

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE SCIENCES

DEPARTEMENT D'AGRONOMIQUES

N° :.....



DOMAINE : SNV

FILIERE : sciences agronomiques

OPTION : production végétale

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : M^r BEN NOUIOUA Ilyas

M^r CHAIMA Djallal

Intitulé

Caractérisation morphologique et l'effet du stress salin sur
le comportement de quelques variétés du carotte (Daucus
carota L.) cultivée dans la région de M'sila.

Soutenu devant le jury composé de :

-Mr. GUENDOUZEN O.	Université de M'sila	MAA	Président
-Mr. HADJ KOUIDER B.	Université de M'sila	MCB	Promoteur
-Mme. LALLOUCHE B.	Université de M'sila	MCB	Co- Promoteur
-Mr. TORCHIT N.	Université de M'sila	MAA	Examineur

Année universitaire 2018/2019

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Nous tenant à remercier sincèrement **Mm LALLOUCHE** et **Mr HADJKOUIDER**, qui, en tant que Directeurs de mémoire, se sont toujours montrés à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Nous tenons également à remercier messieurs les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance, tout particulièrement :

Mr GUENDOUZEN O. pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury de cette mémoire.

Mr TORCHIT N. pour avoir accepté d'examiner ce travail.

On n'oublie pas l'équipe de Laboratoire d'Amélioration des Plantes pour leur contribution et leur soutien.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à nos parents pour leur soutien et leur patience et à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Je dédie ce travail à

Mon cher parent

Azouz Ouissam

Chaima Kamel

Qui m'ont entourés de tous soins imaginables pour atteindre à cet aboutissement ; Je ne trouverai jamais des mots pour vous exprimer ,mon profond attachement et ma reconnaissance pour l'amour,

La tendresse et surtout pour votre présence dans mes moments les plus difficiles

Enfin, à tous ceux qui savent donner sans recevoir, qui aident sans

Retour.

Djallal



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*Ceux qui j'ai tant aimé avec beaucoup d'affection et que je suis très fière
de les avoir comme parent et que tous les mots du monde ne peuvent exprimer
à Hadjersi et pour leurs soutiens et leurs sacrifices énormes.*

À mes frères ; Oussama, Hamza, Soheyb, Ibrahim, Mohamed.

À ma soeur Selsabil.

À ma belle soeur Sara

À SADJA

À ma belle soeur Karima

Qui m'a soutenu tout au long de l'université

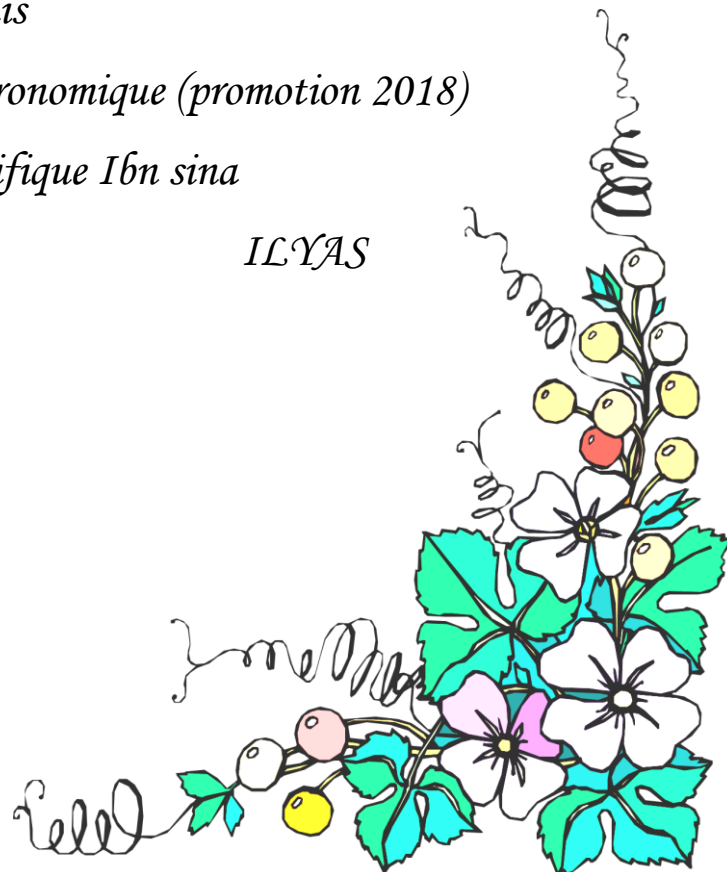
Sincèrement

À Mes amis

À tous les étudiants de la section agronomique (promotion 2018)

Membres du club scientifique Ibn sina

ILYAS



RESUME

La présente étude vise tout d'abord à observer l'effet comparatif de la salinité sur le comportement de six variétés de carotte (*Daucus carota* L.) (Muscad d'Alger, Super Muscad, Nantaise, Nantaise amélioré, Touchon, Breclium). À cet effet, des graines des différentes variétés sont semées en pots remplis de terre agricole. Sept concentrations de NaCl (témoin), 25mM, 50, 75, 100, 125mM et 150 mM ont été appliquées pendant 100 jours. Taux de germination, poids frais des parties aérienne et racinaire, longueur total des plants de racine (carotte commercialisable), ont été analysés. Les résultats ont montré que le stress salin a un effet dépressif sur la croissance et le développement des différentes variétés de carotte. D'après l'analyse de la variance et la comparaison de $F_{\text{observé}}$, le poids frais totale des plants admis comme marqueur morphologique de stress. Les résultats obtenus suivant cette stratégie montrent les deux variétés Muscad d'Alger et Super Muscad sont plus tolérante au stress salin que les autres variétés. L'expérience suivante étudie la variation phénotypique de six variétés de carotte, semis en ligne sous micro serre dans la station expérimentale au département d'agronomie en utilisant 39 descripteurs de l'UPOV (2015), en vue de rechercher lequel des 39 descripteurs peuvent être utilisés comme de puissants estimateurs de la diversité phénotypique au sein des variétés de carotte. L'analyse des composantes principales (ACP) a résumé l'information contenue dans les trente-neuf variables en 2 composantes qui restituent 66,257% de la variance totale. La classification ascendante hiérarchique a permis de distinguer 3 classes. L'ACP a montré que 15 variables contribuent le plus à discriminer les différentes classes. Ces caractères peuvent constituer des critères de base pour différencier les variétés de carotte en Algérie. Les différentes classes peuvent servir de géniteurs dans la création de variétés améliorées.

Mots-clés :Carotte, *Daucus carota* L., variétés, stress salin, marqueur morphologique. Descripteurs morphologique, UPOV

ABSTRACT

The present study aims to observe the comparative effect of salinity on the behavior of six carrot varieties (*Daucus carota* L.) (Muscad of Alger, Super Muscad, Nantaise, Nantaise improved, Touchon and Breclium). For this purpose, seeds of different varieties are sowing in pots filled with agricultural soil. Seven concentrations of NaCl (controlled), 25mM, 50, 75, 100, 125mM and 150mM were applied for 100 days. Germination rate, fresh weight of aerial and root parts, total length of root plants (marketable carrot), were analyzed. The results showed that salt stress has a depressive effect on the growth and development of different carrot varieties. From the analysis of the variance and comparison of observations noted, the total fresh weight of the plants admitted as a morphological stress marker. The results obtained according to this strategy show the two varieties Muscad of Alger and Super Muscad are more tolerant to salt stress than the other varieties. The following experiment investigates the phenotypic variation of six carrot varieties, in-line micro greenhouse seedlings, in the experimental station at the Department of Agronomy using 39 UPOV descriptors (2015), to identify which of the 39 descriptors could be used as powerful estimators of phenotypic diversity within carrot varieties. The Principal Component Analysis (PCA) summarized the information contained in the thirty-nine variables into two components that yield 66.257% of the total variance. The ascending hierarchical classification made it possible to distinguish three classes. The PCA has shown that 15 variables contribute the most to discriminate the different classes. These characters can be basic criteria for differentiating carrot varieties in Algeria. The different classes can serve the genetics in the creation of improved varieties.

Keywords: Carrot, *Daucus carota* L., varieties, salt stress, morphological marker. Morphological descriptors, UPOV

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى ملاحظة التأثير المقارن للملوحة على سلوك ست أنواع من الجزر (*Daucus carota L.*) وهي كالتالي (موسكاد الجزائر، سوبر موسكاد، نانناز، نانناز اميلبوري، توشون، وبريكليوم).

لهذا الغرض، تزرع بذور من أنواع مختلفة في اوعية مملوءة بالترربة الزراعية. حيث تم تطبيق 7 تراكيز من الملح (NaCl) ، 25 ميلي مول، 50، 75، 100، 125 ميلي مول و150 ميلي مول لمدة 100 يوم. تم تحليل معدل إنبات، والوزن الحي للأجزاء الهوائية والجذرية، الطول الكلي للنباتات الجذرية (الجزر القابل للتسويق). أظهرت النتائج أن ضغط الملح له تأثير سلبي على نمو وتطور أنواع مختلفة من الجزر. فمن تحليل التباين ومقارنة الملاحظات التي تمت ملاحظتها، تم اعتماد الوزن الكلي للنباتات كعلامة إجهاد مورفولوجي. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها وفقاً لهذه الاستراتيجيات أن نوعي موسكاد الجزائر، سوبر موسكاد هما الأكثر تحملاً لإجهاد الملح من الأصناف الأخرى. تبحث التجربة التالية في التباين المظهري لستة أصناف من الجزر المزروعة في خطوط تحت دفيئة مصغرة، في المحطة التجريبية في قسم الهندسة الزراعية باستخدام 39 واصفاً من (UPOV 2015) ، لتحديد أي من الواصفات الـ 39 يمكن أن تستخدم كمقدرات قوية للتنوع المظهري داخل اصناف الجزر. قام تحليل المكونات الرئيسية (ACP) بتلخيص المعلومات الواردة في المتغيرات التسعة والثلاثين إلى مكونين ينتجان 66.257% من إجمالي التباين. مكنتنا التصنيف الهرمي التصاعدي من تمييز 3 فئات. حيث أظهر ACP أن 15 متغيراً تساهم بشكل كبير في التمييز بين الفئات المختلفة. يمكنها أن تشكل معايير الأساسية للتمييز بين أصناف الجزر في الجزائر. يمكن للفئات المختلفة أن تخدم المختصين الجينيين في إنشاء أنواع محسنة من الجزر.

الكلمات المفتاحية: الجزر، *Daucus carota L.*، الأصناف، الإجهاد الملح، العلامة المورفولوجيا. واصفات المورفولوجيا، UPOV

TABLE DE MATIERE

REMERCIEMENT :

RESUME :

TABLE DE MATIERE:

LISTE D'ABREVIATION :

LISTE DES FIGURES :

LISTE DES TABLEAUX :

INTRODUCTION:

CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ESPECE ETUDIEE

1.1. Origine et répartition géographique	15
1.2. Classification botanique :.....	16
1.3. Description morphologique et génétique:.....	17
1.4. Cycle de développement:.....	19
1.5. Exigences de la culture de carotte (<i>Daucus carota</i> L.) :.....	20
1.5.1. Exigences climatiques:.....	20
1.5.2. Exigences pédologiques:.....	20
1.5.3. Exigences techniques :.....	21
1.6. Sélection variétale:.....	23
1.6.1. Objectifs de la sélection :.....	23
1.6.2. Sélection appliquée à la carotte :.....	23
1.6.3. Caractères travaillés en création variétale chez la carotte :.....	24
1.7. Maladies et ravageurs de la carotte :.....	26
1.7.1. Les maladies racinaires :.....	26
1.7.2. Les maladies foliaires :.....	27
1.7.3. Les ravageurs :.....	28
1.8. Intérêt de carotte:.....	28
1.8.1. Intérêt alimentaire:.....	28
1.8.2. Intérêt économique :.....	28
1.8.3. Intérêt industrie non alimentaire:.....	29
1.8.4. Intérêt fourragère:.....	29

CHAPITRE II : STRESS SALIN

2.1. Généralité sur la salinité:.....	31
2.1.1 Définition:.....	31
2.1.2 Principaux sels solubles:.....	31
2.1.3 Les Types de la salinité des sols:.....	32
2.1.4 Salinité et la plante:.....	33
2.1.4.1 Définition du stress:.....	33
2.1.4.2 types de stress:.....	33
2.1.4.3. Les composantes de la contrainte saline:.....	33
2.1.4.4 Effet de la salinité sur les plantes:.....	35
2.1.4.5 Mécanismes de la tolérance des plantes au stress salin:.....	37
2.1.4.6 Mécanisme d'adaptation des plantes à la salinité:.....	40

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

3.1. Introduction :.....	42
3.1.2. Présentation de station expérimentale:.....	42
3.1.3. Etude pédoclimatique du site expérimentale:.....	42
3.1.3.1. Données climatiques:.....	42
3.1.3.2. Analyse physico-chimique du sol:.....	44
3.2. Première partie expérimentale : Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de carotte (<i>Daucus carota</i> L.) :	47
3.2.1. Matériel végétal:.....	47
3.2.2. Mise en place et conduite de l'essai:.....	47
3.2.3. Dispositif expérimental utilisé :.....	48
3.2.4. Paramètres étudiés:.....	48
3.2.5. Analyse statistique :.....	49
3.3. Deuxième partie expérimentale : Caractérisation phénotypique de quelques variétés de carotte (<i>Daucus carota</i> L.) cultivée dans la région de M'sila :	50
3.3.1. Matériel végétal :.....	50
3.3.2. Préparation des planches de plantation :.....	50
3.3.3. Semi :.....	50
3.3.4. Irrigation:.....	51
3.3.5. Désherbage :.....	51

3.3.6. Eclaircissage :.....	51
3.3.7. Dispositif expérimental :.....	51
3.3.8. Echantillonnage et méthode d'étude :.....	51
3.3.9. Analyses statistiques :.....	52

CHAPITRE VI : RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Première partie expérimentale : Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de carotte (<i>Daucus carota</i> L.) :	56
4.1.1. Effet du stress salin sur le pourcentage de germination des graines.....	56
4.1.2. Effet du stress salin sur la longueur totale des plants :.....	58
4.1.3. Effet du stress salin sur la longueur des feuilles :.....	59
4.1.4. Effet du stress salin sur la longueur des racines :.....	60
4.1.5. Effet du stress salin sur le poids frais total des plants :.....	62
4.1.6. Classification des différentes variétés de carotte étudiée:.....	65
DISCUSSION:.....	66
4.2. Deuxième partie expérimentale : Caractérisation phénotypique de quelques variétés de carotte (<i>Daucus carota</i> L.) cultivée dans la région de M'sila	68
4.2.1. Analyses en composantes principales:.....	68
4.2.1.1. Représentations des variables et des individus:.....	69
4.2.1.2. Analyse de la diversité par la classification Hiérarchique Ascendante	72
4.2.1.3. Analyse de la matrice des corrélations (Pearson (n) :... ..	75
DISCUSSION:.....	76
CONCLUSION	
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXE	

LISTE D'ABREVIATIONS

FAO: Food and agriculture organization

IPGRI : **Institute** internationale des ressources phylogénétiques

ONM : Organisation national de météo

U.P.O.V: Union internationale pour la protection des obtentions végétales

D.S.A: Direction des services agriculture

C : concentration.

C° : degré Celsius.

C₀ : concentration à 0 g/l de NaCl (0mM).

Cm : centimètre

g : gramme

ha : hectare

Cl⁻ : ion de chlore.

DDL : Degré de liberté.

K⁺ : ion de potassium.

MF : matière fraîche.

mm : millimètre.

mM : milli mole.

Na⁺ : ion de sodium.

Ns : non significatif.

pH : potentiel hydrogène.

PPAS : plus petit amplitude significatif.

Prb : probabilité.

S : signification.

µg/100Mg de MF : microgramme par 100 milligramme de matière fraîche.

ACP : Analyse des composants principal

MO : matériel organique

T° : température

m : mètre

CAH : Classification ascendant hiérarchique

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Aspect morphologique de carotte (<i>Daucus carota</i> L.).....	18
Figure 1.2 : Évolution de la production mondiale de carotte (FAO, 2013).....	30
Figure 1.3 : Évolution de la production de carotte en Algérie (FAO, 2013).....	30
Figure 3.1 : Matériel végétal de 6 variétés de carotte (<i>Daucus carota</i> L.).....	47
Figure 3.2 : Mise en culture	48
Figure 3.3 : Préparation des planches de plantation.....	50
Figure 3.4 : semi en ligne	51
Figure 4.1 : Effet du stress salin sur le taux de germination de six variétés de carotte (<i>Daucus carota</i> L.)	57
Figure 4.2 : Germination des graines de quelques variétés de carotte (<i>Daucus carotta</i> L.)	57
Figure 4.3 : Effet du stress salin sur la longueur totale des plants de six variétés de carotte (<i>Daucus carota</i> L.)	59
Figure 4.4 : Effet du stress salin sur la longueur des feuilles de six variétés de carotte (<i>Daucus carota</i> L.)	60
Figure 4.5 : Effet du stress salin sur la longueur des racines de six variétés de carotte (<i>Daucus carota</i> L.)	61
Figure 4.6 : Effet du stress salin sur le poids frais total des plants de six variétés de carotte (<i>Daucus carota</i> L.)	63
Figure 4.7 : Effet du stress salin sur le poids frais des feuilles de six variétés de carotte (<i>Daucus carota</i> L.)	63
Figure 4.8 : Effet du stress salin sur le poids frais des racines (carotte commercialisable) de six variétés de carotte (<i>Daucus carota</i> L.)	64
Figure 4.9 : Distribution des variables et des variétés de carotte (<i>Daucus carota</i> L.) dans le plan 1-2 révélée à partir de l'ACP.	71
Figure 4.10 : Répartition des 6 variétés de carotte (<i>Daucus carota</i> L.) dans le plan 1-2 de l'ACP	72
Figure 4.11 : Classification hiérarchique des différentes variétés de carotte étudiées (<i>Daucus carota</i> L.). (CAH)	73
Figure 4.12 : Le 1ere class des variétés	73
Figure 4.13 : Le 2eme class des variétés.....	74
Figure 4.14 : Le 3eme class des variétés.....	75

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Superficie et production de carotte dans quelques régions de la wilaya de M'sila ...	17
Tableau 3.1 : Température mensuelle moyenne, minimale et maximale (°C).....	43
Tableau 3.2 : Pluviométrie mensuelle (mm).....	43
Tableau 3.3 : Normes d'interprétation de taux de la matière organique.	45
Tableau 3.4 : Normes d'interprétation du calcaire total.....	45
Tableau 3.5 : Caractéristiques physico-chimiques du sol.....	46
Tableau 3.6 : Descripteurs morphologiques et phénologiques utilisés pour la caractérisation des espèces de carotte (<i>Daucus carota</i> L.) en Algérie (UPOV2015).	53
Tableau 4.1 : Pourcentage de germination des graines (%) de six variétés de carotte sous différentes concentration de NaCl	57
Tableau 4.2 : Test statistique de signification de Fisher a $\alpha=5\%$ de la longueur totale des plants de six variétés de carotte sous différentes concentration de NaCl	58
Tableau 4.3 : Test statistique de signification de Fisher a $\alpha=5\%$ de la longueur des feuilles de six variétés de carotte sous différentes concentration de NaCl	60
Tableau 4.4 : Test statistique de signification de Fisher a $\alpha=5\%$ de la longueur des racines de six variétés de carotte sous différentes concentration de NaCl	61
Tableau 4.5 : Test statistique de signification de Fisher a $\alpha=5\%$ de poids frais totale des plants de six variétés de carotte sous différentes concentration de NaCl	62
Tableau 4.6 : Test statistique de signification de Fisher a $\alpha=5\%$ de poids frais des feuilles de six variétés sous différentes concentration de NaCl	63
Tableau 4.7 : Test statistique de signification de Fisher a $\alpha=5\%$ de poids frais de carotte commercialisable de six variétés sous différentes concentration de NaCl	64
Tableau 4.8 : Classification des différents paramètres analysés selon le test F.....	65
Tableau 4.9 : Valeurs propres et pourcentage de variation exprimée par les quatre premiers axes à partir de 39 caractères analysés chez six variétés de carotte (<i>Daucus carota</i> L.).	68
Tableau 4.10 : Corrélation des variables avec les composantes.....	69

INTRODUCTION

Daucus carota (carottes sauvages et cultivées) est une espèce de plantes à fleurs dicotylédones de la famille des *Apiaceae* est cultivée pour sa racine pivotante chargée de réserves. La carotte orange cultivée est bien différente de la carotte sauvage. Les carottes comptent parmi les produits agricoles les plus populaires au monde et comptent parmi les légumes les plus importants sur le plan économique. Les carottes sont également un produit d'exportation agricole essentiel pour de nombreux pays du monde. La Chine est le premier pays producteur de carottes au monde depuis de nombreuses années, 45% de la production mondiale de carottes provenant de Chine. Les autres pays producteurs de carottes sont la Russie, les États-Unis et l'Europe (FAO, 2014).

