

Etude de la tolérance à la salinité chez une plante condimentaire : le carvi (*Carumcarvi* L.)



IABC
International
TUNISIA
2015

B. LARIBI^{1,2*}, A. GHARBI¹, K. KOUKI¹, M. M'HAMDI^{1,2} et T. BETTAIEB¹

¹ Institut National Agronomique de Tunisie. 43, Av. Charles Nicolle, 1082 Tunis, Tunisie.

² Institut Supérieur Agronomique de Chott-Mariem, BP 47, 4042 ChottMeriem, Sousse, Tunisie.

* Auteur correspondant: bochra_laribi@yahoo.fr

Abstract—The present work aims to study salt stress effects on different agronomic, physiological and water status parameters in three caraway (*Carumcarvi* L.) ecotypes collected in the main Tunisian production region of El Mida, MenzelTemime and Souassi. Thus, these ecotypes were grown in pots under glasshouse at the National Agronomic Institute of Tunisia. A completely randomized experimental design was conducted as a factorial block with four replications. Increasing NaCl concentrations (0, 50, 100 and 150 mM) were added to the nutrient solution. The main results showed that vegetative growth measured mainly through height, number of leaves and leaf area, decreased significantly at 100 mMNaCl for the three ecotypes, and was more marked in the MenzelTemime ecotype concerning leaf area. As for the salt constraint impact on the plant photosynthetic activity, the results showed that the chlorophyll fluorescence and the chlorophyll and carotenoids contents were significantly affected when plants were subjected to 150 mMNaCl in the El Mida and Souassi ecotypes. Finally, the plant water status evaluated through the determination of the relative water content, osmotic potential and membrane permeability of leaves, showed a significant variation in the three ecotypes and especially that of Souassi under salt stress (50 mMNaCl). Overall, these results indicate that caraway could tolerate until 50 mMNaCl (3 g/l) but if this concentration has been exceeded, it becomes sensitive to salt stress.

Keywords: *Carumcarvi* L., salt stress, growth, chlorophyll, relative water content

Résumé—Le présent travail a pour objet d'étudier les effets de la contrainte saline sur différents types de paramètres agronomiques, physiologiques et hydriques chez trois écotypes locaux de carvi (*Carum carvi* L.) collectés des principales régions de production de Tunisie, à savoir El Mida, Menzel Témime et Souassi. Les 3 écotypes ont été cultivés en pots dans la serre vitrée de l'INAT selon un dispositif expérimental factoriel en bloc complètement aléatoire à 4 répétitions. Des concentrations croissantes de NaCl ont été ajoutées à la solution nutritive (0, 50, 100 et 150 mM). Les principaux résultats ont montré que la croissance végétative déterminée principalement à travers des mesures de la hauteur, du nombre de feuilles et de la surface foliaire a diminué significativement à partir de 100 mMNaCl chez les trois écotypes mais cette diminution a été plus marquée chez l'écotype Menzel Témime concernant la surface foliaire. Quant à l'activité photosynthétique de la plante évaluée à travers la fluorescence chlorophyllienne ainsi que les teneurs en pigments chlorophylliens et en caroténoïdes, elle a diminué de manière significative chez les plantes soumises à 150 mMNaCl chez les écotypes El Mida et Souassi. Enfin, les résultats relatifs à l'état hydrique de la plante évalué à travers la détermination de la teneur relative en eau, du potentiel osmotique et de la perméabilité membranaire des feuilles, ont montré une variation significative de l'ensemble de ces paramètres chez les trois écotypes et en particulier chez celui de Souassi à partir d'une concentration de 50 mMNaCl. L'analyse de toutes ces données prouvent que le carvi est une espèce pouvant tolérer jusqu'à 50 mMNaCl (c'est-à-dire 3g/l) mais qui devient sensible au stress salin une fois que cette concentration est dépassée. L'analyse de toutes ces données prouvent que le carvi est une espèce qui peut tolérer jusqu'à 50 mMNaCl (3g/l) mais qui devient sensible au stress salin si cette concentration a été dépassée.

