



Réponses morpho-phénologiques du safran (*Crocus sativus* L.) à deux stress abiotiques (hydrique et salin)

RÉSUMÉ

Objectif : Les zones arides et semi-arides constituent environ les deux tiers de la surface du globe terrestre. Dans ces zones souvent marquées par des périodes sévères de sécheresse, la salinisation des sols est considérée comme l'un des principaux facteurs limitant la production végétale. Pour éviter les périodes difficiles pour la croissance et le développement, certaines variétés accomplissent leur cycle de développement avant l'installation de la contrainte abiotique. Cultivé au Maroc depuis des siècles, le safran est l'épice la plus chère du monde. Le présent travail porte sur l'étude de l'effet de deux stress abiotiques (hydrique et salin) sur les paramètres morphologiques et le cycle végétatif de safran (*Crocus sativus* L.).

Méthodologie et résultats : Pour ce faire, une expérience a été réalisée sur une safranière de 4 ans plantée en plein champ au sein de la station expérimentale de la Faculté des Sciences d'Oujda. Le traitement expérimental inclut quatre (4) concentrations de NaCl (0 ; 1 ; 3 et 5 g.l⁻¹) et trois (3) régimes hydriques (100% ; 60% et 40% de l'évapotranspiration de référence = ET₀). La comparaison des différents résultats obtenus montre que l'augmentation des niveaux du stress a influencé légèrement les différents paramètres de croissance du safran qui s'est traduite par une diminution du nombre, de la longueur et la surface des feuilles. La diminution de ces paramètres a provoqué la diminution de biomasse sèche de la partie aérienne. L'effet du stress sur les plantes de safran s'est manifesté par un raccourcissement du cycle végétatif qui semble être un mécanisme d'évitement adopté par le safran pour échapper aux contraintes abiotiques.

Conclusion et application des résultats : Les résultats de la présente étude ont révélé des traits d'adaptation morpho-phénologiques du safran intéressants pour la région oriental du Maroc qui fait face à des préoccupations croissantes notamment vis-à-vis de ces deux types du stress (salin- hydrique).

Mots clés : Safran, stress hydrique, stress salin, cycle végétatif, croissance, adaptation.

ABSTRACT

Objective : Arid and semi-arid areas constitute about two-thirds of the Earth's surface. In these areas, often marked by severe drought periods, soil salinization is considered one of the main factors limiting crop production. To avoid difficult periods for growth and development, some varieties complete their development cycle before the installation of abiotic stress. Saffron, dried stigma of the *Crocus sativus* flower, is considered among the main terroir products of Morocco. In 2015, the saffron plantation in

Morocco was conducted in a surface area of around 1600 ha with an average yield of 3.5t, making Morocco the fourth saffron producer in the world. The present work focused on the study of the effect of drought stress on Saffron's morpho-phenological parameters and vegetative cycle.

Methodology and results: An experiment has been carried out on a 4-year-old saffron plantation planted in an open field located in the experimental station of the Faculty of Sciences of Oujda. The experimental treatment included three water regimes (T0: Control receiving 100% ET₀, T1: moderate water deficit receiving 60% ET₀, T2: pronounced water deficit receiving only 40% ET₀) and four concentrations of NaCl (0, 1, 3 and 5 g.l⁻¹). The results show that the increase in drought stress level has slightly influenced the different parameters of saffron growth which was manifested by a decrease in the number, length and surface of the leaves. The effect of stress on saffron plants was manifested by a shortening of the cycle which could be an avoidance mechanism adopted by saffron to escape different abiotic stresses.

Conclusion and application of results: In general, the morpho-phenological adaptation traits observed may be of interest to the eastern region of Morocco, especially with growing concerns of these two types of abiotic stress.

Keywords: Saffron, drought stress, saline stress, growth, Vegetative cycle, adaptation.

INTRODUCTION

D'ici 2050, la demande en eau devrait augmenter de 55%, non seulement sous la pression d'une population croissante (la Terre comptera alors 9,5 milliards de personnes), mais aussi parce que la consommation s'envole (Agriculture du Maghreb, 2015). Quant au secteur agricole, les prélèvements actuels ne sont pas soutenables. Cette situation est expliquée par le réchauffement climatique que connaît la planète et auquel le Maroc ne saurait échapper. Dans les zones souvent marquées par des périodes sévères de sécheresse, la salinisation des sols est considérée comme l'un des principaux facteurs limitant la production végétale. Plus de 6,5% de la superficie totale des terres dans le monde est affectée par le sel qui représente 831 Million ha de terres (FAO, 2008). Au Maroc, la salinisation des sols agricoles commence à prendre de l'ampleur avec l'extension des superficies irriguées, près de 500 000 d'hectares des terres arables sont sujets à une salinisation croissante (MEMECEE, 2015). Pour faire face aux différents stress, les plantes ont développé au fil du temps une large gamme de mécanismes de tolérance qui ne sont pas exclusifs les uns des autres et qui peuvent même être complémentaires (Jones *et al.*, 1980). Pour éviter les périodes de croissance et de développement difficiles, certaines variétés accomplissent leur

