse de viticulture, arboriculture et horticulture, 49(1), 17-18 pp.
95. PERON J. Y. (2006) - Production légumières, 2^{eme} Ed., Lavoisier, France, synthèse agricole, 613 p.
96. DAGBA L. E., (1988) - Les facteurs du milieu, notamment la température, et le port du haricot, Phaseolus vulgaris. Rev. Cyto. Bio. végét. -Bot., vol 11, pp 85-112.

97. BAUDOUIN J.P, VANDERBORGHT T., KIMANI P.M, et MW'ANGOMBE A.W., (2003) - Légumes à grains : Haricot. In Agriculture en Afrique Tropicale, Bruxelles, DGCI, p.337-355.
98. BAUDET, J. C. (1977) - Origine et classification des espèces cultivées du genre *Phaseolus*. Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique/Bulletin van de Koninklijke Belgische Botanische Vereniging, 65-76 pp.
99. FERNANDEZ F., GEPTS P. & MARCELIANO LOPEZ G. (1987) - Étape de développement de la plante du haricot commun, cahier d'étude série 4 F.B-9. 03. Ed. Joëlle Coquerie de Gomez, Colombia, 32 p.
100. ZEE, J. A., POIRIER, D., CUSSON, M., ROBERGE, A. G., & SEVIGNY, J. (1987) - Valeurs nutritives des fruits et légumes produits et consommés au Québec. Canadian Institute of Food Science and Technology Journal, 20(5), 350-356 pp.
101. LABUSCHAGNE (2011) - Haricot (*Phaseolus vulgaris*), Ed. P.I.P. 98 P.
102. PERRET C. & BÉLIARD E. (2013) - Cultiver des haricots verts, Fiche technique N° 9016, 1 - 6 pp.
103. HUBERT P. (1978) - Le haricot, Fiches techniques, Madagascar, 1- 6 pp.
- 104 HALLOUIN (2012) - Tout savoir sur la culture du Haricot sous abris et en plein champ, fiche culturelle haricot, 3-16 pp.
105. LABUSCHAGNE (2011) - Haricot (*Phaseolus vulgaris*), Ed. P.I.P. 98 P.
106. Vargas, A. A., & Graham, P. H. (1988) - *Phaseolus vulgaris* cultivar and Rhizobium strain variation in acide - pH tolérance and nodulation under acid conditions. Field Crops Research, 19(2), 91-101.
107. ZUANG H., (1982) - La fertilisation des cultures légumières, ctifl, Paris : 395p.
108. CHAUX C. et FOURY C., (2001) - Productions légumières, tome 3 : légumineuses Potagères et légumes fruits, Lavoisier Tec&Doc. 120 p.
109. LAUMONNIER R. (1979) - Cultures légumières et maraichères, Tome III, Ed. J-B. Bailliere, 276 P.
110. PERON J. Y. (2006) - Production légumières, 2^e Ed., Lavoisier, France, synthèse agricole, 613 P.
111. CHANFORAN C. (2010) - Stabilité de micro-constituants de la tomate (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamines C et E), Thèse doctorat, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 388 p.
112. EL FADL A. & CHTAINA. N. (2010) - Étude de base sur la culture de la tomate au Maroc, Projet GTFS-REM-070-ITA, 110 P.
113. PERALTA, I. E., SPOONER, D. M., & KNAPP, S. (2008) - Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*; *Solanaceae*). *Systematic Botany Monographs*, 84 p.

114. Peralta, I. E., Spooner, D. M., & Knapp, S. (2008). Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (Solanum sect. Lycopersicoides, sect. Juglandifolia, sect. Lycopersicon; Solanaceae). *Systematic Botany Monographs*, 84p.
115. Fouqué, A. (1973). *Especies frutieras d'Amérique tropicale : Famille des Solanacees. Fruits*, 28 (1), 40-49 pp.
116. EL HAJRI J. (2010) - Répartition des températures et culture des tomates en Tunisie, Publication de l'Association Internationale de Climatologie, Vol. 15, Université de Manouba, Tunisie, 80-86 pp.