Mots clés: *Carumcarvi* L. ; stress salin ; croissance ; chlorophylle, teneur relative en eau



1. Introduction

La salinité des sols et des eaux d'irrigation est l'un des principaux facteurs limitant la production agricole dans plusieurs pays méditerranéens où les sols fertiles et les eaux de bonne qualité sont devenus nettement insuffisants pour une population sans cesse croissante (Flowers2004). La Tunisie, dont une grande partie des régions agricoles se caractérise par un climat semi-aride, est touchée par la salinité. Par conséquent, la croissance et le rendement de nombreuses espèces végétales sont affectés par cette contrainte abiotique. En effet, les dégâts causés par le stress salin se manifestent communément par des modifications sur le plan morphologique et physiologique de la plante (Levigneron et al. 1995). Toutefois, les recherches menées en Tunisie se sont surtout intéressées à l'étude de l'impact de la salinité sur la composition en huiles essentielles et en acides gras chez de nombreuses plantes aromatiques et médicinales telles que la coriandre (*Coriandrum sativum* L.) (Neffati et Marzouk 2008 et 2009 ; Neffati et al. 2011), la nigelle (*Nigella arvensis* L.) (Bourgou et al. 2010), la sauge (*Salvia officinalis* L.) (Ben Taarit et al. 2009 et 2010) etc. Quant au carvi (*Carum carvi* L.), qui est l'espèce condimentaire de la famille des Apiacées la plus cultivée après la coriandre en Tunisie, il s'est montré sensible au déficit hydrique (Laribi et al. 2009 et 2010). Cependant, aucun travail de recherche n'a été entrepris pour étudier le comportement du carvi vis-à-vis de la salinité. L'objectif du présent travail est d'étudier l'effet de la contrainte saline sur différents types de paramètres agronomiques, physiologiques et hydriques chez cette espèce condimentaire.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal consiste en trois écotypes locaux de carvi (*Carum Carvi* L.) dont les graines ont été collectées des trois principales régions de production de carvi en Tunisie et qui sont Menzel Témime (36°46'N ; 10°59'E ; 17m) et El Mida (36°43'N ; 10°51'E ; 50m) du gouvernorat de Nabeul et Souassi (35°35'N ; 10°55'E ; 41m) du gouvernorat de Mahdia.

2.2. Installation et conduite de l'essai expérimental

Les 3 écotypes locaux de carvi ont été cultivés en pots placés dans la serre vitrée du Laboratoire des Sciences Horticoles de l'Institut National Agronomique de Tunisie (INAT). L'essai expérimental a été conduit selon un dispositif expérimental factoriel en bloc complètement aléatoire à 4 répétitions. Des concentrations croissantes de NaCl (0, 50, 100 et 150 mM) ont été ajoutées à la solution nutritive de Coïc-Lesaint (1973) au stade 6 vraies feuilles.

2.3. Croissance végétative

Le suivi de la croissance végétative a été réalisé sur 6 plantes pour chaque écotyle soumis à un même traitement salin et pour chaque bloc. Sur ces plantes, nous avons déterminé la hauteur des plantes (cm), le nombre de feuilles développées par plante et la surface foliaire (cm²/cm).

2.4. Fluorescence chlorophyllienne

La fluorescence chlorophyllienne a été mesurée sur des feuilles saines des plantes à l'aide d'un fluorimètre portatif (IMF 1500, Analytical Development Company Limited, Adc) (Fluorescence Induction Monitor). Les paramètres mesurés correspondent à la fluorescence initiale (F₀), à la fluorescence maximale (F_m) et au rendement quantique (F_v/F_m, où F_v est la fluorescence variable) (Baker et Rosenqvist 2004).

2.5. Extraction et dosage des pigments chlorophylliens et caroténoïdes

L'extraction à l'acétone 80% des pigments chlorophylliens et des caroténoïdes des feuilles (mg/g MF) a été réalisée selon la méthode de Torrecillas et al. (1984). Les teneurs en chlorophylles a, b et totale et en caroténoïdes a été déterminés selon les équations établies par Mc Kinney (1941) et Arnon (1949).

2.6. Teneur relative en eau

La teneur relative en eau (%) de la feuille est calculée selon la formule de Schonfeld et al. (1988) après détermination de son poids frais (PF), son poids de turgescence (Pt) après 4 h d'immersion dans de l'eau distillée à l'obscurité et son poids sec (Ps) après 48 h de séchage à l'étuve à 50°C. La teneur relative en eau (TRE) est calculée comme suit :

$$TRE(\%) = \left(\frac{Pf - Ps}{Pt - Ps} \right) \times 100$$

2.7. Potentiel osmotique

Le potentiel osmotique est mesuré sur du jus tissulaire extrait des feuilles fraîches au moyen d'un osmomètre à point de congélation (Fiske One Ten, Fiske. Associates). L'expression du potentiel osmotique en terme de pression est obtenue en appliquant l'équation de Van'tHoff (Salisbury et Ross 1992).