Le centre de diversification principal de l'espèce *Daucus carota* est situé en Afghanistan, au pied des montagnes de l'Himalaya et de l'HinduKush (Mackevic, 1929 ; Banga, 1963). La domestication aurait consisté à sélectionner des plantes à racine plus charnue, moins fibreuse et moins ramifiée. La carotte jaune, souvent présente dans les mêmes régions que la carotte pourpre, est considérée comme une forme dérivée (mutants jaunâtres dépourvus d'anthocyanes) de celle-ci (Banga, 1963).

Les variétés les plus cultivées en Algérie sont groupées comme suit : Nantaise, Muscade, Touchon, Napoli, Presto, Premia (Ferradji et al., 2010).

L'analyse des descripteurs morphologiques révèle la diversité telle qu'elle est perçue et sélectionnée par les agriculteurs locaux, principaux acteurs de la gestion de la diversité variétale (Emperaie, 2003). Ces marqueurs ont déjà été appliqués avec succès à l'étude de la diversité morphologique de plusieurs céréales cultivées comme le sorgho (Koffi et al., 2011), le riz (Ferreira do Nascimento et al., 2011 ; Chakravorty et al., 2013), le mil (Akanvou et al., 2012), l'orge (Jaradat et al., 2004), le blé (Ali et al., 2013) et l'*Opuntia* (Hadjkouider et al., 2017).

A ce jour, les espèces cultivées en Algérie n'ont pas encore été précisément décrits. Les noms authentiques sont peu connus aussi bien pour les producteurs que pour

les pépiniéristes. Les espèces ont été autrefois dénommées par les pépiniéristes en se référant à un caractère précis de la forme et de la couleur des racines. D'autres dénominations semblent être une traduction en arabe du nom original de l'espèce. Cependant, aucune étude sérieuse n'a été faite pour en déterminer la diversité globale, l'évolution de cette diversité avec le temps l'environnement et les pratiques agricoles.

La connaissance de la tolérance à la salinité au moment de la germination révèle la capacité de l'espèce à pousser sur des sols très salins (**Jaouadi et al., 2010**). La recherche d'espèces, de populations ou de variétés végétales ayant un comportement satisfaisant en milieu salé permettrait d'étendre les cultures sur des sols anormalement riches en sels solubles et d'identifier les facteurs de tolérance vis-à-vis des contraintes liées à la salinité (**Brun, 1981**).

La présente étude vise à étudier le comportement germinatif et de croissance des plantules de six variétés de carotte (*Daucus carota* L.) vis-à-vis du stress salin à différentes concentrations de NaCl et d'analyser la diversité morphologique de ces différentes variétés, à travers l'utilisation des descripteurs morphologique de l'UPOV(2015).

La présente étude comporte quatre chapitres :

Le premier chapitre a porté sur une présentation et description de l'espèce étudiée ainsi que son importance économique, agronomique et alimentaire.

Le deuxième chapitre étudie l'effet de la salinité sur les plantes cultivées et le problème de la salinisation dans le monde.

Dans le troisième chapitre nous avons présenté le matériel végétal étudié, les différentes méthodes appliquées pendant la germination jusqu'à la croissance de la plante.

La présentation des résultats et leurs discussions ont été présentées dans le quatrième chapitre. Enfin, dans la conclusion générale, nous avons synthétisé les différents résultats obtenus et développé les perspectives de cette recherche.

CHAPITRE I

PRÉSENTATION DE L'ESPECE ETUDIÉE

1.1 Origine et répartition géographique

Selon **Foury et Pitrat (1994)**, la carotte est, de nos jours, un des légumes le plus largement cultivé et réparti dans toutes les zones climatique. La carotte est une plante bisannuelle originaire des zones tempérées froids ; mais elle est aussi cultivée dans les régions tropicales et subtropicales. La plupart des botanistes de l'Europe centrale admettent que la carotte cultivé est une simple race culturelle dérivée de la carotte sauvage (**Thellung, 1927, Reduron, 2007**).

1.1.1. Dans le monde

Daucus carota L. est une espèce indigène, commune en Europe. L'aire de répartition de *D. carota* comprend les régions européennes, périméditerranéennes et se prolonge à l'Est jusqu'aux portes de l'Himalaya (**Reduron, 2007**).

L'expansion de la carotte vers l'Asie du Sud-est est moins documentée (**Clotault, 2009**) ; un type rose à rougeâtre serait apparu en Chine au XVIIIe siècle. Des variétés orange occidentales auraient par la suite été introduites au Japon depuis l'Europe et les États-Unis.

On note ainsi la présence de carottes au Moyen-Orient et en Afrique du Nord au XIe siècle puis en Espagne au XIIe siècle, en France, en Allemagne et aux Pays-Bas au XIVe siècle et en Angleterre au XVe siècle (**Banga, 1963 ; Clotault, 2009**).

La culture de la carotte s'est développée dans toutes les zones tempérées du globe, et particulièrement en Europe, où sa production bénéficie des conditions favorables. La carotte est cultivée juste dans les zones subtropicales, durant la saison fraîche (**Chaux et Foury, 1994**).

1.1.2. En Algérie

Les principales variétés cultivées à grande échelle sont la Nantaise, Muscade, Touchon, Napoli, Presto, Premia. La production est destinée généralement au marché du frais. Au point de vue culinaire les carottes sont incorporés dans les recettes des plats traditionnels tels que les tajines et le couscous (**Ferradji et al., 2010**).

1.2.2.1. Dans la wilaya de M'sila

L'utilisation de la carotte comme aliment de bétail est considérée, par les éleveurs exerçant dans certaines zones du Hodna, comme une solution tout indiquée pour faire face à la cherté du foin, de l'orge et de la paille (**Tableau1.1**).

Des éleveurs des régions d'El Maâdher, à proximité de Boussaâda, de Djebel Messaâd, de Aïn El Melh, de Mohamed-Boudiaf et de Sidi Ameur, connues pour être les principaux «fiefs» de la culture de carotte, ne sont pas à court d'arguments pour justifier la transformation de cette apiacée en «must» de la cuisine animale, très appréciée, surtout, des bovins (tableau1.1).

1.2. Classification botanique

Empire : Eukaryota
Règne : Plantae
Sous-règne : Viridaeplantae
Embranchement : Tracheophyta
Sous-embranchement : Euphyllophytina
Infra-embranchement : Radiatopses
Classe : Magnoliopsida
Sous-classe : Cornidae
Superordre : Aralianae
Ordre : Araliales
Famille : Apiaceae
Sous famille : Apioideae
Tribu : Caucalideae
Genre : *Daucus*
Espèce : *Daucus carota*L.
Nom vernaculaire : Zaroudia (**Botineau, 2010**)

Tableau 1.1 : Superficie et production de carotte dans quelques régions de la wilaya de M'sila (Algérie)

Commune	Superficies (ha)	Production (q)
Khoubana	370	148000
M'cif	120	45600
Ain khadra	20	6800
Bousaada	220	92400
Ouled sidi brahim	4	1360
Sidi ameur	240	96000
Tamsa	100	40000
Ben srour	80	32000
Ouledslimane	5	1600
El houamed	320	134400
Maarif	200	80000
Mohamed boudiaf	102	36720
Birfoda	35	11200
Ain fares	4	1200
Sidi m'hamed	320	128920
Mena	5	1800
Ain el melh	330	138600
Medjedel	40	14800
Slim	10	3200
Ain Rich	400	160000
Djebel messaad	70	23800
Total wilaya	2995	1198400

(Source : D.S.A, 2018)

1.3. Description morphologique et génétique

La carotte est une plante de taille moyenne (0,6 à 2 m au moment de la floraison). Nous la connaissons pour sa racine pivotante développée en organe de réserve (**Figure 1.1**), charnue, cassante, pigmentée (rarement blanche), agréable au goût et non ramifiée (en sol meuble, sans obstacle) (**Reduron, 2007**).

Les feuilles sont minces, souvent mates, avec un pourtour triangulaire (**Figure 1.1**). Elles sont très divisées-pennées, à divisions écartées très allongées, étroites, linéaires ou lancéolées-linéaires (**Reduron, 2007**).

Les inflorescences sont constituées de grandes ombelles composées de fleurs blanches jaunâtres, allogames et protandres, regroupées en ombellules. Chaque fleur est constituée de cinq sépales, cinq pétales, cinq étamines et deux carpelles (**Tirilly et Bourgeois, 1999**).

Le fruit (communément appelé graine de façon abusive) est un diakène albuminé de forme elliptique (**Tirilly et Bourgeois, 1999**).



Figure 1.1 : Aspect morphologique de carotte (*Daucus carota* L.) (**Personnel**)

La carotte est une plante diploïde et possède $2n = 18$ chromosomes (**Chaux et Foury, 1994**). Son génome a une taille de 473Bp (génome haploïde) (**Arumuganathan et Earle, 1991**), ce qui est quatre fois celui d'*Arabidopsis thaliana*, égal à celui du riz (*Oryza sativa*). La taille de sa carte génétique est estimée à 900 cO (**Vivek et Simon, 1999**). Des séquences issues d'un projet de transcriptome ont seulement été publiées depuis peu (**Iorizzo et al., 2011**). Le séquençage de son génome est en cours dans le cadre d'un projet confidentiel établi au niveau mondial entre plusieurs firmes semencières et quatre laboratoires de recherche publique, dont l'équipe 'QuaRVeg' de l'IRHS.

1.4. Cycle de développement

1.4.1. Première année : le développement végétatif

1.4.1.1. Stades de développement

Durant la première année qui suit la germination de la graine, le développement de la plante est strictement végétatif (feuilles, racine). Pour la carotte de consommation, la récolte s'effectue au cours de cette phase végétative (**Péron, 2006**), qui peut être découpée en trois stades clés :

- levée et installation : c'est la phase correspondant à la sortie des cotylédons et des deux premières feuilles, ainsi qu'à la plongée dans le sol d'une fine racine primaire.
- développement du feuillage : les feuilles, disposées en rosette, assurent la migration des réserves vers la racine.
- tubérisation : au cours de cette phase, la croissance de la plante ne concerne pratiquement plus que la racine qui s'épaissit.

La tubérisation commence par le haut de la racine et finit par la pointe. Elle ne s'opère que dans la partie supérieure de la racine et concerne une longueur bien définie, de 4-5 cm pour les carottes courtes à 25-30 cm pour les types longs (**Chaux et Foury, 1994**). On nomme « maturité biochimique » le stade où l'accumulation simultanée du carotène et des sucres solubles est maximale. La maturité biochimique correspond également au moment où l'extension diamétrale de la racine est à son maximum (**Phan et Hsu, 1973**).

1.4.2. Deuxième année : la phase reproductive

La seconde année de son développement, après avoir subi les basses températures de l'hiver (vernalisation), la plante utilise les réserves de sa racine tubérisée pour former une hampe florale constituée de plusieurs ramifications (**Villeneuve et Leteinturier, 1992a**). Après la vernalisation, permettant l'induction florale, la plante atteint le stade

montaison qui bloque totalement la croissance en épaisseur de la racine et permet le développement d'une tige florifère.

L'initiation de la montaison est obtenue après 40 à 60 jours de températures inférieures à 10 °C (**Villeneuve et Leteinturier, 1992a**). La floraison est estivale ; la durée de cette floraison est de 7 à 10 jours pour une ombelle donnée, mais de 30 à 50 jours pour la plante entière (**Rubatzky et al., 1999**).

Une plante produit entre 1 000 et 40 000 semences ; la complète maturation des semences intervient 44 jours au moins après la floraison, 50 à 55 jours après la première fleur (**Reduron, 2007**).

1.5. Exigences de la culture de carotte (*Daucus carota* L.)

1.5.1. Exigences climatiques

Le climat océanique doux et humide est favorable à une bonne croissance de la carotte et une tubérisation de sa racine. Les basses températures sont préjudiciables à la formation du carotène et donc à une coloration correcte de la racine (phénomène souvent observé en culture de primeur). Après tubérisation, la racine résiste à des températures de -3 °C à -4 °C. Les températures optimales de croissance sont comprises entre 16 et 18 °C (**Péron, 2006**).

1.5.2. Exigences pédologiques

La carotte nécessite, pour former des racines longues, droites et de belle qualité, des sols profonds et meubles, fertiles, doués d'une bonne capacité de rétention en eau et exempts de pierres ou de mottes pouvant entraîner la déformation de la racine. Les sols légers, frais, sableux à sablo-limoneux, profonds, non battants et bien drainants sont les plus favorables à une production de carotte de qualité. Le pH optimal se situe à 6,5 (**Péron, 2006**). La carotte craint les excès d'eau en hiver qui peuvent entraîner des

disparitions de plants par pourritures racinaires. Elle est également sensible à la salinité, au déséquilibre calcium magnésium et à la présence de matière organique fraîche (**Péron, 2006**).

1.5.3. Exigences techniques

1.5.3.1. Le choix de la parcelle

Plus le sol est sableux, plus la forme sera régulière, plus il est argileux, plus elle sera qualitative. Les sols limoneux semblent un bon compromis (**Cecile, 2011**).

- Eviter les parcelles trop caillouteuses.
- Eviter les sols battants et les sols « lourds » (risque de pourriture et difficultés à la levée et à l'arrachage).
- Favoriser les sols sablo-limoneux bien drainés.
- Les sols sableux sont l'idéal pour des cultures précoces mais à éviter pour des carotte de conservation.
- pH compris entre 6 et 7.5.

1.5.3.2. Préparation du sol

Afin d'obtenir une structure de sol permettant une levée rapide et homogène, ainsi qu'un enracinement profond, deux itinéraires sont conseillés (**Collin et al., 2005**).

Le déchaumage, sitôt la récolte effectuée. Il facilite la décomposition des débris végétaux et permet l'élimination d'adventices quand il est combiné aux faux-semis.

Le passage d'outil à dents et un disquage (pas en dessous de 10 cm) en cas de sol filtrant non tassé, ou bien un labour, qui ameublisse le sol mais le dessèche davantage. Une irrigation est nécessaire par la suite.

- Le hersage pour détruire les faux semis
- Le roulage : 2 passages de cultipacker en condition sèche puis semis.

1.5.3.3. Semis

Entre mars et juillet (dès février ou en octobre-novembre, dans la Midi), après avoir affiné la terre à plusieurs reprises, tracez des sillons peu profonds, distants de 25 à 30 cm le long d'un cordeau (**Le Page et Meudec, 2002**).

1.5.3.4. Entretien de la culture

1.5.3.4.1. Éclaircissage : Éliminez les plantes les plus faibles, afin de ne conserver qu'une carotte tous les 5 à 10cm, selon les variétés et leur grosseur (**Le Page et Meudec, 2002**).

1.5.3.4.2. Désherbage : La carotte exige un ensemble des opérations de désherbage varie de 120 à plus de 900 heures/ ha (**Cecile, 2011**).

1.5.3.4.3. Fertilisation : Lors de la culture, une fumure minérale est recommandée mais ne doit pas être excessive au risque d'obtenir un développement important du feuillage au détriment des racines (**Villeneuve et Leteinturier, 1992a**).

1.5.3.4.4. Irrigation : Dans des conditions pédoclimatiques favorables au stress hydrique la culture de la carotte sans système d'irrigation s'avère très aléatoire. Les étapes nécessitant une bonne gestion de l'eau sont (**Cecile, 2011**) :

- la préparation du lit de semence : pour avoir un sol ressuyé ;
- la levée : les irrigations après le semis doivent permettre de maintenir le sol humide par petits apports répétés jusqu'à la levée ;
- le développement jusqu'au stade crayon : petits apports répétés jusqu'au stade 1 à 2 feuilles des plantes puis un espacement des apports jusqu'au stade crayon.

1.5.3.4.5. Récolte : Pour la carotte de saison, qu'elle soit destinée au marché de frais ou à la transformation, la récolte se fait entre juin et mai de l'année suivante selon les régions. En région non exposée au gel, les racines sont arrachées au fur et à mesure

des besoins (**Truffaut, 1978**). Pour la carotte de primeur, la récolte intervient entre la mi-avril et le début mai

1.5.3.4.6. Conservation : Les carottes peuvent se conserver en terre, en recouvrant la planche de feuilles mortes à l'approche des grands froids. C'est même le meilleur procédé lorsque les Limaces et les Rongeurs ne sont pas trop à craindre (**Truffaut, 1978**).

1.5.3.4.7. Diversité des productions : On distingue classiquement la carotte pour la vente en frais et la carotte d'industrie destinée en majeure partie à la conserve appertisée, avec une part croissante du surgelé (**Villeneuve et Leteinturier, 1992b ; Péron, 2006**)

1.6. Sélection variétale

1.6.1. Objectifs de la sélection

Les objectifs de la création variétale chez les espèces maraichères peuvent être répartis en trois groupes (**Tirilly et Bourgeois, 1999**) :

- (i) la qualité (apparence visuelle du produit, qualités technologiques liées à l'utilisation du produit dans les industries de transformation, valeurs nutritionnelles et arômes, diminution de la teneur en substances désagréables ou potentiellement nocives),
- (ii) la résistance aux maladies et ravageurs,
- (iii) l'adaptation aux conditions de production, de distribution et de consommation.

1.6.2. Sélection appliquée à la carotte

La couleur, et indirectement la teneur en caroténoïdes, représente l'un des principaux caractères sélectionnés au cours de l'histoire de la carotte cultivée (**Clotault, 2009**). Très rapidement, la longueur des racines a été également privilégiée puisqu'elle représente le principal facteur de production chez la carotte. De même, afin de maintenir

des rendements élevés, la forme des racines évolue pour passer du conique au cylindrique, aboutissant à une meilleure productivité des variétés (**Le Clerc, 2001**). La création d'hybrides, facilitée par la découverte de stérilités mâle nucléocytoplasmiques, a permis d'obtenir une meilleure vigueur et une uniformité des plantes. Ces stérilités mâles introduites par l'INRA dans les années 1960, sont de deux types. La stérilité mâle du type « anthères brunes » (découverte par **Welch et Grimbail en 1947**) est actuellement la plus utilisée en Europe, en particulier chez la plupart des hybrides 'Nantaise' (**Doré et Varoquaux, 2006**).

1.6.3. Caractères travaillés en création variétale chez la carotte

Les caractères importants qui ont été améliorés chez la carotte, ou qui devraient l'être, concernent (**Doré et Varoquaux, 2006 ; Simon et al., 2008**) :

- **La forme de la racine** : Elle est liée au marché (Europe/Amérique/Japon) et au type de production (pour le frais, pour la transformation) ;

- **Le rendement** : La production de culture commercialisable est la première priorité pour les producteurs et en conséquence pour les sélectionneurs ;

- **La qualité mécanique** : Il s'agit de la résistance aux manipulations et au transport ; les racines ne doivent pas se casser lors de la récolte ou du transport ;

- **L'aptitude à la mécanisation** : La mécanisation de la récolte représente un facteur agronomique important. La taille et la forme du feuillage est important, le feuillage doit être solide avec un port dressé pour permettre de soulever la racine ;

- **La qualité visuelle** : Le consommateur recherche une carotte avec un épiderme lisse et brillant après le lavage, d'une coloration orange vif, de forme régulière, sans meurtrissures ni crevasses. L'absence de collet vert et un cylindre central réduit sont également considérés comme un signe de bonne qualité ;

- **La qualité gustative et nutritionnelle** : La qualité organoleptique est notamment liée à la teneur en sucres. Par ailleurs, les premières variétés de carotte

cultivées contenaient un taux élevé en terpénoïdes volatils donnant une saveur désagréable. Une contre-sélection a été effectuée, les populations ainsi que les hybrides de type 'Nantes' actuels en contiennent peu. La qualité nutritionnelle, conférée entre autre par la provitamine A, a reçu l'attention des sélectionneurs depuis les années 1960. Aux USA, cette sélection a permis d'augmenter de 70 % la teneur en provitamine A des carottes entre 1970 et 1992 (Simon *et al.*, 2008) ;

- **La résistance à la montée à graines** : Elle permet de réaliser un semis d'automne pour une récolte précoce au printemps. On cherche en effet, les variétés ayant une montaison la plus tardive possible afin d'exploiter pleinement son caractère de plante bisannuelle.