117. ANONYME (1999) - Tomate sous serre, fiche technique N°57, Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat, 1- 4 pp.
118. Munns R. & Tester M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59: 651-681.
- [119. ZHANG P., SENGE M., DAI Y. (2016) - Effects of salinity stress on growth, yield, fruit quality and water use efficiency of tomato under hydroponic system. *Reviews in Agricultural Science*, 4: 46-55.
120. LAZOF D. & LÄUCHLI A. (1991) - The nutritional status of the apical meristem of *Lactuca sativa* as affected by NaCl salinization: An electron-probe microanalytic study. *Planta* Volume 184, Issue 3, pp 334-342.
121. ADAMS P., GRAVES C.J. & WINSOR G.W. (1986) - Some effects of micro nutrients and liming on the yield, quality and micronutrient status of lettuce grown in beds of peat. *J. Hort. Sci.* 6 : 515-521.
122. WEST G., DIRK I. & GERRIT T.S. BEEMSTER (2004) - Cell cycle modulation in the response of the primary root of *Arabidopsis* to salt stress, *Plant Physiology*, Vol. 135, pp.1050-1058.
123. JULKOWSKA M., HUUB C.J. HOEFSLOOT, SELINA M., FERON R., De BOER G.-J., HARING M. A. & TESTERINK C. (2014) - Capturing *Arabidopsis* root architecture dynamics with root-fit reveals diversity in response to salinity. *Plant Physiology*. Vol. 166, pp. 1387–1402.
124. Parida A.K., Veerabathini S.K., Kumari A. & Agarwal P. K. (2016) - Physiological, Anatomical and Metabolic Implications of Salt Tolerance in the Halophyte *Salvadora persica* under hydroponic Culture Condition. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 7, 320-351 pp.
125. VIJAYAN K., CHAKRABORTI S. P., ERCISLI S. & GHOSH P. D. (2008) - NaCl induced morpho-biochemical and anatomical changes in mulberry (*Morus* spp.). *Plant Growth Regul.*, 56, 61-69 pp.
126. BOUGHALLEB F., ABDELLAOUI R., BEN BRAHIM N., NEFFATI M. (2014) - anatomical adaptations of *Astragalus gombiformis* Pomel under drought stress. *Current European Journal of Biology*. 9(12), 1215-1225 pp.

127. IBRIZ M., THAMI ALANU I., ZENASNIT L., ALFAIZ C. et BENBELLA T., 2005- l'Effet de la salinités sur le rendement en biomasse et la composition en éléments Minéraux d'écotypems marocain de luzerne (*Medicagos sativa* L.).ALAWAMIAI n 3,pp. 107-119.
128. HAYAT S., HAYAT Q., ALYEMENI M. N., WANI A. S., PICHTEL J. & AHMAD A. (2012) - Role of proline under changing environments.Plant Signal Behav. 7(11): 1456–1466 pp.
129. LEMOINE R., SYLVAIN L.C., ATANASSOVA R., DEDALDECHAMP F., ALLARIO T., POURTAU N., BONNEMAIN J.-L, LALOI M., COUTOS-THEVENOT P., MAUROUSSET L., FAUCHER M., GIROUSSE C, LEMONNIER P., PARRILLA J. & DURAND M. (2013) - Source-to-sink transport of sugar and regulation by environmental factors. Front Plant Sci. 4: 272 p.
130. PARIDA A. K. and DAS O. (2005) - Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and Environmental Safety.Vol. 60. 324–349 pp.
131. LAWLOR DW, CORNIC G. (2006) - Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant Cell Environ. 25(2) :275-294 pp.
132. PARIDA, A., DAS, A.B., DAS, P., (2002) - NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. J. Plant Biol. 45, 28-36 pp.
133. LI R., SHI F. & FUKUDA K. (2010) - Interactive of salt and alkali stresses on seed germination, germination recovery, and seedling growth of a halophyte *Spartina alterniflora* (Poaceae). South African Journal of Botany. 76, 380-387 pp.