2.8. Perméabilité membranaire

La perméabilité membranaire (%) est déterminée en effectuant des mesures de la conductivité électrique initiale (*Lt*) d'une solution contenant 10 folioles fraîches immergées dans de l'eau distillée (après 24 h d'incubation à 25°C) et de la conductivité électrique finale (*L0*) de cette solution après autoclavage (à 120°C pendant 20 minutes) au moyen d'un conductimètre (Consort C 830) selon la méthode de Lutts et al. (1996). La perméabilité membranaire (*Pm*) est calculée en appliquant la formule suivante :

$$Pm(\%) = \left(\frac{Lt}{L0} \right) \times 100$$

2.9. Analyse statistique

L'analyse statistique de l'ensemble des données a été réalisée selon la procédure Proc GLM au moyen du logiciel S.A.S, version 8.0 (SAS Institute 1999). Les moyennes ajustées (les moyennes des moindres carrés) des interactions de type écotype*traitement salin ont été ensuite comparées entre elles par le test de comparaison multiple de l'option LSMEAN au seuil de probabilité de 5%.

3. Résultats et discussion

3.1. Effet du stress salin sur la croissance végétative de la plante

La variation de la hauteur, du nombre de feuilles et de la surface foliaire chez les trois écotypes locaux de carvi en fonction des traitements salins appliqués est présentée dans le tableau 1.

Tableau 1. Variation de la hauteur (cm), du nombre de feuilles et de la surface foliaire (cm²) chez trois écotypes locaux de carvi (*Carum carvi* L.) en fonction de la concentration en NaCl (0, 50, 100 et 150 mM).

Paramètre mesuré	Ecotype	Concentration NaCl (mM)			
		0 (Témoin)	50	100	150
Hauteur (cm)	El Mida	72,70 ± 4,21a	61,52 ± 4,97b (- 15,38)	40,73 ± 6,92c (- 33,80)	38,52 ± 5,76c (- 5,42)
	Souassi	79,92 ± 8,98a	61,67 ± 6,80b (- 22,84)	51,08 ± 5,67c (- 17,16)	39,42 ± 4,72d (- 22,84)
	M. Témime	83,38 ± 7,74a	58,56 ± 6,84b (- 29,76)	44,21 ± 7,02c (- 24,51)	37,90 ± 5,69d (- 14,28)
Nombre de feuilles	El Mida	19,71 ± 2,56b	16,33 ± 2,65c (- 17,12)	15,38 ± 2,10c (- 21,99)	14,75 ± 2,52c (- 25,16)
	Souassi	21,96 ± 2,90a	15,17 ± 2,57c (- 30,93)	13,92 ± 2,43cd (- 36,62)	12,79 ± 2,11d (- 41,75)
	M. Témime	20,04 ± 3,76b	18,67 ± 2,48b (- 6,86)	13,08 ± 2,21d (- 31,81)	13,96 ± 2,12cd (- 32,85)
Surface foliaire (cm)	El Mida	80,50 ± 11,43a	75,89 ± 23,05a (- 5,72)	50,91 ± 8,57c (- 36,75)	48,39 ± 14,65cde (- 39,89)
	Souassi	71,09 ± 14,65ab	64,67 ± 6,82b (- 9,03)	63,84 ± 10,12b (- 10,19)	38,39 ± 4,76de (- 45,99)
	M. Témime	75,63 ± 9,68a	50,11 ± 9,32c (- 33,74)	47,83 ± 13,81cde (- 36,75)	37,93 ± 5,20e (- 49,84)

*Les valeurs d'une même ligne pour le même paramètre mesuré et qui suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test LSMEAN.

**Les chiffres entre parenthèses représentent les taux de réduction ou d'augmentation par rapport au témoin.

Le stress salin entraîne une réduction significative de la hauteur des plantes chez les trois écotypes soumis aux traitements salins (Tableau 1). Cette réduction est d'autant plus importante que la contrainte saline est plus sévère. En effet, la hauteur des plantes a été réduite de 47% par rapport au témoin chez les deux écotypes El Mida et Menzel Témime et de plus que 50% chez l'écotype