- **L'aptitude à une récolte tardive en hiver** : Pour les carottes de garde restant au champ, les plantes doivent être vigoureuses avec un feuillage et une racine résistant aux basses températures ;

- **La production de semences** : En plus des exigences des producteurs et des consommateurs, les sélectionneurs doivent obtenir des parents ayant un rendement en semences satisfaisant d'un point de vue économique ;

- **La diversification des systèmes de stérilités mâles nucléo-cytoplasmiques** : L'utilisation, à grande échelle en Europe, d'un seul cytoplasme pourrait révéler une sensibilité à certains bio-agresseurs ou à certaines conditions pédoclimatiques. La recherche dans les populations anciennes de nouveaux cytoplasmes mâles stériles doit donc être activement poursuivie ;

- **La résistance aux ravageurs et maladies** : La résistance face aux pathogènes devient indispensable du fait de la disponibilité réduite de nombreux produits phytosanitaires, du souci grandissant de respect de l'environnement et de la santé humaine, mais également pour diminuer les pertes de rendements et maintenir la qualité générale.

1.7. Maladies et ravageurs de la carotte

1.7.1. Les maladies racinaires

1.7.1.1. Fontes de semis : dues à des champignons transmis par la semence (*Alternaria dauci*, *Alternaria radicina*) ou présents dans le sol (*Pythium* spp., *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*). Le traitement des semences demeure le seul moyen de lutte (**Villeneuve et Leteinturier, 1992b**).

1.7.1.2. Maladies de conservation : Les maladies de conservation de la carotte font généralement suite à une contamination au champ. Quelques-unes peuvent cependant attaquer les racines saines au cours du stockage. À ce stade, la lutte chimique n'est plus possible.

1.7.1.3. Cavity spot « maladie de la tache » : est due à des attaques de *Pythium* spp. ; *P. violae* est le principal agent incriminé, mais six autres espèces pathogènes sur carotte ont été recensées en France (**Villeneuve et Leteinturier, 1992a ; Péron, 2006**).

1.7.1.4. Maladie de la bague : Cette maladie, due au champignon *Phytophthora megasperma*, s'observe essentiellement sur les grosses carottes et les 'Nantaises' récoltées tardivement, à l'automne ou au début de l'hiver. Une tache vitreuse apparaît sur la racine et s'étend de manière transversale pour former un anneau de couleur brun-noir (= bague) (Péron, 2006).

1.7.1.5. Rhizoctone violet : Le champignon responsable, *Rhizoctonia violacea*, colonise le sol sur une grande profondeur et sa persistance est très longue (20 ans) (**Péron, 2006**). Cette maladie concerne essentiellement les grosses carottes, en fin de saison.

1.7.1.6. Sclérotiniose : Le champignon responsable est *Sclerotinia sclerotiorum*. Il est très polyphage et s'attaque à de nombreuses cultures légumières (céleri, laitue, haricot, pois, chou...) ou non (oléo-protéagineux). Un abondant mycélium blanc et cotonneux se développe, sur lequel se forment des sclérotés blancs puis noirs.

1.7.1.7. *Alternaria radicina* : Ce champignon provoque des symptômes présents au champ mais peu marqués, qui évoluent en cours de stockage et dégradent la qualité des racines.

1.7.1.8. *Mycocentro spora acerina* : La contamination a généralement lieu au moment de la récolte. Le champignon pénètre par le haut ou le bas de la racine et se développe au niveau du cœur. Les tissus attaqués deviennent noirs, humides et mous.

1.7.1.9. *Botrytis cinerea* : Les attaques se manifestent par une pourriture molle et brune, recouverte d'un mycélium gris.

1.7.1.10. Pourritures racinaires diverses : Ces pathogènes peuvent être des champignons (*Fusarium* spp., *Pythium* spp., *Botrytis* spp., etc.) ou des bactéries pectinolytiques comme *Erwinia carotovora*. Ils s'installent sur les zones de rupture de l'épiderme des racines ou sur de précédentes attaques de champignons, bactéries ou ravageurs.

1.7.2. Les maladies foliaires

1.7.2.1. Brûlures foliaires : Le terme brûlures foliaires regroupe deux champignons (*Alternaria dauci* et *Cercospora carotae*) et une bactérie (*Xanthomonas hortorum* pv. *carotae*). Cette maladie, peut causer une perte totale du feuillage (**Villeneuve et Leteinturier, 1992a**).

1.7.2.3. Viroses : Les virus les plus fréquents sont le Carrot Red Leaf Virus et le Motley Dwarf Virus, transmis par le puceron de la carotte et responsable du nanisme bigarré.

1.7.3. Les ravageurs

1.7.3.1. La mouche de la carotte : *Psilarosae* est le principal ravageur des cultures de carottes d'industrie. Sur les jeunes plantes, on constate des arrêts de croissance et des déformations de racines. Sur les cultures en cours de tubérisation, il y a formation de galeries superficielles qui favorisent l'apparition de pourritures secondaires.

1.7.3.2. Pucerons de la carotte : Plusieurs espèces de pucerons (*Cavariella aegopodii*, *Semiaphis dauci*, *Aphis lambersi*, *Myzuspersicae*) (**Hullé, 1999**). Les dégâts sur jeunes cultures sont les plus dommageables : décoloration et crispation des premières feuilles, arrêts de croissance, transmission de virus et phytoplasmes.

1.7.3.3. Nématodes : Parmi les espèces de nématodes à galles capables de provoquer des dégâts sur les racines de carottes, on retrouve des espèces du genre *Meloidogyne* (*Meloidogyne eincognita*, *Meloidogyne javanica*, *Meloidogyne hapla*).

1.8. Intérêt de carotte

1.8.1. Intérêt alimentaire

La carotte est utilisée pour l'alimentation, c'est son utilisation la plus connue (consommation de sa racine). Mais on peut noter que l'huile essentielle de carotte, par distillation des semences, est employée en parfumerie et aromathérapie. Le carotol (alcool Ses quiterpénique) est le composant majoritaire de l'huile, qui contient également du daucène, de l' α -pinène, du limonène, du sabinène, de l'acétate de géranyle... (**Gonny et al., 2004 ; Reduron, 2007 ; Staniszewska et al., 2005**). Plus récemment, la production de pigments alimentaires à partir de la racine de carotte, notamment des variétés à chair violette, s'est développée (**Downham et Collins, 2000.**).

1.8.2. Intérêt économique

D'un point de vue économique, la carotte fait partie des dix cultures légumières les plus importantes dans le monde, en termes de surface de production et de valeur marchande (**Simon et al., 2008**). La carotte, par sa valeur nutritionnelle, ses modes de

consommation simples et variés, ainsi que par son prix modéré, est le légume racine le plus consommé dans le monde (**Chaux et Foury, 1994**).

1.8.3. Intérêt industrie non alimentaire

Du carotène et des oléorésines sont extraits de la carotte pour les industries pharmaceutiques et cosmétiques (**Doré et Varoquaux, 2006**).

1.8.4. Intérêt fourragère

La carotte blanche ou jaune est utilisée comme plante fourragère. L'appétibilité de la carotte est bonne et elle est riche en énergie. Par contre, la teneur en matière sèche est médiocre. Des déchets de traitements industriels de carottes peuvent aussi servir à nourrir les animaux (**Doré et Varoquaux, 2006**).

1.9. Production de carotte

1.9.1. Dans le monde

La carotte, par sa valeur nutritionnelle, ses modes de consommation simples et variés, ainsi que par son prix modéré est le légume racine le plus consommé dans le monde (**Chaux et Foury, 1994**). Sa production mondiale est en constante progression et atteint, pour l'année 2010, les 33,7 millions de tonnes sur une superficie d'environ 1,2 millions d'hectares à travers le monde.

La production mondiale de carotte entre 2009 et 2013 a connu une croissance continue (Figure 1.1).

1.9.2. En Algérie

La production de la carotte enregistrée en Algérie au cours de la période allant de 2009 à 2013 (Figure 1.2). La production est en progression continue.

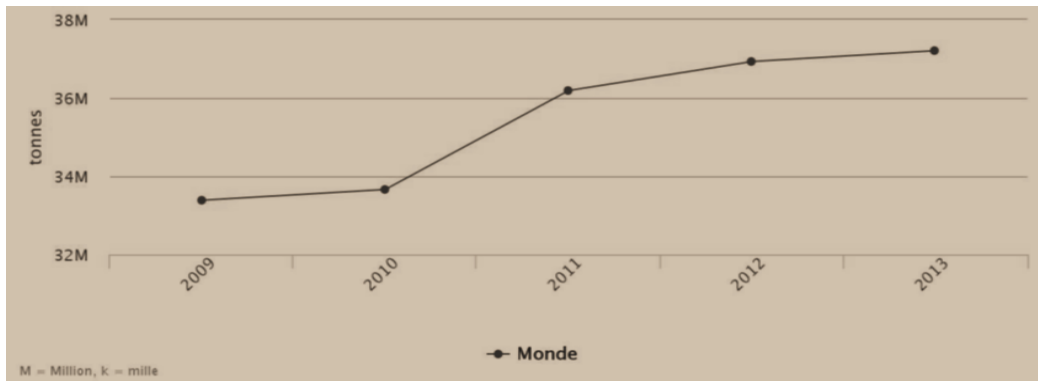


Figure 1.2 : Évolution de la production mondiale de carotte (FAO, 2013)

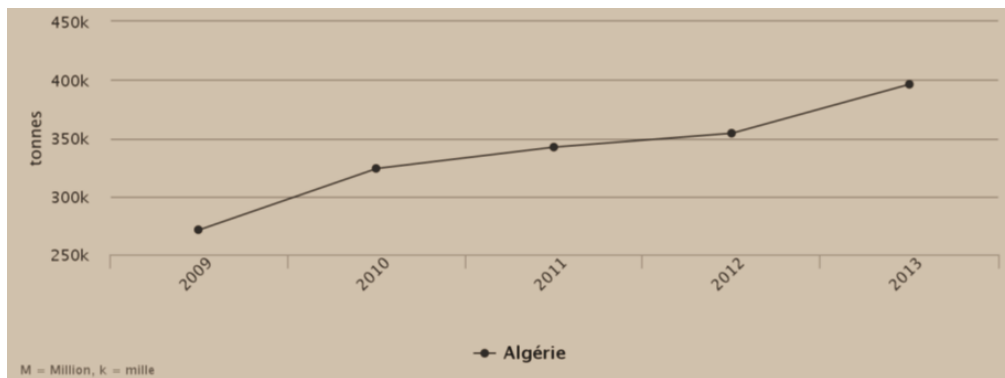


Figure 1.3 : Évolution de la production de carotte en Algérie (FAO, 2013)

CHAPITRE II

STRESS SALIN

2.1. Généralité sur la salinité

2.1.1 Définition

D'après **Mermoud, (2006)**, la salinisation des sols est le processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone racinaire, qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol ; il s'ensuit une diminution des rendements et, à terme, une stérilisation du sol.

Les sols salins couvrent 397 millions d'Hectare (**F.A.O., 2005**). En Afrique, près de 4Mha sont affectés par la salinisation, soit près de 2% de la surface totale.

En Algérie, plus de 20% des sols irrigués sont concernés par des problèmes de salinité (**Hartani et al.,2008**).

2.1.2 Principaux sels solubles

Les principaux sels solubles qui participent dans la formation des sols salés sont :

Les carbonates : les plus rencontrés sont le carbonate de sodium (Na_2CO_3), bicarbonate de sodium (NaHCO_3), carbonate de calcium (CaCO_3) et le carbonate de magnésium (MgCO_3).

Les sulfates : ce sont les sels de l'acide sulfurique et les plus fréquents sont : le sulfate de magnésium (MgSO_4), sulfate de sodium (NaSO_4) et le sulfate de calcium (CaSO_4).

Les chlorures : principalement : le chlorure de sodium (NaCl), le chlorure de calcium (CaCl_2) et chlorure de magnésium (MgCl_2) ce sont plus soluble et forte toxicité. La présence de sels solubles en quantité importante ou d'un horizon sodique à structure

dégradée, caractères qui ont une influence néfaste sur le développement de la végétation ou des cultures (**Aubert, 1982**).

2.1.3 Les Types de la salinité des sols

2.1.3.1 La salinité primaire (ou Naturelle)

La salinité primaire s'explique par l'accumulation de sels dans le sol ou d'eaux souterraines sur une longue période de temps en deux processus naturels :

- L'altération des matériaux de base contenant des sels solubles : Les processus d'altération des roches se décomposent et la libération des sels solubles de divers types, principalement des chlorures de sodium, de calcium et de magnésium, et dans une moindre mesure, les sulfates et les carbonates. Le chlorure de sodium est le sel le plus soluble.
- Le dépôt de sels océaniques effectués dans le vent et la pluie : «les Sels cycliques" sont des sels de l'océan amenés par le vent et déposés par la pluie, et sont principalement le chlorure de sodium.

La quantité de sel stocké dans le sol varie en fonction du type de sol, étant faible pour les sols sableux et élevée pour les sols contiennent un pourcentage élevé de minéraux argileux. Il varie aussi inversement avec une pluviométrie annuelle moyenne (**Hamza,2011**).

2.1.3.2 La salinité secondaire (ou d'origine humaine)

La salinisation secondaire est le résultat des activités humaines qui modifient l'équilibre hydrologique du sol entre l'eau appliquée (irrigation ou de pluie) et de l'eau utilisée par les cultures (transpiration).

Les causes les plus fréquentes sont :

- Le défrichement des terres et le remplacement de la végétation pérenne avec des cultures annuelles,

- L'utilisation des eaux d'irrigation riches en sel.
- Un drainage insuffisant et un système d'irrigation déséquilibré.

L'excès d'eau soulève la nappe souterraine et mobilise des sels précédemment stockés dans le sous-sol et les amène jusqu'à la zone des racines. Les plantes utilisent l'eau et laissent le sel jusqu'à ce que l'eau du sol devienne trop salée pour l'absorption d'eau par les racines des autres. L'eau s'évapore en laissant des dépôts de sels à la surface et formant ainsi «brûlure du sel » dans des cas (**Hamza,2011**).

2.1.4 Salinité et la plante

2.1.4.1 Définition du stress

Un stress est l'ensemble des perturbations biologiques provoquées par une agression quelconque sur un organisme. Selon (**Levitt, 1980**), c'est un facteur de l'environnement induisant une contrainte potentiellement néfaste sur un organisme vivant.

2.1.4.2 types de stress

On peut distinguer deux types du stress dans la nature

2.1.4.2.1. Le stress abiotique

Il est dû principalement à des facteurs environnementaux comme la sécheresse, les températures extrêmes, excès d'eau (asphyxie racinaire), la salinité... .

2.1.4.2.2. Le stress biotique

Dus à une agression par un autre organisme : insectes, animal,...etc.

2.1.4.3. Les composantes de la contrainte saline

Les composantes de la salinité sont : les stress osmotique, ionique, nutritionnel et oxydatif.

2.1.4.3.1 Le stress osmotique

La première conséquence de la salinisation tient à la modification du potentiel osmotique de la solution du sol, lorsque la teneur en sels croît. Selon (Song *et al.*, 2005), plus la solution du sol est salée, plus la pression osmotique est élevée et plus il est difficile pour les racines d'extraire l'eau de la réserve du sol. Il en résulte ainsi un ralentissement de leur croissance.

2.1.4.3.2 Stress ionique

Lié à la composition en éléments du sol (carences ou toxicité en certains ions) : un déficit en N, P, MO, Cu, Zn, Fe, B, ... peut avoir des conséquences importantes sur le développement des plantes. Un excès de minéraux AL, Na, Cl, ... peut avoir des effets toxiques (Monneveux *et This*, 1997).

Chinnusamy *et al.*, (2004) voient que la toxicité ionique peut être le résultat du remplacement de K⁺ par Na⁺ au niveau des sites actifs de protéines induisant aussi un changement des structure protéiques et enzymatiques.

2.1.4.3.3 Stress nutritionnel

La présence excessive d'ions sodique, chlorique et borique peut provoquer une augmentation du pH du sol, ce qui a un effet indirect sur l'impossibilité d'absorption des ions ferreux, phosphate, zinc et manganèse indispensable pour la croissance des plantes (Maillard, 2001).

Selon Tester *et Davenport* (2003), in (Jabnoune, 2008) les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol.

2.1.4.3.4 Stress oxydatif

De nombreux travaux montrent que des métabolites enzymatiques et non enzymatiques antioxydants telles que les super oxyde-dismutases (SOD), les ascorbate

peroxydases (APX), les catalases (CAT), des glutathion-S-transférases (GST) et les glutathion peroxydases (GPX) s'accumulent plus pendant le stress salin (**Sudhakar et al., 2001**).

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

2.1.4.4 Effet de la salinité sur les plantes

2.1.4.4.1 Effet du stress salin sur la germination et la levée

La germination est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et, en particulier, par la disponibilité de l'eau dans le sol (**Sharma, 1973, Gutterman, 1993**) (**in Ndour et Danthu, 2000**), Selon **Maillard (2001)** et **Abdelly (2006)**, la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée dont l'effet nocif est de nature osmotique ou bien toxique.

2.1.4.4.2. Effets du stress salin sur la croissance et le développement

La salinité des sols et des eaux demeure, pour les régions arides et semi arides, un obstacle majeur à la croissance des végétaux. En effet, les sels accumulés dans le sol peuvent limiter ou complètement arrêter la croissance du végétal suite à une élévation de la pression osmotique du milieu et/ou à l'effet toxique spécifique des éléments (**Arbaoui et al., 1999 b**).

2.1.4.4.3 Effet du stress salin sur l'absorption d'eau et la transpiration

La diminution de la transpiration est due à l'augmentation de la résistance stomatique en présence de fortes concentrations de sels qui provoquent la dépendance de l'ABA (acide abscissique), cela implique l'accumulation des solutés organiques tel que la proline, les acides organiques, la glycine ...etc; ou l'accumulation des ions minéraux (**Morgan, 1984**).

Chez les plantes tolérantes à l'inverse des plantes sensibles, le Na⁺ est bien stocké dans la vacuole (Cheesman, 1988). Les plantes adaptées osmotiquement préservent leur turgescence et continuent leur croissance et à puiser l'eau en diminuant leur transpiration dans un sol salé (Hamza, 1979).

2.1.4.4. Effets du stress salin sur la photosynthèse

La teneur en sel élevée dans les tissus influence directement les enzymes photosynthétiques et par voie de conséquence les réactions d'échange de lumière et de gaz (El hendawy, 2004) Or, la réduction de la photosynthèse à long terme entraîne l'inhibition de la formation et de l'expansion de la feuille ainsi que l'abscission précoce de cette dernière (Kozlowski et Pallardy, 1997 b in Kozlowski, 1997).

2.1.4.4.5 Effet du stress salin sur la morphologie des plantes

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

2.1.4.4.6 Effet du stress salin sur le métabolisme

Les sols salins peuvent imposer des effets spécifiques ioniques sur les plantes parce que les fortes concentrations d'ions (Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻) accumulés dans les cellules, agissent en désactivant des enzymes, en inhibant la synthèse des protéines ou en favorisant le dépliage menant à la dénaturation des protéines et en affectant la photosynthèse (Räsänen, 2002).

2.1.4.4.7 Effet du stress salin sur la nutrition

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes : la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. Des concentrations

salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes (Levigneron *et al.*, 1995 in Haouala *et al.*, 2007).

La réduction de l'absorption des éléments nutritifs peut provoquer la diminution de la croissance de la plante (Papadopoulos et Rendig, 1983).

2.1.4.5 Mécanismes de la tolérance des plantes au stress salin

La plante peut s'adapter au stress salin de différentes manières

2.1.4.5.1 Exclusion des ions

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

2.1.4.5.2 Inclusion et compartimentation des ions

Des études ont montré que les mouvements de Na⁺ dans la plante sont codés par le gène HKT. Par exemple, la surexpression d'OsNHX1 améliore la tolérance à la salinité chez le riz (Chen *et al.*, 2007 in Jebnoune, 2008). Les mêmes résultats sont obtenus chez *Arabidopsis* (Apse *et al.*, 1999), chez la tomate (Zhang and Blumwald, 2001 in Jebnoune, 2008), chez *Brassicanapus* (Zhang *et al.*, 2001 in Jebnoune, 2008).

2.1.4.5.3. Sélectivité

L'absorption de K est plus forte que celle du Na d'après Mazliak in Snoussi *et al.*, (2005), la majorité des cellules ont un système d'exclusion active de sodium et un système d'absorption active de potassium pendant l'utilisation du mécanisme cellulaire "la pompe de sodium." (K⁺) et (Na⁺) sont présentés dans la forme d'antagoniste ou d'inhibition mutuelles des ions. L'analyse des plantes montre qu'elles contiennent des proportions différentes d'éléments minéraux dont le contenu en potassium (K⁺) dépasse

pour une grande part les autres éléments (**Rahmoune et al, 2004**). Cette importance est liée à son rôle fondamental dans la régulation des fonctions de la plante et la croissance végétative, en supportant la synthèse de sucres et leur transfert vers les parties de réserve, qui interviennent dans l'assimilation chlorophyllienne (**Hellali, 2002 ; Skiredj, 2005 ; Snoussi et al, 2005**).