134. MONSHAUSEN G.B., BBIBIKOVA T. N., MESSERLI M. A., SHI C., & GILROY S. (2007) - Oscillations in extracellular pH & reactive oxygen species modulate tip growth of *Arabidopsis* root hairs. Vol. 104, 52 p.
135. Gill PK, SHARMA AD, SINGH P, BHULLAR SS (2001) - Effect of various abiotic stresses on the growth soluble sugars and water relations of sorghum seedlings grown in light and darkness. Bulg J Plant Physiol. 27,72-84 pp.
136. KHAVARINEJAD R.A., MOSTOFI Y. (1998) - Effects of NaCl on photosynthetic pigments, saccharides, and chloroplast ultrastructure in leaves of tomato cultivars. Photosynthetica, 35, 151–154pp.
137. ROSA M.,PRADO C., PODAZZA G., INTERDONATO R., GONZÁLEZ J.A.,M HILA M.I and PRADO F.E.(2009) - Soluble sugars : Metabolism, sensing and abiotic stress. A complex network in the life of plants. Plant Signal Behav. 4(5), 388–393 pp.
138. WATANABE S., KOJIMA K. IDE Y. SASAKI S. (2000) - Effects of saline and osmotic stress on proline and sugar accumulation in *Populus euphratica* in vitro. Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 63, 199 p.

139. HERNANDEZ, S., DELEU, C. et LARHER, F. (2000) - Accumulation de proline dans les tissus foliaires de tomate en réponse à la salinité. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series III - Sciences de la Vie*, vol. 323, no 6, p. 551-557.
140. SUASSUNA J.H., FERNANDES P.D., BRITO M.E.B., CASTRO ARRIEL N.H., SOARES DE MELO A., DANTAS FERNANDES J. (2017) - Tolerance to Salinity of Sesame Genotypes in Different *Phenological* Stages. *American Journal of Plant Sciences*. 8, 1904-1920 pp.
141. Olympios, C.M., I.C. Karapanos, K. Lionoudakis and I. Apidianakis,(2003). The growth, yield and quality of greenhouse tomato in relation to salinity applied at different stages of plant growth. *Acta Hort*. 609, 313–320 pp.
142. MUNNS R. (2015)- Salinity tolerance of crops – what is the cost *New Phytologist*, 208, 668–673 pp.
143. MUNNS R. and RAWSON H. M. (1999) - Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol*. 26, 459-464 pp.
144. GHANEM, M. E., VAN ELTEREN, J., ALBACETE, A., QUINET, M., MARTÍNEZ-ANDÚJAR, C., KINET, J. M., ... & LUTTS, S. (2009) - Impact of salinity on early reproductive physiology of tomato (*Solanum lycopersicum*) in relation to a heterogeneous distribution of toxic ions in flower organs. *Functional Plant Biology*, 36(2), 125-136 pp.
145. KHAN, M. A., & GULZAR, S. (2003) - Light, salinity, and temperature effects on the seed germination of perennial grasses. *American Journal of Botany*, 90(1), 131-134 pp.
146. SAITO T. MATSUKURA C. (2014) - Effect of Salt Stress on the Growth and Fruit Quality of Tomato Plants. *Abiotic Stress Biology in Horticultural Plants*, 3-16 pp.
147. ZUSHI K. (2008) - Application of salt stress in production of high quality tomato. *Bulletin of the Society of Sea Water Science, Japan*, 62, 4, 179-185 pp.
148. JOHKAN M., NAGATSUKA A., YOSHITOMI A., NAKAGAWA T., MARUO T., TSUKAGOSHI S., HOHJO M.-a., Lu N., NAKAMINAMI A., TSUCHIYA K., SHINOHARA Y. (2014) - Effect of moderate salinity stress on the sugar concentration and fruit yield in single-truss, high-density tomato production system. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* .38, 3, 229-234 pp.