Souassisous stress salin sévère (150 mMNaCl). Ces résultats sont comparables à ceux rapportés par Abou El Maged et al. (2008) qui ont noté que chez le fenouil (*Foeniculum vulgare* Mill.), la hauteur des plantes a diminué sous l'effet du stress salin. Dans le même contexte, Laribi et al. (2009 et 2011) ont montré que la hauteur des plantes de carvi (*Carum carvi* L.) a été réduite de manière significative sous un autre type de stress abiotique qui est le déficit hydrique. Par ailleurs, le stress salin a diminué significativement le nombre de feuilles par plante chez les trois écotypes (Tableau 1). La réduction du nombre de feuilles par plante a été légèrement plus accentuée et significative avec la sévérité de la contrainte saline surtout chez l'écotype Souassidont le nombre de feuilles a accusé une réduction de 42% par rapport au témoin sous stress salin sévère (150 mMNaCl). Ces résultats sont en accord avec ceux d'Abou El Maged et al. (2008) et Zaki et al. (2009) qui ont noté une réduction du nombre de feuilles développées par plante chez des variétés de fenouil et que cette réduction est devenue plus importante avec la sévérité du traitement. Par ailleurs, il a été démontré que le stress salin est un facteur limitant de la croissance végétale en entraînant une diminution du nombre de feuilles chez les plantes d'une manière générale (Huang et Van Stevenink 1990). En outre, le stress salin a réduit significativement la surface foliaire chez les trois écotypes (Tableau 1). Toutefois, l'écotype Menzel Témime est le plus touché par le stress salin. En effet, la réduction de la surface foliaire de ce dernier a été d'autant plus prononcée et significative que la contrainte saline est plus sévère puisqu'elle a diminué de presque 50% par rapport au témoin avec le traitement salin sévèrement stressant (150 mMNaCl). D'une manière générale, le stress salin se traduit par une réduction de la surface foliaire chez les plantes (Huang et Van Stevenink 1990). Cette diminution de la surface foliaire se présente comme étant la principale stratégie développée par le blé dur et le blé tendre pour atténuer les effets de la limitation de la disponibilité de l'eau en conditions de stress salin (Chakib et al. 2002).

3.2. Effet du stress salin sur la fluorescence chlorophyllienne

Tous les paramètres relatifs à la fluorescence chlorophyllienne ont été très sensibles au stress salin chez les trois écotypes locaux (Figure 1). La fluorescence initiale (F_0) des feuilles a augmenté légèrement chez tous les écotypes. Les valeurs de F_0 ont été similaires avec les 4 concentrations de NaCl (0, 50, 100 et 150 mM) et par conséquent, aucune différence significative n'avait été observée (Fig. 1A). La diminution de la fluorescence chlorophyllienne maximale (F_m), qui peut être liée à la dénaturation des centres des complexes chlorophylle-protéine (Bjorkman et Demming 1987), a été remarquable chez les deux écotypes El Mida et Souassi sous stress salin sévère (150 mMNaCl). Par contre, aucune différence significative n'avait été observée chez l'écotype Menzel Temime (Fig. 1B). Quant à la fluorescence variable (F_v) a diminué de manière significative chez l'écotype El Mida avec la concentration de 150 mMNaCl (Fig. 1C). Enfin, le rapport F_v/F_m caractérisant le rendement quantique maximal des réactions photochimiques primaires des feuilles dans l'obscurité, a légèrement diminué mais non pas significativement sous l'effet du stress salin chez les 3 écotypes (Fig. 1D). Ces résultats sont en accord avec ceux de Doudech et al. (2008) qui ont étudié l'effet du stress salin chez *Paspalum notatum* et ont montré que sous cette contrainte abiotique, il y a une augmentation de la fluorescence initiale et une diminution de la fluorescence maximale ainsi que la fluorescence variable conduisant à la détérioration de l'efficacité photochimique du photosystème II, exprimée par la diminution du rendement quantique maximal.

3.3. Effet du stress salin sur les teneurs en pigments chlorophylliens et caroténoïdes

Les teneurs en chlorophylle a, b et totale ainsi qu'en caroténoïdes des plantes chez les trois écotypes locaux en fonction des traitements salins appliqués sont présentées dans la figure 2. Les résultats relatifs aux teneurs en pigments chlorophylliens (chlorophylle a, chlorophylle b et chlorophylle totale) ont montré que les plantes soumises à un stress salin qu'il soit modéré ou sévère ont présenté de faibles teneurs en chlorophylles en comparaison avec celles des plantes témoins. Cette diminution est d'autant plus marquée avec la sévérité de la contrainte saline. Ces résultats montrent que le stress salin engendre une diminution de l'activité photosynthétique des plantes et concordent donc avec ceux trouvés par Leblebici et al. (2009) qui ont rapporté que la salinité réduit la teneur en pigments chlorophylliens chez *Spirodela polyrrhiza*.