2.1.4.5.4 Ajustement osmotique

A. Biosynthèse d'osmoprotectants

Les gènes impliqués dans la synthèse d'osmoprotectants sont surexprimés sous stress salin (**Zhu, 2002**). Les osmoprotectants compatibles pour différents solutés sous stress salin protègent les plantes par ajustement osmotique ce qui maintient la turgescence cellulaire, par détoxification des espèces réactives d'oxygène (ROS : Reactive Oxygen Species), et par stabilisation de la structure (quaternaire) des protéines. Chez des plantes transgéniques, il a été prouvé que l'accumulation de mannitol (**Shen et al, 1997**), glycine bêtaïne (**P Rasad et al.,2000**), et proline (**Zhu et al., 1998**) améliorent leur tolérance au stress salin.

B. Contrôle membranaire

Dans la diffusion facilitée comme dans le transport actif, les protéines membranaires peuvent être très spécifiques de certains solutés. Néanmoins, plusieurs solutés peuvent entrer en compétition par une même protéine de transport (Na⁺ et K⁺).

D'un point quantitatif, la perméabilité membranaire au Na⁺ ainsi que l'activité, la quantité et la sensibilité des antiports Na⁺/H⁺ membranaires évoluent pour s'adapter à un stress salin à long terme (**Tyerman et Skerett, 1999**).

C. Induction des hormones végétales

Pendant le stress salin il y a une augmentation au niveau de la production de l'ABA et l'éthylène. Il s'est avéré que l'ABA vient alléger l'effet inhibiteur du NaCl sur la photosynthèse, la croissance et la translocation des assimilât (**Parida et Das,2005**).

2.1.4.5.5 Ajustement ionique

L'augmentation des concentrations vacuolaires de sodium induit la nécessité et le besoin d'élever la pression osmotique des autres compartiments cellulaires afin de maintenir leur volume (Ammann et Leigh 2010). Quoique la synthèse et l'accumulation de composés solubles compatibles contribue au maintien de la croissance cellulaire en conditions de stress ionique, les plantes ont développé d'autres moyens non moins efficaces tels que l'ajustement ionique afin de réduire et d'équilibrer la concentration d'ions dans le but d'ajuster la pression osmotique au niveau du cytoplasme (Sairam et Tyagi 2004 ; Shabala et Cuin 2008). Ce dernier objectif peut être assuré par une augmentation des concentrations de potassium, outre celle des composés osmotiques compatibles (Munns et Tester 2008). En outre, le potassium joue un rôle également dans le contrôle de la turgescence cellulaire (Sairam et Tyagi 2004). Afin de préserver les réactions métaboliques et de maintenir un rapport K/Na viable, les cellules végétales doivent ajuster leur teneur en potassium entre 100 et 200 mmol/L (Maathuis et Ammann 1999). Le rapport K/Na va dépendre de l'action conjuguée des différents systèmes de transport situés au niveau des membranes plasmique et vacuolaire et impliquant les voies plus ou moins sélectives des ions K⁺ et Na⁺ (Maathuis et Ammann 1999 ; Shabala et Cuin 2008; Ammann et Leigh 2010).

2.1.4.5.6. Rôle du calcium dans la résistance à la salinité

La résistance à la salinité apparaît associée au maintien d'un certain taux de calcium racinaire. Par ailleurs, La nocivité d'une eau d'irrigation salée est souvent liée au fait que cette eau appauvrit le sol en calcium assimilable. Ainsi l'addition de Ca²⁺ à l'environnement racinaire a été suggérée comme moyen d'augmentation de La tolérance au stress salin (Epstien, 1998). Le calcium contribue dans l'ajustement osmotique en modifiant le rapport K⁺/Na⁺ intracellulaire (Greive et al., 2004).

En effet, cet élément rentre dans l'intégrité structurale et fonctionnelle de la membrane cytoplasmique, et sa présence peut régler l'absorption des ions en faveur du potassium (Arshi et al., 2006), alors que celle du sodium est inhibée (Shabala et al., 2005).

2.1.4.6 Mécanisme d'adaptation des plantes à la salinité

2.1.4.6.1. Les mécanismes d'adaptation morphologiques

Selon **Hamza (1982)**, les plantes manifestent des adaptations diverses en présence d'un excès de sel, un allongement faible des organes, un raccourcissement des entrenœuds et une réduction de la surface foliaire. Les différentes parties de la plante ne réagissent pas de la même façon en milieu salin. Les racines commencent à diminuer (**Levigneron et al., 1995, Lallouche et al., 2017**).

2.1.4.6.2. Les mécanismes d'adaptation physiologique

2.1.4.6.2.1 Accumulation de la proline

L'accumulation de la proline est considérée actuellement comme l'une des manifestations les plus remarquables des stress salin et hydrique. La teneur en proline vient renforcer les mécanismes impliqués dans le maintien et l'amélioration de la stabilité des membranes cellulaires en réponse au stress salin (**Alem et Amri, 2005**).

L'utilisation de la proline comme critère de discrimination variétale pour la tolérance à divers stress dont la salinité est largement citée, mais la sélection par rapport à ce critère dépend des différences de tolérance entre les variétés étudiées (**Quarrie, 1980 ; Lallouche et al., 2017**).

2.1.4.6.2.2. Sucres solubles

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 (**Balibrea et al., 2000 ; Munns, 2002 ; Lallouche et al., 2017**).

2.1.4.6.2.3. Glycine bétaine

La glycine bétaine, un composé quaternaire d'ammonium est un osmolyte stabilisant aidant à préserver des macromolécules de la déshydratation d'où son nom d'osmoprotectant (**Hare et al., 1998**).

2.1.4.6.2.4. Dilution et accumulation des sels

La dilution des sels absorbés est souvent très liée chez les plantes résistantes à une forte rétention d'eau par les plantes et au développement de la succulence qui est elle-même liée à la présence de NaCl dans le milieu (**Levit, 1972**).

2.1.4.6.2.5. Régulation de la croissance

D'après **Zhu (2001)**, la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour limiter les effets du stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles. Pour illustrer cette tendance, dans la nature, la croissance est inversement corrélée à la résistance au stress salin d'une espèce ou variété (**Zhu, 2001**). En plus du contrôle de la croissance par les signaux hormonaux, la réduction de la croissance résulte de la dépense de ressources dans les stratégies d'adaptation.

2.1.4.6.2.6 Le contrôle membranaire

L'adaptation au stress salin se met en place également au niveau des membranes cellulaires (membrane plasmique, tonoplaste). La modification qualitative et quantitative des aquaporines (protéines trans-membranaires) est par exemple un processus capable de modifier la conductivité hydrique de la plante et de favoriser de restreindre les mouvements d'eau (**Yeo, 1998**). En termes de transport ionique, la stratégie de résistance à la salinité est qualitative et quantitative. La sélectivité des ions à l'entrée constitue la composante qualitative qui se définit à partir des différents transporteurs membranaires récents (antiports Na^+/H^+)

CHAPITRE III

MATERIELS ET METHODES

3.1. Introduction

Le travail expérimental est réalisé en deux parties :

La 1eme partie expérimentale est une conduite en pots, afin d'évaluer avec le plus de précision l'effet du stress salin sur six variétés de carotte (*Daucus carota* L.) : Breclium, Muscad d'Alger, Touchon, Super Muscad, Nantaise, Nantaise améliorée, utilisé à travers la mesure des paramètres morphologique, physiologiques et biochimiques

La 2ere partie expérimentale : est une conduite en ligne sous serre, dont l'objectif est la caractérisation morphologique des plantes de six variétés de carotte (*Daucus carota* L.) (Breclium, Muscad d'Alger, Touchon, Super Muscad, Nantaise, Nantaise améliorée) sous conditions climatiques naturelles de la région de M'sila.

3.1.2. Présentation de station expérimentale

Les deux essais sont réalisés dans une station expérimentale située au département des sciences agronomiques à l'université de Mohammed Boudiaf, M'sila. Se localisent entre 35°74' N et 04° 55' E ; avec 512 m d'altitude.

3.1.3. Etude pédoclimatique du site expérimentale

3.1.3.1. Données climatiques

Le climat est l'ensemble des actions de l'atmosphère, l'humidité, la pluie, la température, le vent, etc. C'est un facteur déterminant pour le développement des plantes, de la formation et de l'évolution des sols (Greco, 1966).

3.1.3.1.1. Température

La température, est un facteur constitutif du climat, influe sur le développement de la végétation. Ce sont les températures extrêmes plus que les moyennes qui ont une influence sur la végétation, sauf si elles sont exceptionnelles et de courte durée (**Greco, 1966**). Seules les valeurs ayant une signification biologique sont prises en considération : Températures moyennes mensuelles, moyennes des maxima du mois le plus chaud (M), moyennes des minima du mois le plus froid (m).

L'analyse des valeurs de la température de l'année 2017, montre que les températures maxima sont enregistrées durant le mois le plus chaud (Juillet) avec une valeur de : 40.4 °C (**Tableau 3.1**).

Tableau 3.1 : Température mensuelle moyenne, minimale et maximale (°C).

Moi	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Dec
T° Max	12.3	17.8	22.4	25.8	32.9	37.1	40.4	39.9	32.6	26.5	19.0	14.1
T° Min	2.8	6.3	7.7	11.6	18.1	22.0	24.6	25.7	18.5	12.5	6.2	3.4
T° moy	7.55	12.05	15.05	18.7	25.5	29.5	32.5	32.8	25.5	19.5	12.6	8.75

(O.N.M. M'sila 2018)

3.1.3.1.2. Précipitation

La pluviométrie constitue la principale forme des précipitations et la plus importante. C'est le premier facteur du climat influençant la croissance des végétaux. Ainsi la quantité d'eau reçue annuellement est un élément essentiel pour la vie végétale (**Djellouli, 1981**). Le cumul annuel moyen de la précipitation de l'année 2017 est 142.2 mm (**Tableau 3.2**).

Tableau 3.2 : Pluviométrie mensuelle (mm).

Moi	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Cumul
P (mm)	71.4	1.0	2.5	5.6	13.2	18.0	4.3	0.5	1.5	12.7	4.1	7.4	142.2

(O.N.M. M'sila 2018)

Les basses températures sont préjudiciables à la formation du carotène et donc à une coloration correcte de la racine (phénomène souvent observé en culture de primeur). Après tubérisation, la racine résiste à des températures de -3 °C à -4 °C. Les températures optimales de croissance sont comprises entre 16 et 18 °C (**Péron, 2006**).

3.1.3.2. Analyse physico-chimique du sol

Chaque type de sol est soumis à des analyses physico-chimiques (pH, matière organique, calcaire totale, humidité et la conductivité électrique).

3.1.3.2.1. Mesure du pH

Selon **Dinon et Gerstmans (2008)**, le degré d'acidité ou de basicité du sol joue un rôle très important dans l'assimilation des éléments nutritifs du sol par la plante.

Le pH eau, Selon **Baize, 1988** :

pH inférieur à 3,5 →hyper-acide pH entre 3,5 et 5 →très acide

pH entre 5 et 6,5 →acide pH entre 6,5 et 7,5→neutre

pH entre 7,5 et 8,7→basique pH supérieur à 8,7 →très basique

Le pH eau du sol de notre sol d'étude est égal 8.64, c'est un sol basique (**Tableau 3.5**).

3.1.3.2.2. Mesure de la conductivité électrique d'un sol (CE)

Elle mesure la teneur en sels solubles dans une solution, la mesure a été faite à l'aide d'une conductimètre (mS/cm). La valeur obtenue est : CE = 0.404 mS/cm (**Tableau 3.5**).

3.1.3.2.3. Dosage de la matière organique

La matière organique est dosée par la méthode **d'Anne (1945)**.La teneur en matière organique (MO) totale du sol s'obtient généralement en dosant la teneur en carbone (C).

Tableau 3.3 : Normes d'interprétation de taux de la matière organique.

Taux de MO %	Type du sol	Taux de MO %	Type du sol
<0.5 %	Très pauvre en MO	2.5-6 %	Riche en MO
0.5-1.5 %	Pauvre en MO	6-15 %	Très Riche en MO
1.5-2.5 %	Moyennement pauvre en MO		

D'après ces normes, notre sol est riche en matière organique car il enregistre un pourcentage élevé de l'ordre de 3.268 %, ce qui va influencer positivement sur le rendement des différentes variétés de carotte (**Tableau 3.3**).

3.1.3.2.4. Humidité du sol

La mesure de l'humidité du sol a été faite par la méthode d'Aubert (**Aubert, 1978**). Le taux de l'humidité prélevé concernant notre parcelle d'expérimentation est égale à 4.14 % (**Tableau 3.5**).

3.1.3.2.5. Dosage du calcaire total (calcimètre de Bernard)

Tableau3.4 : Normes d'interprétation du calcaire total.

Calcaire total	Sol	Calcaire total	Sol
<1 %	Non calcaire	25-50 %	Fortement calcaire
1-5 %	Peu calcaire	50-80 %	Très Fortement calcaire
5-25 %	Modérément calcaire	>80 %	Excessivement calcaire

On trouve (après l'analyse de sol) que le taux de calcaire total est compris de 11.79 %, et selon les normes de tableau ci-dessus, on peut classer notre sol comme sol modérément calcaire (**Tableau 3.4**).

3.1.3.2.6. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique du sol consiste à classer les éléments du sol d'après leur grosseur et à déterminer le pourcentage de chaque fraction (sable, limon et argile) afin de définir la texture d'un sol.

Dans notre cas, on trouve que le sol à une texture argilo-sableuse (**Tableau 3.5**).

Les résultats des analyses physico-chimiques d'un échantillon de sol au niveau du laboratoire des sciences agronomiques, université Mohamed Boudiaf, M'sila sont récapitulés dans le **tableau 3.5**.

Tableau 3.5 : Caractéristiques physico-chimiques du sol

Analyse de sol	Résultats	Analyse de sol	Résultats
PH	8.1	Calcaire totale %	11.79
Conductivité électrique (CE) ms/cm	0.40	Matière organique %	3.27
Humidité %	4.14%	Texture	argilo-sableuse

La carotte nécessite, pour former des racines longues, droites et de belle qualité, des sols profonds et meubles, fertiles, doués d'une bonne capacité de rétention en eau et exempts de pierres ou de mottes pouvant entraîner la déformation de la racine. Les sols légers, frais, sableux à sablo-limoneux, profonds, non battants et bien drainants sont les plus favorables à une production de carotte de qualité. Le pH optimal se situe à 6,5 (**Péron, 2006**).

3.2. Première partie expérimentale : Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de carotte (*Daucus carota* L.) :

3.2.1. Matériel végétal :

Afin d'évaluer l'effet de la salinité sur le processus de germination et sur la croissance des plantules de carotte (*Daucus carota* L.), nous avons utilisé des graines appartenant à 6 variétés cultivées et commercialisées en Algérie : Breclium, Muscad d'Alger, Touchon, Super Muscad, Nantaise, Nantaise améliorée (**Figure 3.1**).

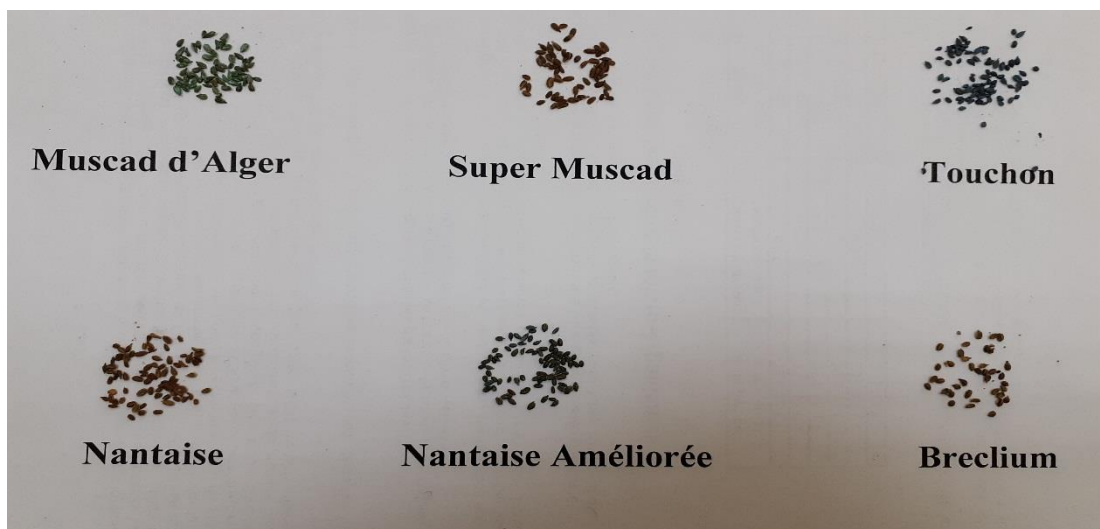


Figure 3.1 : Matériel végétal de 6 variétés de carotte (*Daucus carota* L.)

Les graines de six variétés (*Breclium*, *Muscad d'Alger*, *Touchon*, *Super Muscad*, *Nantaise*, *Nantaise améliorée*) ont été triées et désinfectées par un lavage avec de l'hypochlorite de sodium (5°) pendant 5 min, puis rincées abondamment à l'eau distillée pour éliminer l'eau de javel ainsi que les produits de conservation ayant adhéré à la graine. Pour faciliter et homogénéiser leur germination, les graines ont été placées dans de l'eau distillée pendant 24 heures.

3.2.2. Mise en place et conduite de l'essai

Les graines triées et désinfectées sont semées dans des pots remplis de 9 kg de terre agricole (7 graines par pot) (**Figure 3.2**). Les graines sont arrosées à l'eau distillée

additionnés de différentes concentrations en NaCl (0,25, 50,75, 100,125, et150mM) jusqu'au stade de récolte **Figure 3.2**



Figure 3.2 : Mise en culture

3.2.3. Dispositif expérimental utilisé

Le dispositif expérimental est de type factoriel à deux facteurs en randomisation totale. Le premier facteur représente les sept traitements salins (T1 : 0 mM, T2 : 25mM, T3 : 50mM et T4 : 75mM, T5 : 100mM, T6 : 125mM, T7 : 150mM NaCl) et le 2ème facteur est représenté par les six variétés (Breclium, Muscad d'Alger, Touchon, Super Muscad, Nantaise, Nantaise améliorée). Le nombre de répétition est de 2 pots. Chaque répétition comporte sept graines par variété et par traitement.

3.2.4. Paramètres étudiés

Pourcentage de germination (%) ;

Longueur totale de plant (cm) ;

Longueur feuilles (cm) ;

Longueur racine (cm) ;

Poids totale de plant (g) ;

Poids feuille (g) ;

Poids racine (g)

3.2.5. Analyse statistique

Les résultats sont soumis à une analyse de la variance à deux facteurs, les histogrammes présentés, rejoignent des valeurs moyennes encadrées par leurs écart-type, les moyennes sont comparées selon la méthode de Newman et Keuls (**DAGNELIE, 1999**), basée sur la plus petite valeur significative. On considère que les résultats sont significatifs quand $P \leq 0,05$. Le traitement des données obtenues s'est fait à l'aide du logiciel Stat Box (v6.0).

3.3. Deuxième partie expérimentale : Caractérisation phénotypique de quelques variétés de carotte (*Daucus carota* L.) cultivée dans la région de M'sila

3.3.1. Matériel végétal

Les graines de 6 variétés de carotte (*Daucus carota* L.) «Breclium, Muscad d'Alger, Touchon, Super muscad, Nantaise, Nantaise améliorée» sont utilisées comme matériel végétal dans cette étude. Ces graines sont désinfectées à l'eau de javel à 0,5 % pendant 3 min puis rincées soigneusement trois fois avec de l'eau distillée pour éliminer toute trace de chlore.

3.3.2. Préparation des planches de plantation

Les planches sont labourées superficiellement de 15-20 cm de profondeur. À l'aide un Charrué à disque. Par la suite les planches sont préparées manuellement. La taille des planches est de 180 cm de longueur et 100cm de largeur. Les blocs parcellaires sont d'abord nettoyés, les résidus sont enlevés (**Figure 3.3**). Une fois les planches délimitées, avant le semi, un binage léger est réalisé afin de casser les mottes et d'aplanir la planche.



Figure 3.3 : Préparation des planches de plantation

3.3.3. Semi

Le semis est réalisé à la main en ligne sous serre distante de 15 cm, sur une profondeur de 1cm d'environ. Les graines sont ensuite recouvertes par un mélange de terre et sable fin (1/2 de volume)(**Figure 3.4**).



Figure 3.4 : Semi en ligne

3.3.4. Irrigation

Tous les arrosages sont réalisés manuellement, à l'aide d'un arrosoir de 15 litres. Les exigences en eau des cultures varient au cours du cycle de développement. Après le semi une irrigation immédiate avec l'eau du robinet est réalisée (jour/jour).après l'apparition des premières feuilles, l'arrosage est effectué chaque jour.