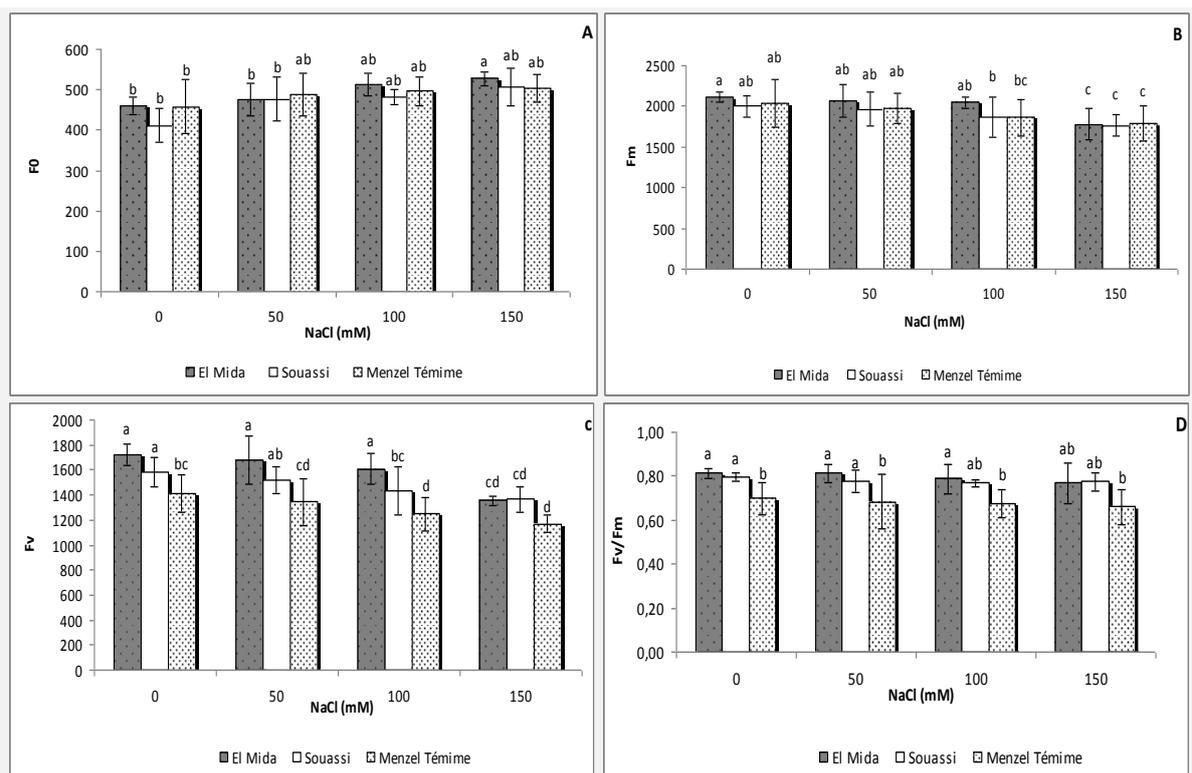


Figure 1. Variation des paramètres de la fluorescence chlorophyllienne. A : fluorescence initiale (F0), B : fluorescence maximale (Fm), C : fluorescence variable (Fv) et D : le rendement quantique maximal (Fv/Fm) chez 3 écotypes locaux de carvi (*Carum carvi* L.) en fonction de la concentration en NaCl (0, 50, 100 et 150 mM).