3.3.5. Désherbage

Comme toutes les opérations culturales, le sarclage est réalisé manuellement juste après l'arrosage.

3.3.6. Eclaircissage

L'éclaircissage consiste à supprimer les jeunes pousses les plus fragiles au stade 4-5 feuilles pour laisser aux plus vigoureuses la place de se développer.

3.3.7. Dispositif expérimental

L'expérience suit un dispositif en Blocs aléatoires complets (BAC), avec six répétitions (n=6 blocs). Chaque bloc contient trois lignes de plantation pour chaque variété, soit neuf lignes par bloc au total (**Figure 3.3**).

3.3.8. Echantillonnage et méthode d'étude

La récolte est effectuée manuellement après 175 jours de la culture. Les données sont collectées sur cinq plantes choisies aléatoirement. Les caractères qui font l'objet de notre étude sont ceux trouvés dans les principaux directeurs pour la conduite de l'examen de la distinction, de l'homogénéité et de la stabilité des caractères de la carotte (*Daucus carota* L.) et admis par l'UPOV 2015 (Union internationale pour la Protection des Obtentions Végétales). Dans cette recherche, nous avons étudié les caractères qualitatifs et quantitatifs (**Tableau 3.6**).

3.3.9. Analyses statistiques

L'évaluation de la structuration de la diversité morphologique a été faite par une analyse en composantes principales (ACP) et une classification hiérarchique ascendante (CHA). Le logiciel EXCEL 7.1 (2016) a servi aux analyses.

Tableau 3.6 : Descripteurs morphologiques et phénologiques utilisés pour la caractérisation des espèces de carotte (*Daucus carota* L.) en Algérie (UPOV2015).

Descripteurs	Code	Catégorie	MA	SM	T	NA	N	B
Feuillage : largeur de la couronne	FLC	3 : Étroite ; 5 : Moyenne ; 7 : large	5	3	5	3	3	5
Feuille : port	FP	1 : dressé ; 3 : demi-dressé ; 5 : étalé	3	3	3	5	5	1
Feuille longueur (pétiole compris)	FLPC	1 : très courte ; 3 : Courte ; 5 : moyenne ; 7 : longue ; 9 : très longue	3	5	5	3	3	5
Feuille : division	FD	3 : fine ; 5 : moyenne ; 7 : grossière	5	5	5	3	3	5
Feuille : intensité de la couleur vert	FICV	3 : claire ; 5 : moyenne ; 7 : foncée	5	5	5	3	5	7
Feuille : pigmentation anthocyanique du pétiole	FPAP	1 : absente ; 9 : présente	1	9	9	9	9	9
Racine : longueur	RL	1 : très courte ; 3 : courte ; 5 : moyenne ; 7 : longue ; 9 : très longue	5	7	5	7	7	5
Racine : largeur	RLr	3 : étroite ; 5 : moyenne ; 7 : large	5	5	7	7	5	5
Racine : rapport longueur/largeur	RLL	1 : très petit ; 3 : petit ; 5 : moyen ; 7 : grand ; 9 : très grand	5	7	3	9	7	5
Racine : forme en section longitudinale	RFSL	1 : arrondie ; 2 : obovale ; 3 : obtriangulaire moyen ; 4 : obtriangulaire étroite ; 5 : obtriangulaire étroite à rectangulaire étroite ; 6 : rectangulaire étroite	6	5	3	4	5	3
Racine : forme de l'épaulement	RFE	1 : plat ; 2 : plat à arrondi ; 3 : arrondi ; 4 : arrondie à conique ; 5 : conique	1	3	3	5	3	5
Racine : extrémité (à plein développement)	REPD	1 : arrondie ; 2 : légèrement pointue ; 3 : fortement pointue	2	1	1	3	2	1
Racine : couleur externe	RCE	1 : blanche ; 2 : jaune ; 3 : orange ; 4 : rouge rosâtre ; 5 : rouge ; 6 : pourpre	3	3	5	3	3	4
À l'exclusion des variétés à racine de couleur externe blanche : Racine : intensité de la couleur externe	AEVRC EBRIC E	3 : clair ; 5 : moyenne ; 7 : foncée	3	7	5	5	5	7
Racine pigmentation anthocyanique de la peau du collet	RPAPC	1 : absente ; 9 : présente	1	1	9	1	9	9
Racine : extension de la coloration verte de collet	REVCV	1 : nulle ou très petite ; 3 : petite ; 5 : moyenne ; 7 : grande ; 9 : très grande	1	3	3	5	3	3

Racine : annelure de la surface	RAS	1 : absente ou très faible ; 3 : faible ; 5 : moyenne ; 7 : forte ; 9 : très forte	5	3	1	3	1	5
Racine : diamètre du cœur par rapport au diamètre total	RDC	1 : très petit ; 3 : petit ; 5 : moyen ; 7 : grand ; 9 : très grand	5	5	3	7	9	3
Racine : couleur du cortex	RCC	1 : blanc ; 2 : jaune ; 3 : orange ; 4 : rouge rosâtre ; 5 : rouge ; 6 : pourpre	2	2	5	2	2	3
À l'exclusion des variétés à cœur blanc : Racine : intensité de la couleur du cœur	AEVCB RICC	3 : claire ; 5 : moyenne ; 7 : foncée	3	3	5	5	5	5
Racine : couleur du cœur par rapport à la couleur du cortex	RCCRC C	1 : plus claire ; 2 : même couleur ; 3 : plus foncée	3	3	2	3	3	2
Racine : extension de la coloration vert à l'intérieur (en section longitudinale)	RECV	1 : nulle ou très petite ; 3 : petite ; 5 : moyenne ; 7 : grande ; 9 : très grande	5	7	3	3	7	1
Racine : partie hors terre	RPHT	1 : nulle ou très petite ; 3 : petite ; 5 : moyenne ; 7 : grande ; 9 : très grande	7	7	5	1	3	1
Variétés avec extrémité arrondie seulement : Racine : époque de boutage	VEASR EB	3 : précoce ; 5 : moyenne	/	3	5	/	/	5
Racine : époque de coloration de l'extrémité en section longitudinale	RECES	1 : très précoce ; 3 : précoce ; 5 : moyenne 7 : tardive ; 9 : très tardive	5	7	1	5	3	3
Plante : tendance à la montaison	PTM	3 : faible ; 5 : moyenne ; 7 : haute	5	5	3	5	3	3
Plante : hauteur de l'ombelle primaire à l'époque de sa floraison	PHOPE F	3 : basse ; 5 : moyenne ; 7 : haute	5	5	3	3	3	3
Coloration du pétiole par les anthocyanes (l'intérieur du pétiole)	CPAIP	3 : Légèrement coloré ; 5 : Moyennement coloré ; 7 : fortement coloré	3	5	7	5	5	3
Pilosité du pétiole	PP	3 : Faible ; 5 : Moyenne ; 7 : Dense	5	3	7	7	5	3
Pilosité des feuilles	PF	3 : Faible ; 5 : Moyenne ; 7 : Dense	3	5	7	5	5	5
Type de feuilles	TF	1 : Ressemblant à une feuille de céleri ; 2 : Normales ; 3 : ressemblant à une feuille de persil ou une fronde de fougère	1	1	2	2	2	3
Division des feuilles	DF	3 : légèrement découpées ; 5 : Moyennement découpées ; 7 : Fortement découpées	5	5	7	7	5	5

Couleur des feuilles	CF	1 : vert jaune ; 2 : vert 3 : vert gris ; 4 : vert pourpre ; 99 : Autre	2	2	2	1	1	2
Intensité de la couleur des feuilles	ICF	3 : Claire ; 7 : Foncée	3	7	7	3	3	7
Recouvrement du sol par les feuilles	RSF	3 : clairsemé (offrant peu de protection aux racines contre les rayons du soleil) ; 5 : Intermédiaire ; 7 : Dense (offrant une bonne protection des racines contre les rayons du soleil)	3	7	7	5	5	5
Feuillage : Largeur de l'insertion	FLI	3 : Étroite ; 5 : Intermédiaire ; 7 : Large	5	5	7	3	5	3
Tendance à la montaison (première année)	TMPA	3 : Faible ; 5 : moyenne ; 7 : Élevée	3	3	3	3	3	3
Vitesse de la montaison	VM	3 : Lente ; 5 : Moyenne ; 7 : Rapide	5	5	3	3	3	3
(%) de plantes montées en graines	PMG		20%	14%	0%	0%	0%	0%

(v1) : MA : Muscad d'Alger

(v2) : SM : Super Muscad

(v3) : T : Touchon

(v4) : NA : Nantaise améliorée

(v5) : N : Nantaise

(v6) : B : Breclium

CHAPITRE VI

RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Première partie expérimentale : Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de carotte (*Daucus carota* L.)

Au niveau de cette expérience, le comportement de six variétés du genre *Daucus carota* étudiés vis-à-vis du stress salin est analysé par une étude de pourcentage de germination et morphologique. On rappelle que le pourcentage de germination est calculé après 10 jours de semi et tous les paramètres morphologiques ont été mesurés sur des plants âgés de 100 jours.

Pour le stress très sévère 150mM de NaCl aucune graine n'a germé pour les six variétés de carotté étudiée dans ce travail. Ainsi que sous stress salin 75, 100 et 125 mM NaCl aucune graine n'a germé pour Nantaise améliorée.

Après traitements statistiques, les résultats de tous les paramètres sont présentés dans l'ordre suivant :

4.1.1. Effet du stress salin sur le pourcentage de germination des graines (%)

La (**figure 4.1**) montre que, quelle que soit la variété, la capacité germinative des graines stressées est réduite comparativement au témoin et ceci pour les toutes les concentrations utilisées.

En effet, le (**tableau 4.1**) montre que, lorsque le stress est faible et modéré (25 et 50), les variétés Muscad d'Alger, Super Muscad et Touchon se distinguent de toutes les autres et montrent un taux de germination qui n'est pas significativement différent par rapport au témoin (100%). Or, lorsque l'intensité du stress est élevée (75, 100 et 125 mM), toutes les variétés sont affectées et montrent un taux de germination différent de celui du témoin. Il est à signaler que la variété Muscad d'Alger est la plus résistante au stress salin et elle a montré un taux de germination de 100 % en condition de stress sévères (75 mM). Or, toutes les autres variétés ont montré un taux de germination qui ne dépasse pas 80%

pour le même niveau de stress. Nos résultats montrent un effet dépressif du sel sur la germination des graines et concordent avec d'autres études (Ben Naceur et al, 2001 ; Rachidai et aL, 1994).

Tableau 4.1 : Pourcentage de germination des graines (%) de six variétés de carotte sous différentes concentration de NaCl

NaCl	Muscad d'Alger	Super Muscad	Touchon	Nantaise	Nantaise Améliorée	Breclium
Témoins	100 ± 0a	100 ± 0a	100 ± 0a	100 ± 0a	100 ± 0a	100 ± 0a
25 mM	100 ± 0a	100± 0a	100 ± 0a	60 ± 1,5c	100 ± 0a	80 ± 3b
50 mM	100 ± 0a	100±0a	100 ± 0a	60 ± 3,5c	80 ±2,83b	80 ± 1b
75 mM	100 ± 0a	80 ± 4,4b	80 ± 0b	19,4 ± 3e	0	20 ± 0 ^e
100 mM	80 ± 0,71b	80 ±0b	60 ± 4,3c	20 ± 0e	0	20 ± 5,43e
125 mM	60 ± 2,24c	60 ± 0c	40 ± 0d	20 ± 1,8e	0	20 ± 0e
150 mM	0	0	0	0	0	0

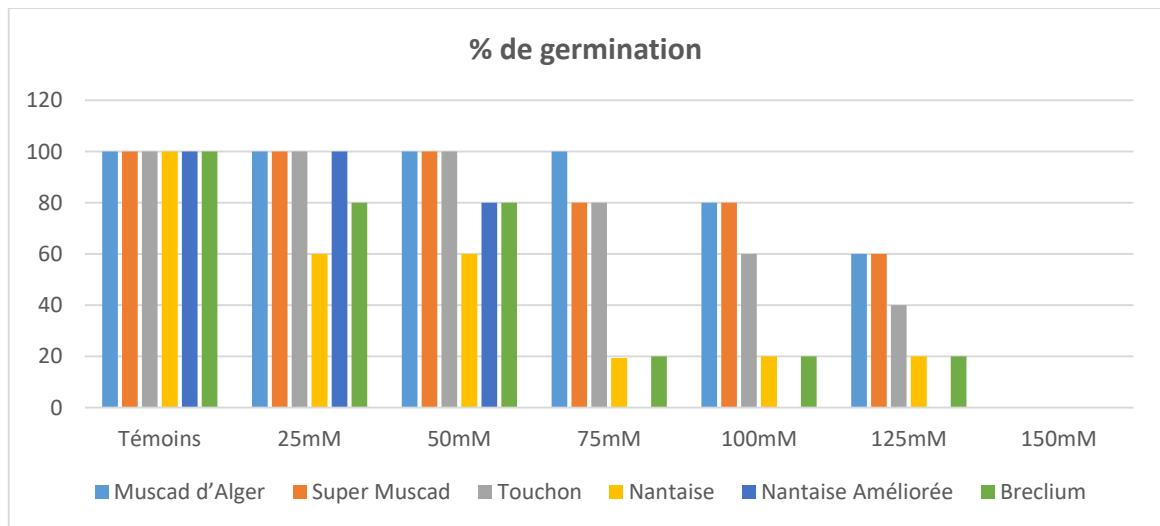


Figure4.1 : Effet du stress salin sur le taux de germination de six variétés de carotte (*Daucus carota* L.)

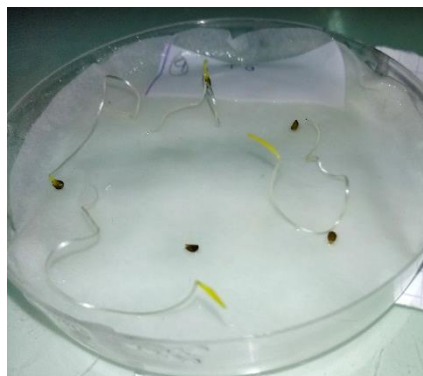


Figure 4.2 : Germination des graines de variété de carotte (*Muscad d'Alger*.)

L'apparition d'interaction très hautement significative entre traitement salin et variété pour ce paramètre, montre bien l'intérêt de ce caractère dans la sélection des variétés tolérantes à la salinité.

4.1.2. Effet du stress salin sur la longueur totale des plants

Les résultats obtenus montrent une diminution des valeurs de la longueur totale des plants chez les différentes variétés étudiées. Chez les témoins, les longueurs totale des plants restées plus élevées, comparativement aux longueurs totale des plants traitées par les différentes concentrations de NaCl (**Tableau 4.2 ; Figure 4.2**).

Ainsi, en l'absence de contrainte saline (témoin), la variété Nantaise amélioré présente la longueur la plus élevée. Par contre, la variété Touchon représente la longueur la plus faible par rapport aux autres variétés étudiées (**Tableau 4.2 ; figure 4.2**).

Sous les différentes concentrations en NaCl (25, 50 et 75mMNaCl), l'analyse de la variance, montre un effet très hautement significatif du stress salin sur la longueur des plants de toutes les variétés étudiées (**P=0 ; Tableau 1, ANNEXE 1**).

Tableau 4.2 : Test statistique de signification de Fisher à $\alpha=5\%$ de la longueur totale des plants de six variétés de carotte sous différentes concentration de NaCl

	témoin	25 mM	50 mM	75 mM	% réduction
Muscad d'Alger	29 ± 0,79b	27,8 ± 0,67bc	20,1 ± 0,96g	17,9 ± 0,7h	38.27
Super muscad	29,46 ± 0,74b	26,7 ± 1,03c	26,16 ± 0,7c	22,5 ± 0,79ef	23 .62
Touchon	20,5 ± 0,8g	21 ± 1,45g	16,9 ± 0,89hi	11,2 ± 1,15j	43.36
Nantaise amé	31,3 ± 1,3a	28,96 ± 2,2b	27,94 ± 1,24bc	0	100
Nantaise	27,9 ± 0,8bc	26,16 ± 0,6c	29,6 ± 0,9b	24,16 ± 0,7d	13.40
Breclium	24,3 ± 0,5d	23,36 ± 0,47de	21,36 ± 0,68fg	15,8 ± 0,75i	34.97
Prb	0				
Sig	Très hautement significatif				

Les taux de réduction, les plus élevés de la croissance en longueur totale des plants par rapport au témoin ont été obtenus au traitement 75mM chez Nantaise améliorée (100 %), suivi par Touchon (43.36%). Cependant, le taux de réduction le plus faible

correspondent au traitement 75 mM NaCl (13.40%) chez Nantaise (**Tableau 4.2 ; Figure 4.3**).

L'apparition d'interaction très hautement significative entre traitement salin et variété pour ce paramètre, montre bien l'intérêt de ce caractère dans la sélection des variétés tolérantes à la salinité

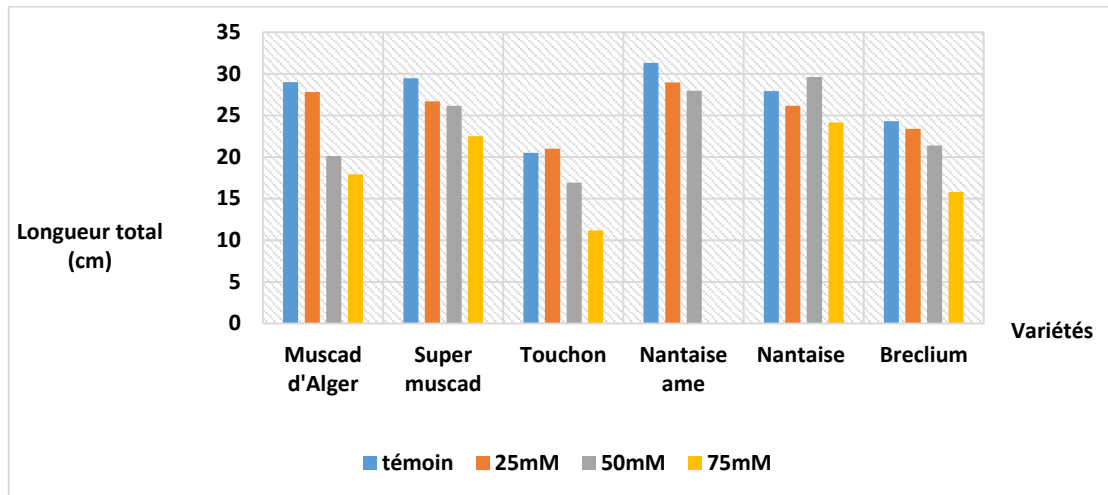


Figure 4.3 : Effet du stress salin sur la longueur totale des plants de six variétés de carotte (*Daucus carota* L.)

4.1.3. Effet du stress salin sur la longueur des feuilles

Le stress salin a entraîné une diminution très hautement significative ($P=0$, **Tableau 3 ; ANNEXE 1**) de la croissance en longueur des feuilles au niveau de tous les traitements (25, 50, et 75mM) testés par rapport au témoin 0 mM NaCl. Effectivement, les taux de réduction, les plus élevés de la croissance en longueur de la feuille par rapport au témoin ont été obtenus au traitement 75mM chez Nantaise améliorée (100 %), suivi par Touchon (50.34%). Cependant, les taux de réduction les plus faibles correspondent au traitement 75 mM NaCl (25.43%) et chez Super Muscad et (26.51%) chez Nantaise (**Tableau 4.3 ; Figure 4.4**).

Tableau 4.3 : Test statistique de signification de Fisher à $\alpha=5\%$ de la longueur des feuilles de six variétés de carotte sous différentes concentrations de NaCl

	Témoin	25mM	50mM	75mM	% de réduction
Muscad d'Alger	18,6 ± 0,65a	15,7 ± 0,57bcde	13 ± 0,6ghi	9,8 ± 0,57l	47.31
Super muscad	15,96 ± 0,7bcd	14,2 ± 1,35defg	15,66 ± 0,7bcde	11,9 ± 0,65ijk	25.43
Touchon	14,7 ± 0,67defg	13,46 ± 0,8fg	12,36 ± 0,4hij	7,3 ± 0,6m	50.34
Nantaise amé	17 ± 2b	16,66 ± 2bc	15,04 ± 1,4cdef	0	100
Nantaise	14,56 ± 0,4defg	12,9 ± 0,65ghi	13,94 ± 0,7h	10,7 ± 0,6kl	26.51
Breclium	14,26 ± 0,7defg	12,94 ± 0,4ghi	11,18 ± 0,8jkl	9,7 ± 0,7l	31.97

L'apparition d'interaction très hautement significative entre traitement salin et variété pour ce paramètre, montre bien l'intérêt de ce caractère dans la sélection des variétés tolérantes à la salinité.