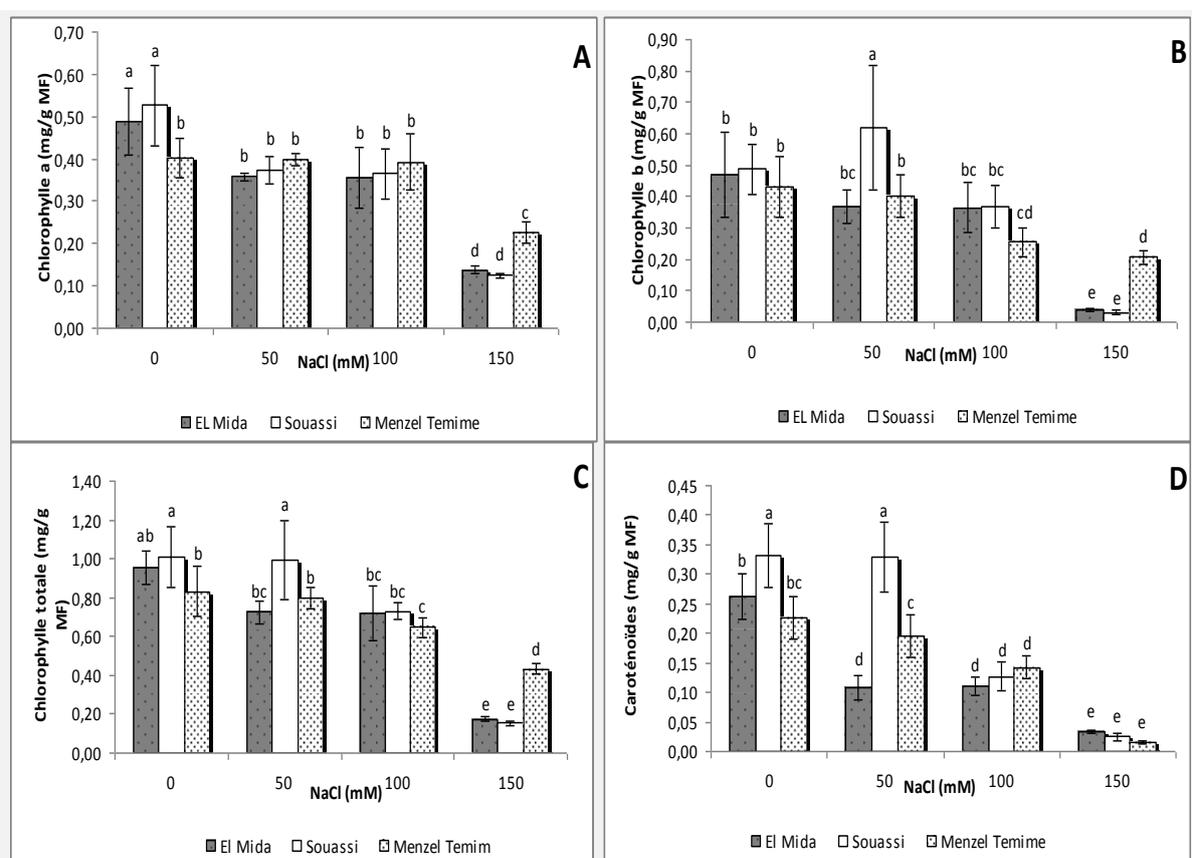


Figure 2. Variation de la teneur en pigments chlorophylliens et en caroténoïdes (mg/g MF). A : Teneur en chlorophylle a ; B : Teneur en chlorophylle b ; C : Teneur en chlorophylle totale ; D : Teneur en caroténoïdes des plantes chez 3 écotypes locaux de carvi (*Carum carvi* L.) en fonction de la concentration en NaCl (0, 50, 100 et 150 mM).

3.4. Effet du stress salin sur l'état hydrique de la plante

La variation de la teneur relative en eau (%), du potentiel osmotique (10^3 bar) et de la perméabilité membranaire (%) chez les trois écotypes locaux de carvi en fonction de traitements salins appliqués est présentée dans le tableau 2.

Tableau 2. Variation de la teneur relative en eau (%), du potentiel osmotique (10^3 bar) et de la perméabilité membranaire (%) chez trois écotypes locaux de carvi (*Carum carvi* L.) en fonction de la concentration en NaCl (0, 50, 100 et 150 mM).

Paramètre mesuré	Ecotype	Concentration NaCl (mM)			
		0 (Témoin)	50	100	150
Teneur relative en eau (%)	El Mida	68,58 ± 5,91c	59,99 ± 5,46ef (- 12,52)**	49,95 ± 4,93gh (- 27,16)	44,26 ± 2,50i (- 35,45)
	Souassi	83,02 ± 7,01a	59,41 ± 8,12ef (- 28,44)	54,47 ± 4,97fg (- 34,39)	46,12 ± 3,84hi (- 44,45)
	M. Témime	75,40 ± 4,98b	68,02 ± 4,42c (- 9,79)	56,20 ± 2,18ef (- 25,46)	43,01 ± 4,77i (- 42,96)
Potentiel osmotique (10^3 bar)	El Mida	-8,88 ± 0,21b	-13,78 ± 0,79e (- 55,21)	-14,85 ± 1,48e (- 67,22)	-15,17 ± 1,62e (- 70,85)
	Souassi	-7,65 ± 1,27b	-9,08 ± 0,51bc (- 18,63)	-9,29 ± 0,65bc (- 21,42)	-11,26 ± 0,98d (- 47,21)
	M. Témime	-5,85 ± 1,16a	-6,09 ± 0,93ab (-4,06)	-6,46 ± 0,77ab (-10,42)	-10,73 ± 2,05cd (-83,54)
Perméabilité membranaire (%)	El Mida	39,99 ± 5,48e	71,98 ± 5,37c (+ 80,01)	78,68 ± 6,27bc (+ 96,75)	85,29 ± 9,28ab (+ 113,28)
	Souassi	36,83 ± 2,89e	58,96 ± 6,78d (+ 60,08)	60,89 ± 4,44cd (+ 65,30)	66,94 ± 3,99cd (+ 81,72)
	M. Témime	72,76 ± 7,57c	90,07 ± 3,01a (+ 23,78)	88,28 ± 5,07a (+ 21,33)	92,32 ± 2,02a (+ 26,88)

*Les valeurs d'une même ligne pour le même paramètre mesuré et qui suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test LSMEAN.

**Les chiffres entre parenthèses représentent les taux de réduction ou d'augmentation par rapport au témoin

Le stress salin a affecté négativement la teneur relative en eau chez les trois écotypes. Cette réduction est d'autant plus importante avec la sévérité de la contrainte saline (Tableau 2). Cependant l'écotype Souassi est le plus touché par la salinité puisque la teneur relative en eau a accusé une réduction de 44,45% sous stress salin sévère (150 mM). La même tendance a été observée chez les deux autres écotypes El Mida et Menzel Temime dont les teneurs relatives en eau ont été réduites, respectivement de 35,45 et 42,96% sous traitement salin sévère (150 mM). Ces résultats concordent avec ceux trouvés par Usue et al. (2009) qui ont montré que la teneur relative en eau des plantes chez l'orge est influencée par la contrainte saline. En effet, la teneur relative en eau des plantes soumises à un traitement salin de concentration 240 mM NaCl a été réduite de 85% par rapport au témoin. Par ailleurs, le stress salin s'est traduit par une diminution du potentiel osmotique chez les trois écotypes (Tableau 2). Cette diminution a été particulièrement remarquable chez les deux écotypes Souassi et Menzel Témime dont le potentiel osmotique a diminué significativement et respectivement de 47,21 et 83,54% par rapport au témoin, sous stress salin sévère (150 mM). Néanmoins, un stress osmotique se produisant suite à une déshydratation de la plante, commence immédiatement dès que la salinité augmente au niveau des racines. En effet, cette augmentation des niveaux en sel induit une baisse du potentiel osmotique extracellulaire d'où une diminution de la disponibilité en eau et la réduction de son absorption par la plante (Munns 2002). Quant à la perméabilité membranaire, elle a augmenté significativement sous l'effet du stress salin chez les trois écotypes (Tableau 2). L'écotype El Mida est le plus touché par la salinité puisque sa perméabilité membranaire a augmenté de 113% par rapport au témoin avec le traitement salin le plus sévère (150 mM NaCl). Cependant, une augmentation de presque 27% seulement a été notée chez l'écotype Menzel Témime avec ce même traitement salin. Des résultats comparables ont été trouvés par Lutts et al. (1996) et Kaya et al. (2002) qui ont noté que la perméabilité membranaire des feuilles augmente significativement avec des concentrations élevées en sel chez quelques variétés de riz, de fraisier et de concombre. En effet, une accumulation importante de sel dans les cellules végétales se traduit par une dégradation de leurs structures lipidiques et de leurs protéines membranaires. Ceci se traduit donc par une altération des membranes cellulaires suite à l'augmentation de leur perméabilité et l'hypertrophie de leur protoplasme (Mansour, 1995).

4. Conclusion

Au terme de cette étude réalisé sur trois écotypes locaux de carvi soumis à des concentrations de 50, 100 et 150 mMNaCl, des différences significatives ont été observées pour l'ensemble des paramètres agronomiques, physiologiques et hydriques considérés. En effet, ces derniers ont été significativement affectés par cette contrainte saline. L'effet a été d'autant plus prononcé avec la sévérité du stress salin. Par conséquent, le carvi est une espèce pouvant tolérer jusqu'à 50 mMNaCl (c'est-à-dire 3g/l) mais qui devient sensible au stress salin une fois que cette concentration est dépassée.