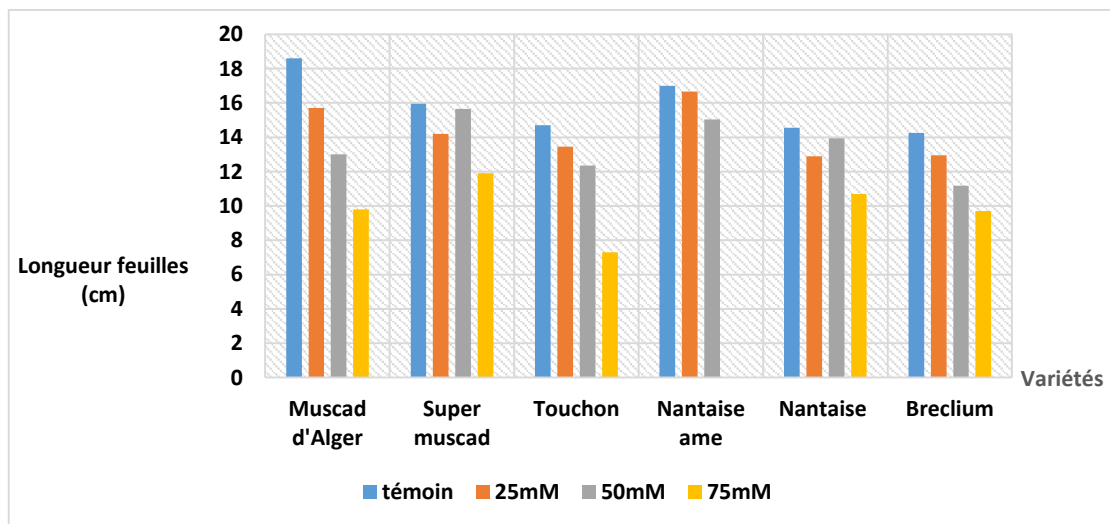


Figure 4.4 : Effet du stress salin sur la longueur des feuilles de six variétés de carotte (*Daucus carota* L.)

4.1.4. Effet du stress salin sur la longueur des racines (carotte commercialisable)

Les résultats de l'analyse du système racinaire, sous différentes concentrations de NaCl, sont présentés sur la **figure 4.4** et **tableau 4.4**.

En l'absence de contrainte saline (témoin), les deux variétés Nantaise et Nantaise amélioré présentent la longueur la plus élevée. Par contre, la variété Touchon représente

la longueur la plus faible par rapport aux autres variétés étudiées (**Tableau 4.4 ; figure 4.5**).

En conditions de stress sèvre 75mM la longueur des racines est légèrement affectée chez Super Nantaise 10.50%, 21.48% chez Super Muscad et 32.5 chez Muscad d'Alger. En revanche, l'effet de stress salin sévère est très remarqué chez Nantaise améliorée (100% de réduction), chez Touchon (55%), et chez Breclium (49.91 %).

L'apparition d'interaction très hautement significative entre traitement salin et variété pour ce paramètre, montre bien l'intérêt de ce caractère dans la sélection des variétés tolérantes à la salinité.

Tableau 4.4 : Test statistique de signification de Fisher à $\alpha=5\%$ de la longueur des racines de six variétés de carotte sous différentes concentration de NaCl

NaCl	témoin	25 mM	50 mM	75 mM	% de réduction
Muscad d'Alger	12 ± 0,35bcd	7,5 ± 1e	10,4 ± 0,89cd	8,1 ± 0,4e	32.5%
Super muscad	13,5 ± 1ab	11,04 ± 1,4cd	11,46 ± 1,2cd	10,6 ± 0,6cd	21.48%
Touchon	8,64 ± 1,4e	5,8 ± 1f	3,44 ± 0,5g	3,9 ± 1	55.11%
Nantaise amé	14,42 ± 1,7a	11,38 ± 1,4cd	13,5 ± 1,2ab	0	100%
Nantaise	15,04 ± 0,8a	13,26 ± 0,5ab	13,96 ± 1,2ab	13,46 ± 1ab	10.50%
Breclium	12,18 ± 0,8bc	8,42 ± 0,8e	10,04 ± 0,6d	6,1 ± 1,5f	49.91%

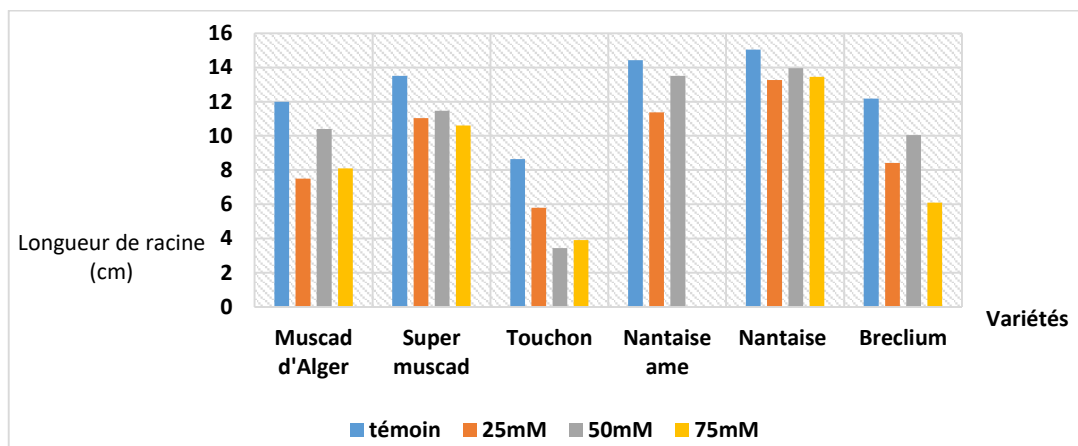


Figure 4.5 : Effet du stress salin sur la longueur des racines de six variétés de carotte (*Daucus carota* L.)

4.1.5. Effet du stress salin sur le poids frais total des plants, le poids frais des feuilles et le poids frais des racines (carotte commercialisable) :

Les résultats de l'effet de la contrainte saline sur la production des biomasses frais des parties aériennes (plants total, feuilles) et celles racinaires (carotte commercialisable) sont donnés dans les tableaux et les figures ci-dessous.

Nos résultats ont montré que le poids frais de l'appareil végétatif et racinaire est lié à la concentration saline appliquée. En effet, une nette régression de la biomasse fraîche aérienne et racinaire a été enregistrée au fur et à mesure que la concentration du sel augmente (**Tableau 4.5 ; 4.6 ; 4.7 ; Figure 4.6 ; 4.7 ; 4.8**).

Cette relation (concentration saline/poids frais partie aérienne et racinaire) est confirmée par l'analyse de la variance à un seul critère de classification. Le traitement statistique indique un effet très hautement significatif (**P=0, tableau 4, 5, 6, ANNEXE 1**).

Les taux de réduction les plus élevés des biomasses fraîches des parties aérienne et souterraine par rapport au témoin ont été enregistrés au niveau du traitement 75 mM NaCl chez Nantaise amélioré et Touchon. Les taux de réduction les plus faibles ont été obtenus chez Muscad d'Alger et Super Muscad (**Tableau4.5 ; 4.6 ; 4.7**).

Tableau 4.5 : Test statistique de signification de Fischer à $\alpha=5\%$ de poids frais totale des plants de six variétés de carotte sous différentes concentration de NaCl

	témoin	25 mM	50 mM	75 mM	% de réduction
Muscad d'Alger	25,7 ± 0,5h	22,03 ± 0,31k	20,94 ± 0,36l	18,76 ± 0,49m	27 .0%
Super muscad	26,78 ± 0,39g	22,45 ± 0,45jk	25,06 ± 0,49h	19,14 ± 0,43m	28.52%
Touchon	30,29 ± 0,61e	28,69±0,53f	21,11 ± 0,41	11,87 ± 0,63o	60.81%
Nantaise amé	39,24 ± 0,3a	37,63 ± 0,52b	32±0,42d	0	100%
Nantaise	39,69 ± 0,51a	36,88 ± 0,5c	31,46 ± 0,45d	22,85 ± 0,42j	42.42%
Breclium	27,08 ± 0,59g	24,16±0,64i	25,72 ± 0,7h	14,72 ± 0,42n	45.64%
Prb	0				
Sig	Très hautement significatif				

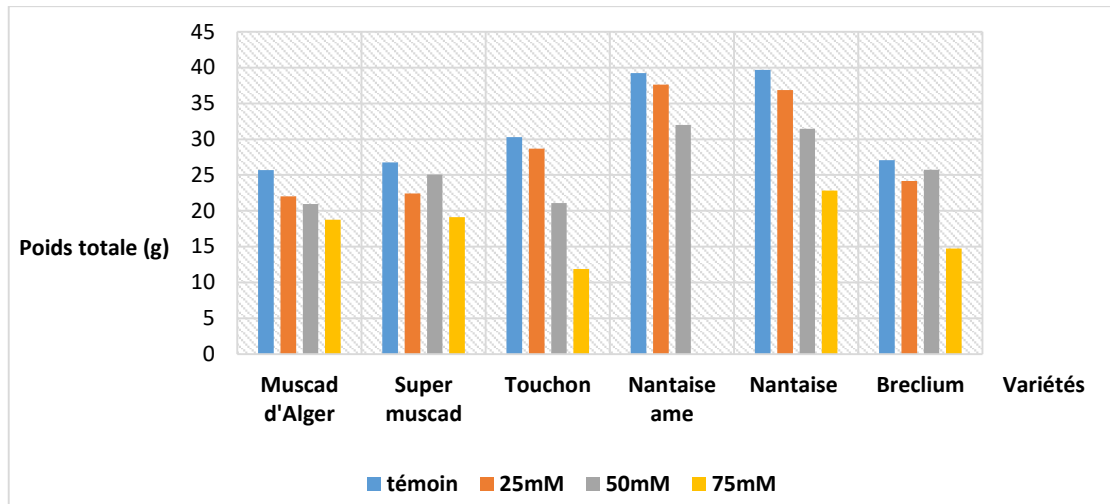


Figure 4.6 : Effet du stress salin sur le poids frais total des plants de six variétés de carotte (*Daucus carota* L.).

Tableau 4.6 : Test statistique de signification de Fisher a $\alpha=5\%$ de poids frais des feuilles de six variétés sous différentes concentration de NaCl

	témoin	25 mM	50 mM	75 mM	% réduction de
Muscad d'Alger	13,4 ± 0,29e	10,45 ± 0,37i	10,28 ± 0,34ij	8,82 ± 0,39l	34.17%
Super muscad	11,65 ± 0,5h	9,96 ± 0,2ij	10,44 ± 0,36i	8,83 ± 0,45l	24.20%
Touchon	14,94 ± 0,48d	12,44 ± 0,25g	9,32 ± 0,23kl	5,97 ± 0,32m	75.12%
Nantaise amé	17,82 ± 0,26a	12,88 ± 0,22fg	13,11 ± 0,18ef	0	100%
Nantaise	17,3 ± 0,27b	12,82 ± 0,3fg	16,73 ± 0,3c	8,83 ± 0,26l	48.95%
Breclium	9,92 ± 0,2ij	9,77 ± 0,3jk	9,4 ± 0,3k	5,8 ± 0,1m	41.53%

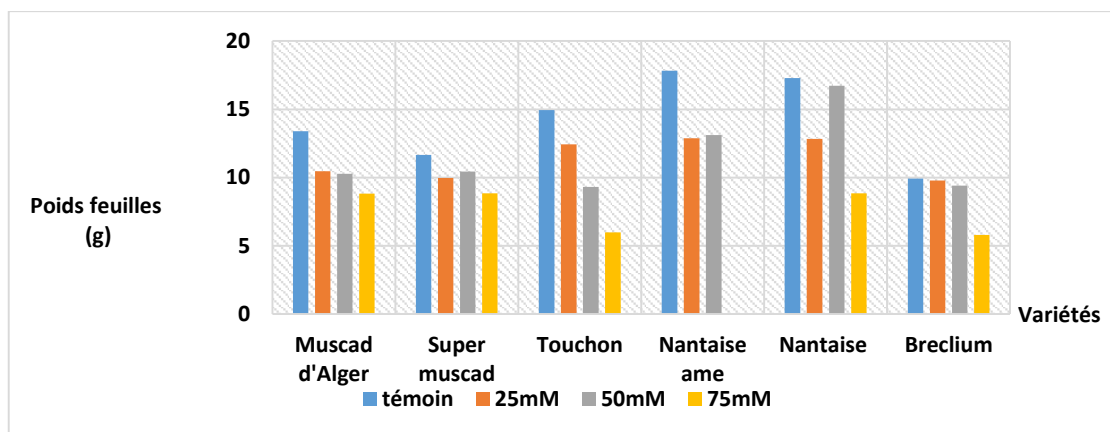


Figure 4.7 : Effet du stress salin sur le poids frais des feuilles de six variétés de carotte (*Daucus carota* L.).

Tableau 4.7 : Test statistique de signification de Fisher a $\alpha=5\%$ de poids frais de carotte commercialisable de six variétés sous différentes concentration de NaCl

NaCl	témoin	25 mM	50 mM	75 mM	% de réduction
Muscad d'Alger	12,3 ± 0,57jk	11,58 ± 0,312k	10,56 ± 0,47l	9,93 ± 0,54l	19.26%
Super muscad	16,34 ± 0,7g	12,49 ± 0,41j	13,41 ± 0,56i	10,31 ± 0,27l	39.90%
Touchon	16,24 ± 0,73g	15,34 ± 0,69h	11,78 ± 0,47jk	6,06 ± 0,36n	62.68%
Nantaise amé	24,52 ± 0,57a	19,11 ± 0,58e	21,42 ± 0,53d	0	100%
Nantaise	22,38 ± 0,68b	18,64 ± 0,39e	20,14 ± 0,5d	14,01 ± 0,4i	37.39%
Breclium	17,15 ± 0,4f	16,32 ± 0,5g	14,8 ± 0,8h	8,92 ± 0,5m	47.98%

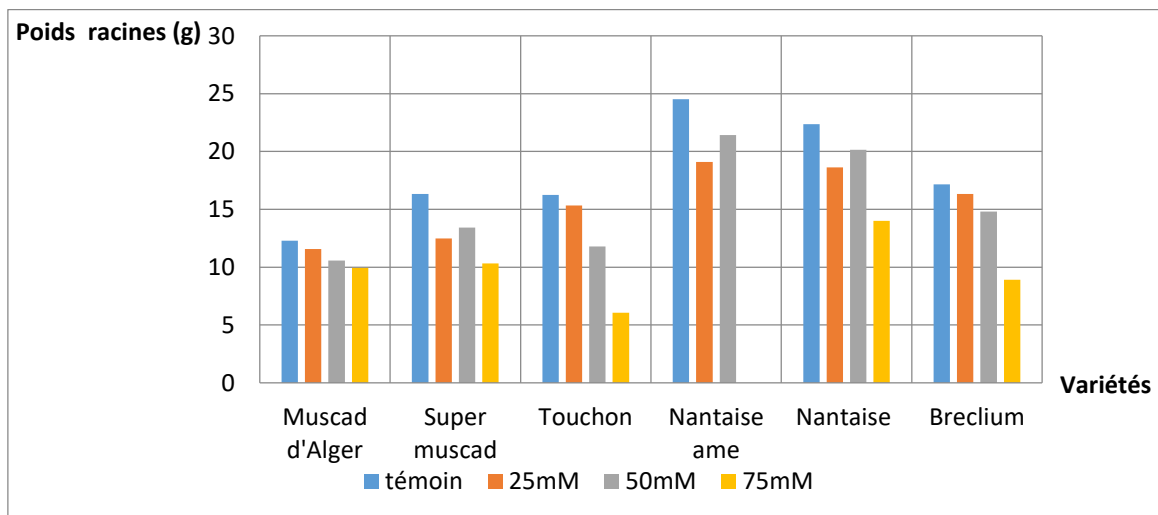


Figure 4.8 : Effet du stress salin sur le poids frais des racines (carotte commercialisable) de six variétés de carotte (*Daucus carota* L.)

L'apparition d'interaction très hautement significative entre traitement salin et variété pour ces trois paramètres (poids total des plants, poids des feuilles et poids des racines, montre bien l'intérêt de ces caractères dans la sélection des variétés tolérantes à la salinité.

4.1.6. Classification des différentes variétés de carotte étudiée en groupes homogènes, selon le test Newman-Keuls, pour le paramètre le plus discriminant

La comparaison de $F_{\text{observé}}$ de tous les traitements salin (0, 25mM, 50mM, 75mM NaCl) combinée avec les six variétés (Breclium, Muscad d'Alger, super Muscad, Touchon, Nantaise, Nantaise amélioré) montre que le poids frais totale des plants est le paramètre le plus discriminant (**Tableau 4.8.**). Les résultats obtenus montre que les variétés « Muscad d'Alger et Super Muscad sont significativement les meilleurs, comparativement aux autres variétés. Suivi par Nantaise, Breclium et Touchon. La variété « Nantaise amélioré), quant à elle, elle se montre la plus sensible au stress salin (**Figure 4.8.**).

Tableau 4.8 : Classification des différents paramètres analysés selon le test F

Les paramètres	Test F
Longueur de total des plants	139.78
longueur de racine	36,045
Longueur des feuilles	46.94
Poids frais total des plants	871,326
Poids frais partie racinaire	265,594
Poids frais des feuilles	428,092

DISCUSSION

La présente étude fournit des informations pouvant aider à déterminer les variétés de carotte qui ont une haute tolérance au stress salin. Nos résultats montrent clairement que les graines de différentes variétés de carotte (*Daucus carota* L.) germent mieux en absence de sel (0g/l) ou dans un milieu enrichi en NaCl à faible concentration (25, 50, 75mM NaCl). Lorsque la concentration en sel augmente (100mM, 125 mM NaCl), une forte diminution du taux de germination se produit alors qu'une forte dose de sel (150 de NaCl) inhibe la germination (0%) chez toutes les variétés étudiées. Pour toutes les doses étudiées (25mM ; 50 ; 75, 100, 125 et 150 de NaCl), la germination des graines de *Daucus carotta* commence le troisième jour après semis. Ainsi, le stress salin sèvre ne retarde pas la germination mais il inhibe. Cette inhibition peut être osmotique et/ou toxique. Dans la mesure où elle est d'origine osmotique, on devrait s'attendre à une reprise de la germination après levée de cette contrainte. Par contre, si des phénomènes de toxicité ionique interviennent, on peut prévoir l'absence de cette reprise de germination (**Hajlaoui et al, 2007**).

Askri et al. (2007) confirment ces résultats en justifiant qu'en présence de NaCl, les variétés de pastèque subissent une diminution du taux de germination. **Jaouadi et al. (2009)** rapportent que la germination des graines de *Acacia tortilis* est inhibée dès que la concentration en NaCl atteint 9 g.l-1 (60 % de taux de germination) mais celles-ci continuent à germer même à des concentrations élevées de NaCl (50 % de germination à 18 g.l-1 de NaCl). De même, **Souhail et Châabane (2009)** signalent que la germination de *Atriplex halimus*, *A. canescens* et *A. nummularia* est inhibée à partir d'une concentration de 8 g.l-1 de NaCl. D'autre part, **Mohamdi et al. (2011)** rapportent que chez le Campbell 33, le pourcentage de germination n'a été affecté par le sel qu'à partir de la concentration de 85mM.

Les résultats rapportés dans cette étude montrent que la carotte est une plante sensible à l'action du NaCl, au stade de la germination. Ces résultats nous ont permis de classer les variétés étudiées en cinq groupes significativement différents, en comparant leur taux de germination moyenne. Le premier groupe est formé de « Muscad d'Alger » qui est la variété la plus résistante au sel. Le deuxième contient la variété moyennement

résistante qui est « Super Muscad», le troisième groupe contient la variété Nantaise qui est moyennement sensible au sel, le quatrième groupe comprend la variété « Breclium » qui est sensible au sel. Enfin, le cinquième groupe regroupe deux variétés à savoir « Nantaise amélioré » et « Touchon » qui sont les plus sensibles au stress salin.

La diminution de la croissance des parties aérienne (longueur et poids) peut aussi être expliquée par des perturbations des taux des régulateurs de croissance dans les tissus, particulièrement l'acide abscissique et les cytokinines induites par le sel (FAHAD *et al.*, 2015), mais aussi à une diminution de la capacité photosynthétique provoquée par la diminution de la conductance stomatique de CO₂ sous la contrainte saline. Dans tous les cas, cette réduction de la croissance des différentes parties aériennes est considérée comme une stratégie adaptative nécessaire à la survie des plantes exposées à la salinité (DAROUI *et al.*, 2013). Ceci permet à la plante d'emmagasiner de l'énergie nécessaire pour faire face au stress afin de réduire les dommages irréversibles occasionnés, quand le seuil de la concentration létale est atteint (Benmahioul *et al.*, 2009).

Le déficit des biomasses enregistré chez les plants stressés de carotte, n'a pas affecté de façon similaire les deux parties de la plante. En effet, la croissance de la partie aérienne a été moins affectée par le sel que celle de l'appareil racinaire. Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par Radhouane, (2008). La résistance du système racinaire au stress salin peut être due à une diminution de l'allocation du carbone pour la croissance foliaire au profit de la croissance racinaire (Brugnoli et Björkman, 1992). Chez d'autres plantes, le système racinaire est le plus résistant à la salinité que la partie aérienne (Reda tazi *et al.* (2001). La plante semble s'adapter au stress salin en réduisant en premier lieu son système racinaire préservant la partie aérienne devant maintenir et assurer la production de photosynthèse (Hamrouni *et al.*, 2011). Cette différence de sensibilité entre les organes d'absorption et les organes photosynthétiques est caractéristique des plantes glycophytes (Brugnoli et Björkman, 1992).

A l'issue du travail réalisé sur les six variétés de carotte, nous pouvons conclure que sur la base des paramètres les plus discriminants, les variétés « Muscad d'Alger et Super Muscad, suivi par Nantaise, Breclium semble mieux supporter la contrainte saline que les autres variétés.

4.2. Deuxième partie expérimentale : Caractérisation phénotypique de quelques variétés de carotte (*Daucus carota* L.) cultivée dans la région de M'sila

4.2.1. Analyses en composantes principales

L'Analyse en Composante Principale (ACP) sur les variables morphologiques a pour objectif l'identification des caractères les plus descriptifs. La connaissance de ces caractères permettra de les utiliser comme base dans la sélection des variétés performantes (Tableau 4.9.).

Tableau 4.9 : Valeurs propres et pourcentage de variation exprimée par les quatre premiers axes à partir de 39 caractères analysés chez six variétés de carotte (*Daucus carota* L.).

	F1	F2	F3	F4	F5
Valeur propre	14,205	10,973	5,211	4,596	3,015
Variabilité (%)	37,381	28,876	13,713	12,096	7,934
% cumulé	37,381	66,257	79,970	92,066	100,000

Le tableau 4.9. : donne une estimation de la variabilité représentée par chaque axe. Cinq axes ayant une valeur propre supérieure à 1 ont été obtenus, permettant d'expliquer 100% de la variance présente dans les variables. Cependant, le test d'accumulation de variance montre que les deux premiers axes sont les plus pertinentes. Ces deux axes seront utilisés pour décrire la variabilité totale des accessions, soit 66,257% de la variance. Le premier axe exprime un important pourcentage de variation (37,381%). Cette composante se définit du côté positive par :RFSL, RCCRCC, RECV, RECES, PTM, PMG, et du côté négative par :FLPC, RCE, RPAPC, RCC, VEASREB, PF, TF, ICF (Tableau 4.10).

La deuxième composante décrit 28,876% de la variation. Elle se définit du côté positive par : FLC, FD, FICV, RPHT, PHOPEF, CF, VM, et du côté négative par : FP, RL, RLr, RRLl, REPD, RECVC, RDC, AEVCBRICC, DF (Tableau 4.10).

Tableau 4.10 : Corrélation des variables avec les composantes.

Code	F1	F2	F3	F4	Code	F1	F2	F3	F4
FLC	-0,46	0,641	0,020	-0,60	RCCRCC	0,946	0,260	0,081	0,163
FP	0,46	-0,783	0,386	0,001	RECV	0,656	0,009	0,364	0,419
FLPC	-0,69	0,484	-0,021	0,518	RPHT	0,390	0,666	0,601	0,196
FD	-0,28	0,934	0,080	0,07	VEASREB	-0,85	0,42	-0,04	0,275
FICV	-0,45	0,646	-0,464	-0,021	RECES	0,77	0,143	-0,20	0,485
FPAP	-0,57	-0,53	-0,129	0,599	PTM	0,77	0,084	0,081	0,176
RL	0,462	-0,641	-0,020	0,601	PHOPEF	0,66	0,674	0,161	0,240
RLr	-0,39	-0,531	0,487	-0,138	CPAIP	-0,41	-0,39	0,757	0,32
RRL	0,583	-0,64	-0,325	0,330	PP	-0,11	-0,57	0,618	-0,44
RFSL	0,938	0,207	0,145	-0,040	PF	-0,81	-0,30	0,376	0,317
RFE	-0,48	-0,54	-0,563	0,236	TF	-0,73	-0,32	-0,55	-0,21
REPD	0,561	-0,694	-0,034	-0,381	DF	-0,39	-0,53	0,487	-0,13
RCE	-0,92	0,193	0,297	-0,154	CF	-0,28	0,934	0,080	0,076
AEVRCEBRICE	-0,44	0,028	-0,471	0,761	ICF	-0,69	0,484	-0,02	0,518
RPAPC	-0,77	-0,08	-0,081	-0,176	RSF	-0,54	-0,07	0,356	0,756
RECVC	-0,25	-0,82	-0,145	0,344	FLI	-0,20	0,295	0,879	0,031
RAS	0,270	0,534	-0,634	-0,256	TMPA	0,000	0,000	0,000	0,000
RDC	0,599	-0,68	-0,002	0,028	VM	0,666	0,674	0,161	0,240
RCC	-0,86	0,156	0,445	-0,143	PMG	0,694	0,687	0,165	0,029
AEVCBRICC	-0,66	-0,67	-0,161	-0,240					

4.2.1.1. Représentations des variables et des individus

La (figure 4.9.) présente la projection des individus sur le plan formé par les axes 1 et 2 en fonction de leur contribution. L'examen de la figure permet de distinguer 4 groupes d'individus dont la contribution relative à la formation des axes est importante.

L'axe 1 sépare deux groupes : GI et GII, situés respectivement du côté positif et négatif de l'axe.

Groupe GI : comprend la variété Muscade d'Alger, dont la plante est caractérisée par : RFSL, RCCRCC, RECV, RECES, PTM, PMG.

Groupe II : comprend les variétés : Breclium et Touchon, caractérisés par FLPC, RCE, RPAPC, RCC, VEASREB, PF, TF, ICF (figure 4.9.)

L'axe 2 est composé de deux groupes (III et IV), situés respectivement du côté positif et négatif de l'axe.

Groupe III : composé de la variété Super Muscade, la plante de cette variété est caractérisée par FLC, FD, FICV, RPHT, PHOPEF, CF, VM (**figure 4.9.**)

Groupe IV : comprend deux variétés Nantaise amélioré et Nantaise ces deux variétés sont caractérisées par FP, RL, RLr, RLL, REPD, REVC, RDC, AEVCBRICC, DF.

En vue d'avoir une vision globale, nous sommes passés à une autre analyse synthétique pour discerner les différents génotypes pour toutes les variables retenues.

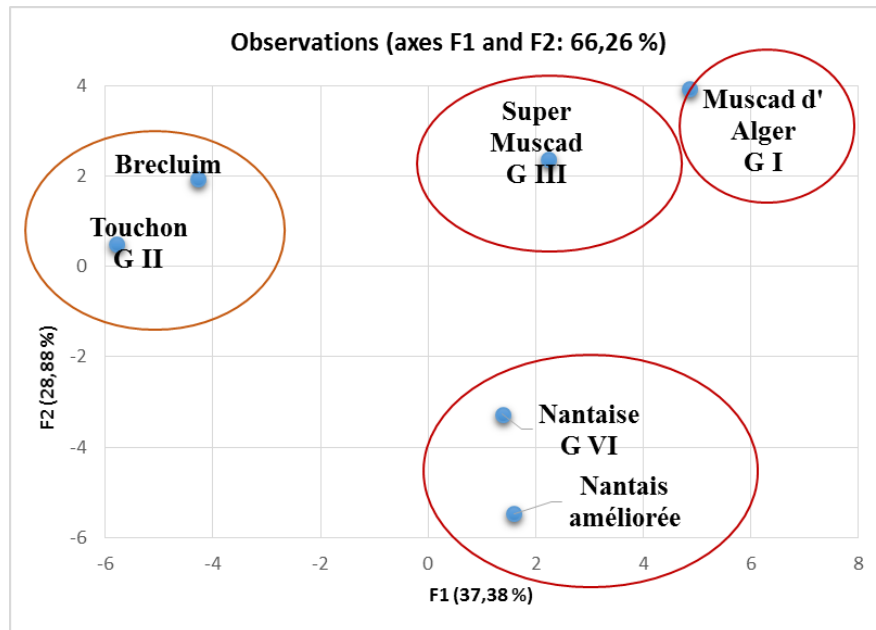


Figure 4.10 : Répartition des 6 variétés de carotte (*Daucus carota* L.) dans le plan 1-2 de l'ACP

4.2.1.2. Analyse de la diversité par la classification Hiérarchique Ascendante

La classification ascendante hiérarchique réalisée sur la base de la distance euclidienne avec la méthode de Ward comme critère d'agrégation révèle trois classes morphologiques (**Figure 4.11.**).

La première classe : comprend deux variétés « Muscad d'Alger et Super Muscad » :

Ces deux variétés sont identiques au niveau de la tendance à la montaison (PTM), la couleur du cœur de racine par rapport à la couleur du cortex (RCCRCC), la vitesse de la montaison (VM), la couleur des feuilles (CF), la hauteur de l'ombelle primaire à l'époque de sa floraison (PHOPEF), la partie hors terre racinaire (RPHT), l'intensité de la couleur vert des feuilles (FICV) et la division des feuilles (FD) (Tableau 4.10 , figure 4.9).

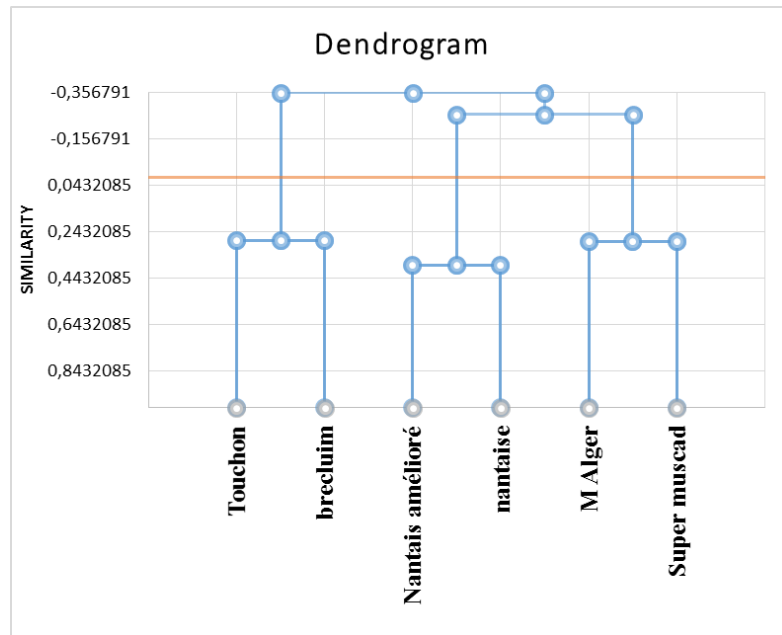


Figure 4.11 : Classification hiérarchique des différentes variétés de carotte étudiées (*Daucus carota* L.). (CAH)

Ces deux variétés sont différentes au niveau de pourcentage de plantes montées en graines (PMG), l'époque de coloration de l'extrémité en section longitudinale de la racine (RECES), l'extension de la coloration verte à l'intérieur (en section longitudinale) de la racine (RECV), la forme en section longitudinale des racines (RFSL) et largeur de la couronne de feuillage (FLC) (Tableau 4.10, figure 4.12.).



Figure 4.12 : Le 1ere class des variétés

La seconde classe : regroupe deux variétés Touchon et Breclium. Ces deux variétés sont identiques au niveau de l'intensité de la couleur des feuilles (ICF), l'époque

de boutage de racine (VEASREB), la pigmentation anthocyanique de la peau du collet (RPAPC), longueur feuille (pétiole compris) (FLPC), et sont différentes pour le type de feuilles (TF), pilosité des feuilles (PF), la couleur du cortex (RCC) et la couleur externe de racine (RCE)(Tableau 4.10 , figure 4.13).



Figure 4.13 : Le 2eme class des variétés

La dernière classe : contient deux variétés (Nantaise et Nantaise améliorée). Ces deux variétés sont identiques au niveau du port de feuille (FP), de l'intensité de la couleur du cœur de racine (AEVCBRICC) et la longueur de racine (RL), et différentes au niveau de la division des feuilles (DF), diamètre du cœur de racine par rapport au diamètre total (RDC), extension de la coloration verte de collet (REVCV), extrémité de racine (à plein développement) (REPD), rapport longueur/largeur de racine (RRL) et largeur de racine (RLr) (Tableau 4.10., Figure 4.14).



Figure 4.14 : le 3eme class des variétés

Au total, sur les 39 variables analysées, 15 (PMG, RECES, RECV, RFSL, FLC, TF, PF, RCC, RCE, DF, RDC, RECVC, REPD, RRLl, RLr) descripteurs ont contribué essentiellement à la révélation de la variabilité totale.

4.2.1.3. Analyse de la matrice des corrélations (Pearson (n))

Le traitement des données par l'ACP nous a fourni la matrice des coefficients de corrélation entre les différents caractères morphologiques (Tableau 1, Annexe1). L'analyse de cette matrice montre une forte corrélation positive entre plusieurs couples de variables. La corrélation entre la pilosité du pétiole PP et la longueur de racine a été ($r^2 = 0,86$). D'autres fortes corrélations positive sont également obtenues entre la division des feuilles DF et largeur de racine RLr ($r^2 = 1$), entre la longueur de feuille (pétiole compris) FLPC et l'intensité de la couleur des feuilles ICF ($r^2 = 1$), entre la hauteur de l'ombelle primaire à l'époque de sa floraison PHOPEF et la vitesse de la montaison VM, et entre la division des feuilles FD et la couleur des feuilles CF ($r^2 = 1$) (Tableau 1, Annexe 1).

DISCUSSION

La caractérisation morphologique est une des étapes importantes dans la description et la classification du germoplasme des plantes cultivées (**Manzano et al., 2001** ; **Yobi et al., 2002**; **Radhouane, 2004**). En effet, tout programme d'amélioration s'appuie nécessairement sur la variabilité morpho-phenologique (**Smith et al., 1991**). Elle permet de mettre à la disposition des améliorateurs des informations capitales, nécessaires pour leurs travaux (**Fraleigh, 1987**). Dans ce contexte six variétés de carotte (*Daucus carota* L.) semis dans la station expérimentale au département d'agronomie de l'université de M'sila a été étudiée en utilisant des descripteurs morphologiques.

L'analyse de la diversité génétique de six variétés de carotte (*Daucus carota* L.) à l'aide de descripteurs morphologiques rapportant aux plantes, feuilles, et racine (carotte commercialisable) sa permis d'apprécier la variabilité génétique intra-spécifique, d'estimer les distances phénotypiques et de dresser un dendrogramme des relations phylogéniques révélées entre ces variétés. Cette diversité phénotypique a été structurée en trois groupes qui se différencient par 15 descripteurs :

Pourcentage de plantes montées en graines, époque de coloration de extrémité en section longitudinale des racine, extension de la coloration verte à l'intérieur (en section longitudinale) des racine, forme en section longitudinale des racines, largeur de la couronne de feuillage, le type de feuilles, pilosité des feuilles, couleur du cortex, couleur externe de racine, division des feuilles, diamètre du cœur de racine par rapport au diamètre total, extension de la coloration verte de collet, extrémité de racine (à plein développement), rapport longueur/largeur de racine, largeur de racine.

L'analyse discriminante à montrer que les paramètres des feuilles et de racine contribuent à discriminer les variétés. Ces descripteurs sont donc les plus pertinents pour l'explication de la variabilité, et sont des variables qui ont servis à décrire la variabilité des variétés de carotte en Algérie. La structuration de la diversité morphologique observée pourrait résulter de la sélection phénotypique paysanne qui prend en compte principalement les caractéristiques de la feuille et de la racine (carotte commercialisable). Chaque année, les agriculteurs choisissent pour reconduire leur culture les semences

issues des plantes les plus grosses et les plus beaux. Cette sélection massale à favoriser une différenciation des variétés en plusieurs groupes mis en évidence dans la présente étude.

Les résultats préliminaires sur la diversité et la structuration morphologique des variétés de carotte montrent clairement que ces variétés analysés présentant une variation pour l'ensemble des caractères utilisés, en particulier ceux liés aux feuilles et aux racines. Cette variabilité génétique observée entre les variétés constitue un atout pour les travaux de sélection

CONCLUSION

Les résultats préliminaires sur la diversité et la structuration morphologique de la carotte cultivée en Algérie montrent clairement que les variétés analysées présentent une variation pour l'ensemble des caractères utilisés, en particulier ceux liés aux feuilles et à la racine. Cette variabilité a été structurée en trois groupes par la classification ascendante hiérarchique. Chaque groupe constitue une source potentielle de caractères intéressants pour l'amélioration de la carotte. Il est important d'associer aux caractères morphologiques des techniques moléculaires telles que les microsatellites qui permettront de mieux caractériser les variétés à l'intérieur de ces trois groupes.

Notre travail comporte deux parties.

Dans la première partie, nous avons étudié le taux de germination et 6 paramètres morphologiques (longueur totale des plants, longueur des racines « racine commercialisable », longueur des feuilles, poids frais total des plants, des feuilles et des racines (carotte commercialisable »), dans le but de sélectionner les paramètres les plus discriminants ou les marqueurs de la tolérance et montré la variabilité de la réponse au sel des différentes variétés de carotte étudiées.

En accord avec ce qui est trouvé à travers de cette étude, on peut tirer la conclusion que parmi tous les paramètres morphologiques analysés, le poids frais total des plants est le paramètre le plus discriminant et admis comme marqueurs morphologiques de tolérance à la salinité chez les différentes variétés de carotte.

Ces résultats nous ont permis de classer les variétés étudiées en 4 groupes significativement différents, en comparant leur poids frais total des plants. Le premier groupe est formé de deux variétés « Muscad d'Alger, Super Muscad » qui sont les variétés les plus résistantes au sel. Le deuxième groupe regroupe une variété qui est moyennement tolérante (Nantaise). Le troisième groupe contient une seule variété qui est sensible (Breclium). Enfin, le quatrième groupe contient deux variétés « Nantaise amélioré et Touchon » qui est la plus sensible au stress salin.

Dans la deuxième partie, nous avons étudié 39 caractères qualitatifs et quantitatifs. Les résultats préliminaires sur la diversité et la structuration morphologique des différentes variétés de carotte cultivée en Algérie montrent clairement que les variétés analysées présentent une variation pour l'ensemble des caractères utilisés, en particulier ceux liés aux racines (racine commercialisable) et feuilles. Cette variabilité a été structurée en trois groupes par la classification ascendante hiérarchique. Chaque groupe constitue une source potentielle de caractères intéressants pour l'amélioration de la carotte. Il est important d'associer aux caractères morphologiques des techniques moléculaires telles que les microsatellites qui permettront de mieux caractériser les variétés à l'intérieur de deuxième groupe.

REFERENCES BIBLIOGRPHIQUE

-A-

Abdelly, C. (2006) Caractérisation des halophytes pour le dessalement des sols salins et le traitement des eaux salines. Rapport d'activités 2007. Centre de biotechnologie à la technopole de Borj-Cedria, Tunisie, pp. 28- 31.

Akanvou L., Akanvou R., Kouakou C.K., N'DA H.A., Koffi K.G.C. Évaluation de la diversité agro morphologique des accessions de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.), *Journal of Applied Biosciences* 50 3468-3477, 2012.

Alem C., Amri A, (2005). Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Review in Biology and Biotechnology*, Vol. 4(1) :20-31.

Ali A., Ali N., Ali I., Adnan M., Ullah N., Swati Z.A. Morphological And Genetic Diversity Of Pakistani Wheat Germplasm Under Drought Stress, *International Journal of Advancements in Research & Technology*, 2, 186- 193, 2013.

Amtmann A., Leigh, R. 2010. Ion homeostasis. Chap.12. Dans *Abiotic stress adaptation in plants: Physiological, molecular and genomic foundation*. Sous la direction de A. Pareek, S.K. Sopory, H.J. Bohnert et Govindjee. p. 245–262.

Amtmann, A., Leigh R., 2010: Ion homeostasis. Chap. 12. *Abiotic stress adaptation in plants: Physiological, molecular and genomic foundation*. Sous la direction d'A. Pareek, S.K. Sopory, H.J. Bohnert et Govindjee. p. 245–262.

Apse, M.P., G.S. Aharon, W.S. Snedden, E. Blumwald. 1999. Salt tolerance conferred by overexpression of a vacuolar Na⁺/H⁺ antiport in *Arabidopsis*. *Science* 285:1256–1258.