5. Références

- Abou El-Maged MM, Zaki MF, Abou-Hussein SD (2008)** Effect of organic manure and different levels of saline irrigation water on growth, green yield and chemical content of sweet fennel. *Aust J Appl Sci* 2:90-98
- Arnon D (1949)** Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol* 24:1-15
- Baker NR, Rosenqvist E (2004)**. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *J Exp Bot* 55: 1607-1621
- Ben Taarit M, Msaadaa K, Hosni K, Hammami M, Kchouk ME, Marzouk B (2009)** Plant growth, essential oil yield and composition of sage (*Salvia officinalis* L.) fruits cultivated under salt stress conditions. *Ind Crop Prod* 30: 333-337
- Ben Taarit M, Msaadaa K, Hosni K, Marzouk B (2010)** Changes in fatty acid and essential oil composition of sage (*Salvia officinalis* L.) leaves under NaCl stress. *Food Chem* 119: 951-956
- Bjorkman O, Demmig B (1987)** Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77°K among vascular plants of diverse origins. *Planta* 170: 489-504
- Bourgou S, Bettaieb I, Saidani M, Marzouk B (2010)** Fatty acids, essential oil and phenolics modifications of black cumin fruit under NaCl stress conditions. *J Agri Food Chem* 58: 12399-12406
- Chakib A, Labhili M, Brahmi K, Jlibene M, Nasrallah N, Filali-Maltouf A (2002)** Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *CR Biol* 325: 1097-1109
- Coïc Y, Lesaint C (1973)** La nutrition minérale et en eau des plantes en horticulture avancée. *Rev Horti* 23:16: 29-34
- Doudech N, Bettaieb T, Mhamdi M, Denden M (2008)** Tolérance à la salinité d'une graminée à gazon: *Palpasmnotatum* Fluggé. *Tropicultura* 26: 182-186
- Flowers TJ (2004)** Improving crop salt tolerance. *J Exp Bot* 55:307-319
- Huang CX, Van Steveninck RFM (1990)** La salinité induit des changements structurels dans les cellules méristématiques des racines d'orge. *New Phytol* 115: 17-22
- Kaya C, Kirnak H, Higgs D, Saltati K (2002)** Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Sci Horti* 26: 807-820
- Laribi B, Bettaieb I, Kouki K, Sahli A, Mougou A, Marzouk B (2009)** Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. *Ind Crop Prod* 30: 372-379
- Laribi B, Kouki K, Sahli A, Mougou A, Marzouk B (2011)** Essential oil and fatty acid composition of a Tunisian caraway (*Carum carvi* L.) seed ecotype cultivated under water deficit. *Adv Environ Biol* 5 (2): 257-264
- Leblebici Z, Aksoy A, Duman F (2009)** Influence of salinity on the growth and heavy metal accumulation capacity of *Spirodelapolyrrhiza* (Lemnaceae). *Turk J Biol* 35:215-220
- Levigneron A, Lopez F, Vansuyt G, Berthomieu P, Fourcroy P, Casse-Delbart F, (1995)** Les plantes face au stress salin. *Cah Agric* 4:263-273
- Lutts S, Kinet JM, Bouharmont J (1996)** NaCl-induced Senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Plant Sci* 116:15-25
- Mansour MMF (1995)** NaCl alteration of plasma membrane of *Allium cepa* epidermal cells. Alleviation by calcium. *Plant Physiol* 145:726-730
- Mc Kinney G (1941)** Absorption light by chlorophyll solutions. *J Biol Chem* 140: 315-322
- Munns R (2002)** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ* 25:239-250
- Neffati M, Marzouk B (2008)** Changes in essential oil and fatty acid composition in coriander (*Coriandrum sativum* L.) leaves under saline conditions. *Ind Crop Prod* 28:137-142
- Neffati M, Marzouk B (2009)** Roots volatiles and fatty acids of coriander (*Coriandrum sativum* L.) grown in saline medium. *Acta Physiol Plant* 31:455-461
- Neffati M, Sriti J, Hamdaoui G, Kchouk ME, Marzouk B (2011)** Salinity impact on fruit yield, essential oil composition and antioxidant activities of *Coriandrum sativum* fruit extracts. *Food Chem* 124: 221-225
- SAS Institute (1999)** SAS/STAT User's Guide, version 8. SAS Institute Inc, Cary, NC
- Salisbury F, Ross B (1992)** Plant physiology. Wadsworth Publishing Company, Inc. Belmont
- Sconfeld MA, Johnson RC, Carver BF, Mornhinweg DW (1988)** Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Sci* 28: 526-531
- Torretilas A, Leon A, Del Amor F, Martinez-Mompean MC (1984)** Determinación rápida de clorofila en discos foliares de limonero [Dosage rapide de la chlorophylle dans les disques foliaires de citronnier]. *Fruits* 39: 617-622
- Usue P, Robredo A, Lacuesta M, Mena-Petite A, Muñoz-Rueda A (2009)** The impact of salt stress on the water status of barley plants is partially mitigated by elevated CO₂. *J Exp Bot* 66: 463-470
- Zaki MF, Abou Hussein SD, Abou El-Maged MM, El-Abagy HMH (2009)** Evaluation of some fennel cultivars under saline irrigation water. *Eur J Sci Res* 30:67-78