Arbaoui, M., Benkhelifa, M., Belkhodja, M. (1999b) La réponse métabolique de la tomate industrielle (*Lycopersicum Esculentum* Mill.) au choc salin, cultivée dans un sol sableux mélangé à la bentonite. Université de Sénia, Oran, Algérie. Séminaire 02, Ouargla 08-10 Novembre 1999 Agronomie et Hydraulique en zone Aride et Semi-Aride.

Archi A., Abdin M.Z., iqbal M.2006. Sennoside content and yield attributes of *Cassia angustifolia*Vahl. As affected by NaCl and CaCl₂. *Sci.Horti.* 111: 84-90.

Arumuganathan K, Earle E. (1991): Nuclear DNA content of some important plant species. *Plant Molecular Biology Reporter* 9: 208-218 pp.

Aubert G., 1982- les sols sodiques en Afrique du nord .Cahier O.R.S.T.O.M .Service Pédologie.194P

-B-

Balibrea ME, Dell' Amico J, Bolarín MC, Perez-Alfocea F (2000) Carbon partitioning and sucrose metabolism in tomato plants growing under salinity. *Physiol. Plant.* 110:503-511.

Banga O (1963) Origin and distribution of the western cultivated carrot. *Genet Agrar* 17:357–370

Ben Naceur M., Rahmoun C., Sdiri H., Meddahi ML. Et Selmi M., *Sécheresse*, 12, (2001), 167-174

Botineau M. (2010) : Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs, Tec & Doc, Paris, 13-35 pp

Brugnoli E, Björkman O., (1992). Growth of cotton under continuous salinity stress: influence on allocation pattern, stomatal and non-stomatal components and dissipation of excess light energy. *Planta*, 187 : 335-347

Brun A., 1981. Mise au point bibliographique concernant l'étude des effets de la salinité sur les végétaux. *Ann Fac Sci Yaoundé* ; 28 : 59-84.

-C-

Cecile. P, (2011) : Repères technico-économiques : Cultiver la carotte de plein champ en agriculture biologique, Cette fiche a été élaborée dans le cadre du projet CAS DAR n°9016 « Accompagnement du développement et de la structuration de la filière légumes de plein champ en zones céréalières biologiques ».

Chakravorty A., Ghosh P.D., Sahu P.K. Multivariate Analysis of Phenotypic Diversity of Landraces of Rice of West Bengal, *American Journal of Experimental Agriculture*, 3, 1, 110-123, 2013.

Chaux C, Foury C. (1994). Productions légumières - Tome 2 : Légumes feuilles, tiges, fleurs, racines, bulbes. Éditions Tec & Doc, Paris, 639 p.

Cheeseman, J.M. (1988). Mechanisms of salinity tolerance in plants. *Plant Physiol.*, 87 : 547-550.

Chinnusamy V., Schumaker K., Zhu J. K. (2004). Molecular genetic perspectives on cross-talk and specificity in abiotic stress signalling in plants. *J. Exp. Bot.* 55 225–23610.1093/jxb/erh005

Clotault J. (2009). Impact de la sélection sur l'expression et la variabilité de séquences de gènes de la voie de biosynthèse des caroténoïdes chez la carotte cultivée. Thèse de doctorat. Université d'Angers, Angers, 183 p.

Collin. F, Brun. L., Serpeille A, Laurent E, Broucqsault LM, Jonis. M., Delmont F., Konaté K., (2005) : Produire des semences de Carotte dans un itinéraire Agrobiologique, FNAMS 74, rue J. J. Rousseau 75001 Paris.

Cultivé en milieu hydroponique enrichi en zinc. *Revue Sciences et Technologie* 21 : 39-43.

-D-

D.S.A, 2018. Directions des services agricoles

Doré C, Varoquaux F. (2006) : Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Éditions Quae, 185 pp

Downham A, Collins P. (2000). Colouring our foods in the last and next millennium. *International Journal of Food Science & Technology* 35: 5–22. D

-E-

El Hendawy, S. E. S., 2004: Salinity tolerance in Egyptian Spring Wheat: thèse de Doctorat d'Etat. Université München, Allemagne, pp.1-13

El Mekkaoui M., 1987. Contribution à l'étude de la tolérance à la salinité chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) et l'orge (*Hordeum vulgare* L.). Diplôme de DEA, Montpellier, p

Empereire L., Gilda S.M., Fleury M., Robert T., Mckey D., Pujol B. Approche comparative de la diversité génétique et de la diversité morphologique des maniocs en Amazonie (Brésil et Guyanes), Actes du BRG 4, 247-267, 2003.

Epstein E. 1998. How calcium enhances plant salt tolerance. *Science*. 280:1906–1907.
Doi: 10.1126/science.280.5371.1906

-F-

F.A.O., 2005. Global network on intergratedsoilmanagment for sustainable use of saltaffectedsoils.Rome, italy: FAO Land and plant nutrition management service.

Ferreira do Nascimento W., Ferreira da Silva E., Veasey E.A. Agromorphological characterization of upland rice accessions, *Sciencia Agricola*, 68, 6, 652-660, 2011.

Foury C., et Pitrat M., 1994: Histoires de légumes: des origines à l'orée du XXIe siècle, Ed : INRA, Paris 127 pp. **FAO, 2013 :** Food and Agriculture Organisation (FAO) Institution spécialisée des Nations Unies.

-G-

Gonny M., Bradesi P, Casanova J. (2004). Identification of the components of the essential oil from wild Corsican *Daucus carota* L. using ¹³C-NMR spectroscopy. *Flavour and Fragrance Journal* 19: 424–433.

Grieve C.M., Poss J.A., Grattan S.R., Suarez D.L., Benes S.E., Robinson P.H., 2004.Evaluation of salt-tolerant forages for sequential water reuses systems II. Plant-ion relations. *Agri. Water Manag.* 70: 121 – 135.

-H-

Hadjkouider B., Boutekrabt A., Lallouche B., Lamine S., Zoghlami N., Polymorphism analysis in some Algerian *Opuntia* species using morphological and phenological UOPV descriptors 95 (3): 391-400, 2017

Hamrouni L, Hanana M, Abdelly 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. „Séjnène). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 15(3) : 387-400

Hamza M. ,1979. Réponse des plantes aux végétaux, physiologie végétale. Vol 18. Ed Gauthier. Villars

Hamza M., 1982.- Adaptations physiologiques à la salinité des plantes cultivées. *Bull. Soc. Ecophysiol.*, 7 (2), 169-184.

Hamza N., 2011. Etude de la salinité des sols par la méthode de détection électromagnétique dans le périmètre irrigué de kalàcat Landelous en tunisie : cas d'une parcelle de courge, Faculté des lettres, des arts et des humanités Manouba- Master de recherche environnement, aménagement et risque. 74-80 PP.

Haouala F et al ., 2007 : Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca²⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. Vol. 11, n°3, pp. 235-244.

Hare PD, Cress WA, van Staden J. 1998. Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. Plant, Cell and Environment 21, 535–553.

Hartani.T, Douaoui.A, Kuper M, (éditeurs scientifiques). Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb. Actes du quatrième atelier régional du projet Sirma, Mostaganem, Algérie, 26-28 mai 2008. Cirad, Montpellier, France, colloques-cédérom

Hellali R. 2002: rôle du potassium dans la physiologie de la plante atelier sur la gestion de la fertilisation potassique, Acquis et perspectives de la recherche institut national agronomique de Tunisie 6p.

Hulle M. (1999). Les Pucerons des plantes maraîchères : cycles biologiques et activités de vol. Editions Quae, 140 p.

-I-

Iorizzo M., Senalik D. A., Grzebelus D., Bowman M., Cavagnaro P. F., Matvienko M., Ashrafi H., Van Deynze A. et Simon P. W. (2011): De novo assembly and characterization of the carrot transcriptome reveals novel genes, new markers, and genetic diversity. BMC Genomics 12: 389 pp.

-J-

Jabnour M., 2008 : adaptation des plantes au stress Salin : caractérisation du transporteur de sodium et potassium de la famille HKT chez le riz .Thèse doctorat, univ Montpellier II.

Jabnour, M. (2008). Adaptation des plantes au stress salin : caractérisation de transporteurs de sodium et potassium de la famille HKT chez le riz. Thèse doctorat. Université de Montpellier II, France. 127.

Jaouadi W., Hamrouni L., Souayah N. et Khouja M.L., 2010. Étude de la germination des graines d'Acacia tortilis sous différentes contraintes abiotiques. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 14(4): 643-652

Jaradat, A.A., Shahid M., Al Maskri A.Y. Genetic Diversity in the Batini Barley Landrace from Oman: I. Spike and Seed Quantitative and Qualitative Traits. *Crop Science*, 44, 304-315, 2004.

-K-

Koffi K.G.C., Akanvou L., Akanvou R., Zoro B.I.A., Kouakou C.K., N'da H.A. Diversité Morphologique Du Sorgho (*Sorghum Bicolor* L. Moench) cultivé au Nord de la Côte d'Ivoire, *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 17, 125-142, 2011.

Kozlowski TT. 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree physiology monograph no. 1.* Victoria, Canada: Heron Publishing. pp. 1–29

-L-

Lallouche .B, Boutekrabt .A, Hadjkouider .B ; Riahi L. Lamine. S, Zoghلامي N. 2017. Use of physio-biochemical traits to evaluate the salt tolerance of five opuntia species in the Algerian steppes. *Pak. J. Bot.*, 49(3): 837-845, 2017.

Le Clerc V. (2001) : Etude de la diversité génétique chez la carotte (*Daucus carota* L.): mise au point de stratégies d'analyse et de régénération des ressources génétiques. Thèse de doctorat. Université d'Angers, Angers, 125 pp.

Le Page R, Meudec G. (2002) : L'abc du potager. Editions : Rustica, Paris, 49- 51 pp

Levigneron A, Lopez F, Varisuyt G, BERTHOMIEN P et CASSE-DELBAR T., 1995. Les plantes face au stress salin. *Cahier d'agriculture.* (4): 263-273.

Levit, 1972, reponses of plants to environmental stresses, Academicpress New York.

Levitt J., (1980) Responses of plants to environmental stresses. *Physiological ecology series.* Academic, Michigan.

-M-

Maathuis, F.J.M., et Amtmann, A. 1999. K⁺ nutrition and Na⁺ toxicity: the basis of cellular K⁺/Na⁺ ratios. *Ann. Bot. (Lond.)*, 84(2) : 123–133. doi:10.1006/anbo.1999.0912.

Mackevic VI (1929) The carrot of Afghanistan. *Bull Appl Bot Genet Plant Breed* 20:517–557

Maillard, J. (2001). Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone aride : Risques et Recommandations. *Handicap International*. Novembre 2001. 35.

Mermoud A., 2006- cours de physique du sol : maitrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de lausanne, 23 p.

Monneveux Ph, This D. La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse : Espoirs et difficultés., *sécheresse*, 1997, 8 (1), 29-37.

Morgan J.M. (1984) Osmoregulation and water stress in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology* 35, 299– 319.

Munns, R., Tester, M. 2008: Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59(1): 651_681

Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25(2) : 239–250.

-N-

Ndour P, Danthu P., 2000. Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de quelques acacias africains. *Projet National de Semences Forestières du Sénégal*. 11 p

-P-

Papadopoulos, I., Rendig, V. V., Broadbent, F. E. 1985. Growth, nutrition, and water uptake of tomato plants with divided roots growing in differentially salinized soil. *Agron. J.* 77 : 21-26.

Parida A.K., Das A.B., 2005:Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*.Vol.60, pp. 324-349.

Peron J.-Y. (2006). Références Productions légumières : 2ème édition. *Synthèse Agricole*, 696 p.

Phan C. T., Hsu H. (1973). Physical and chemical changes occurring in the carrot root during growth. *Canadian Journal of Plant Science* 53 : 629-634.

Prasad KVSK., Sharmila P., Kumar PA., Saradhi PP., 2000. Transformation of *Brassica juncea* (L.) Czern with bacterial cod A gene enhances its tolerance to salt stress. *Molecular Breed*, 6, 489-499.

-Q-

Quarrie, S.A. 1980. Genotypic differences in leaf water potential, abscisic acid and proline concentration in spring wheat during drought stress. *Ann. Bot.* 46: 383 – 394

-R-

Rachidai A., Driouich A., Ouassou A. et El Hadrami I., *Rev. Amélior. Prod. Agr. Milieu Aride*, 6, (1994), 209-228.

Radhouane L., 2008. Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains chez quelques écotypes de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) Autochtones de Tunisie. *C.R. Biologies*, 4(331): 278-28.

Rahmoune, C., Seridi, R., Ben Nacer, Paul, R. (2004). Etude de la cinétique de désorption du cadmium à partir de racines intactes de pois (*Pisum sativum* L.)

Rasanen, L. (2002)- Biotic and abiotic factors influencing the development of N₂-fixing symbioses between rhizobia and the woody legumes *Acacia* and *Prosopis* thèse de doctorat de l'université de Helsinki. Finlande

Reda tazi M, Berrichi A, Haloui B., 2001. Germination et croissance in vitro de l'arganier (*Argania spinosa* L. Skeels) des Beni-Snasse (Maroc oriental) à différentes concentrations en NaCl. *Actes, int Agron.Vet (Maroc)*, 3(21) :163-168

Reddy A.R., Chaitanya K.V., Vivekanandan M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J. Plant Physiol.*, 161: 1189-1202.

Reduron J.-P. (2007) : Ombellifères de France - tome 2 (*Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*, 27). Société Botanique du Centre-Ouest, 564 pp.

Reduron J.-P. (2007). Ombellifères de France - tome 2 (*Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest*, 27). Société Botanique du Centre-Ouest, 564 p.

Rubatzky V. E., Quiros C. F, Simon P. W. 1999: Carrots and related vegetable Umbelliferae. CABI, Wallingford, 310 pp.cbb

-S-

Sairam, R.K., Tyagi, A., 2004:Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Curr. Sci.* 86: 407–421

Sentenac H et Berthomieu P., 2003 : Découverte d'un nouveau mécanisme de tolérance des plantes au sel. UMR Biochimie et physiologie moléculaire des plantes (Unité mixte Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier, Service Presse INRA, 34 p.

Shabala L, Cuin TA, Newman I, Shabala S (2005) Salinity-induced ion flux patterns from the excised roots of *Arabidopsis sos* mutants. *Planta* 222 1041–1050

Shabala S., Cuin T. (2008): Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiologia Plantarum*, 133: 651–669.

Shabala, S., Cuin, T.A., 2008: Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiol.Plant.* 133(4): 651–669

Shen, C. P., Jan, L. Y., and Jan, Y. N. (1997). Miranda is required for the asymmetric localization of Prospero during mitosis in *Drosophila*. *Cell* 90, 449–458. doi: 10.1016/s0092-8674(00)80505-x

Simon P. W., Freeman R. E., Vieira J. V., Boiteux L. S., Briard M., Nothnagel T., Michalik B., Kwon Y.-S. (2008) : Carrot. In: PROHENS J. ET NUEZ F. (eds). *Vegetables II -Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae.* Springer, New York, 327-357 pp

Skiredj, A. (2005). Besoins des plantes en eau et en Aliments nutritifs. Département d'horticulture. IAV Hassan II. Rabat. Maroc. PP 1-12.

Snoussi, S. A. Abdul Hussain, K.H, Abdul Hussain, M. S. (2005). Dynamics of absorption of some biogenics salts at tomato and bean plant cultivated in saline medium. Original paper. *Journal of Central European Agriculture* 6 (2): 151-156.

Song, Z., Li, B., Chen, J., Lu, B. (2005). Genetic diversity and conservation of common wild rice (*Oryza rufipogon*) in China. *Plant Species Biol.* 20, 83–92. doi: 10.1111/j.1442-1984.2005.00128.x

Staniszewska M., Kula J., Wieczorkiewicz M. Kusewicz D. (2005). Essential Oils of Wild and Cultivated Carrots—the Chemical Composition and Antimicrobial Activity. *Journal of Essential Oil Research* 17: 579-583.

Sudhakar C, Lakshmi A, Giridarakumar S (2001) Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Sci.* 161:613-619.

-T-

Tester, M; Davenport, R.J. (2003). Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Ann. Bot. (Lond.)*. 5: 503-527.

Thellung M. A. (1927). L'origine de la Carotte et du Radis cultivés. In : *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*, 7^eannée, bulletin n°74, octobre 1927. 666-671, pp

Tirilly Y., Bourgeois C.M. (1999) : Technologie des légumes. Éditions Tec & Doc, 558 pp.

Truffaut G., (1978) : Comment en soin son jardine éd : BORDAS, Paris, 112 pp.

Tyerman S.D. and Skerrett IM., 1999: Root ion channels and salinity. *Sci. Hort.* pp 175- 235.

-U-

UPOV 2015. Union internationale pour la protection des obtentions végétales. Carotte (*Daucus carota* L.)

-V-

Villeneuve F., Leteinturier J (1992a) : La Carotte : état des connaissances. Tome 2. CTIFL / SILEBAN, 227 pp. In : Frédéric Suffert, 2006 : Epidémiologie du cavity spot de la carotte perspectives d'application en protection intégrée. Thèse pour l'obtention du grade de Docteur de l'Agrocampus Rennes, France. 23 pp.

Villeneuve F., Leteinturier J (1992b) : La Carotte : guide pratique. Tome 1. CTIFL / SILEBAN, 229 pp. In : Frédéric Suffert, 2006 : Epidémiologie du cavity spot de la carotte perspectives d'application en protection intégrée. Thèse pour l'obtention du grade de Docteur de l'Agrocampus Rennes, France. 23 pp

Vivek B.S., Simon P. W. (1999): Linkage relationships among molecular markers and storage root traits of carrot (*Daucus carota* L. ssp. sativus). *Theoretical and Applied Genetics* 99: 58-64 pp.

-W-

Welch J. E, Grimball E. L. (1947) Male sterility in carrot. *Science* 106: 594

-Y-

Yeo A., 1998: Molecular biology of salt tolerance in the context of wholeplantphysiology. *Journal of Experimental Botany*.pp915-929.

-Z-

Zhu B., Su J., Chang MC., Verma DPS., Fan YL., Wu R., 1998. Over expression of a pyrroline5-carboxylate synthetase gene and analysis of tolerance to water and salt stress in transgenic rice. *Plant Sci*, 139, 41-48.

Zhu J.K., 2001: Plant salt tolerance. *Trends in Plant Sci*.pp66-71.

Zhu, J-K (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants. *An. Rev. Of Plant Biol.* 53: 247-73.

ANNEXE

Tableau 1 : Analyse de variance poids de racine

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	3479,054	119	29,236				
VAR.FACTEUR 1	788,974	5	157,795	567,467	0		
VAR.FACTEUR 2	1555,586	3	518,529	1864,752	0		
VAR.INTER F1*2	1107,8	15	73,853	265,594	0		
VAR.RESIDUELLE 1	26,695	96	0,278			0,527	3,68%

Tableau 2 : Analyse de variance poids de feuilles

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1767,854	119	14,856				
VAR.FACTEUR 1	288,413	5	57,683	585,138	0		
VAR.FACTEUR 2	836,963	3	278,988	2830,079	0		
VAR.INTER F1*2	633,015	15	42,201	428,092	0		
VAR.RESIDUELLE 1	9,464	96	0,099			0,314	2,89%

Tableau 3 : Analyse de variance poids totale

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	9463,466	119	79,525				
VAR.FACTEUR 1	1704,685	5	340,937	1437,507	0		
VAR.FACTEUR 2	4636,195	3	1545,398	6515,928	0		
VAR.INTER F1*2	3099,817	15	206,655	871,326	0		
VAR.RESIDUELLE 1	22,769	96	0,237			0,487	1,93%

Tableau 4 : Analyse de variance de longueur racine

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1848,729	119	15,536				
VAR.FACTEUR 1	796,485	5	159,297	149,341	0		
VAR.FACTEUR 2	373,117	3	124,372	116,599	0		
VAR.INTER F1*2	576,728	15	38,449	36,045	0		
VAR.RESIDUELLE 1	102,4	96	1,067			1,033	10,41%

Tableau 5 : Analyse de variance de longueur de feuilles

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1734,332	119	14,574				
VAR.FACTEUR 1	128,036	5	25,607	29,744	0		
VAR.FACTEUR 2	923,25	3	307,75	357,468	0		
VAR.INTER F1*2	600,398	15	40,027	46,493	0		
VAR.RESIDUELLE 1	82,648	96	0,861			0,928	7,15%

Tableau 6 : Analyse de variance de longueur totale

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	5784,947	119	48,613				
VAR.FACTEUR 1	1236,989	5	247,398	260,088	0		
VAR.FACTEUR 2	2462,143	3	820,714	862,813	0		
VAR.INTER F1*2	1994,5	15	132,967	139,787	0		
VAR.RESIDUELLE 1	91,316	96	0,951			0,975	4,26%