cycle de développement avant l'installation de la contrainte abiotique. La précocité constitue donc un important mécanisme d'évitement de la sécheresse de fin de cycle (Ben Naceur *et al.*, 1999). Il est donc intéressant d'orienter les recherches vers des cultures et des techniques adaptées à ce nouveau climat, actuel et à avenir, d'opter des espèces et variétés moins exigeantes. Au Maroc, le safran est cultivé depuis des siècles dans la zone de Taliouine (province de Taroudant) sur une superficie de 565 ha et plus récemment dans la zone de Taznakht (province d'Ouarzazate) sur une superficie de 105 ha (Lage et Cantrell, 2009). Son safran est hautement réputé au niveau national et international (Lage et Cantrell, 2009). Du point de vue des exigences édapho-climatiques, le safran est une plante rustique grâce à sa morphologie et sa physiologie pouvant supporter des conditions climatiques très sévères (Sepaskhah et Yarami, 2009) qui le range parmi les cultures d'avenir pour le Maroc dans un contexte des changements climatiques. La présente étude vise à évaluer l'influence de deux stress abiotiques (salin et hydrique) sur le comportement morphologique et le cycle de développement des plantes du safran dans les conditions naturelles du climat semi-aride de l'oriental du Maroc.

MATERIELS ET METHODES

Site expérimental : Les essais ont été menés en plein champ dans la station expérimentale de la Faculté des Sciences d'Oujda (altitude de 661 m, latitude de 34° 39' 07" Nord et longitude de 01° 53' 01" Ouest) (GPS Back Track Bush-nell).

Matériel végétal : Le matériel végétal utilisé dans nos essais correspond à des plants du safran (*Crocus sativus*) plantés le 18/10/2011 directement dans le sol en plein champ. Les cormes utilisées proviennent de la région de Taliouine, la principale zone de la production du safran au Maroc.

Traitements utilisés : Pour évaluer l'effet du stress abiotique sur le safran, les plantes ont été soumises pendant deux ans à quatre (4) concentrations de NaCl (0 ; 1 ; 3 et 5 g.l⁻¹) et trois (3) régimes hydriques (100% ;

60% et 40% de l'évapotranspiration de référence = ET₀), en prenant en considération les apports pluviométriques de la ville d'Oujda. L'eau utilisée pour l'arrosage possède une conductivité électrique EC de 0.7 mS/cm.

Dispositif expérimental : Les dispositifs expérimentaux adoptés sont en blocs aléatoires complets qui, comprennent 3 blocs avec un total de 60 plantes de safran pour le stress salin et 45 plantes pour le stress hydrique (5 touffes / traitement * traitements * 3 répétitions), les blocs indiquent les répétitions et les sous blocs représentent les traitements, dont les parcelles élémentaires s'étendent sur une superficie de 0.5 m² (Photo 1).



Photo1 : Dispositif expérimental

Paramètres mesurés

- **Période de récolte** : nombre de jours séparant les jours d'apparition de la première et la dernière fleur (Elzinga *et al.*, 2007).
- **Paramètres morphologiques** : mesure du nombre, de la longueur et de la surface des feuilles.
- **Biomasse sèche aérienne (BSA)**: à la fin des essais, la biomasse sèche, exprimée en gramme, a été évaluée par pesage de la matière sèche obtenue après

étuvage à 80 °C jusqu'à poids constant de la matière fraîche aérienne préalablement pesée.

Analyses statistiques : Les résultats ont été soumis à une analyse statistique descriptive et une analyse de la variance (ANOVA), à l'aide du logiciel "SPSS for Windows version 20" et la comparaison des moyennes a été faite par le test de Tukey au seuil de probabilité de 5 %.

RESULTATS ET DISCUSSION

Effet sur la période de récolte : Considéré comme une plante sub-hystranthe, la floraison du safran peut se produire de mi-octobre à fin novembre en fonction des conditions climatiques. Dans notre cas, le stress a

influencé la période de récolte. Dans le cas du stress hydrique, les premières fleurs ont été observées chez les plantes-témoins, puis chez celles ayant subi le traitement 60% d'ET₀ et enfin chez celles du traitement

40% d'ET0. Quant au stress salin, les premières fleurs ont été observées chez les témoins (0g/l de NaCl), suivi par le traitement 1g/l puis le traitement 3g/l et enfin le traitement sévère (5g/l). La récolte s'est étalée sur presque un mois dont les dernières fleurs ont été récoltées le 03/12/2014 à partir des traitements sévères (40% d'ET0 et 5g/l de NaCl) (Tableau 1). Le retard de la floraison observé dans notre expérimentation est confirmé par d'autres travaux antérieurs qui avaient

montré que les plantes du safran affectées par la salinité ont tendance à retarder la date d'émergence de la floraison (Torbaghan et Ahmadi, 2011). Des travaux de plusieurs auteurs à travers le monde (Negbi, *et al.*, 1989; De-maestro et Ruta 1993; McGimpsey *et al.*, 1997; De Juan *et al.*, 2003; Koocheki *et al.*, 2007; Çavuşoğlu *et al.*, 2009) ont montré que les bulbes de gros calibre améliorent la précocité et la densité de floraison.

Tableau 1: Effet de différents stress sur la période de récolte des fleurs

Traitements		Période de floraison																														
		Novembre																													Décembre	
		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3				
Stress hydrique	100% ET0	Période de récolte																														
	60% ET0	Période de récolte																														
	40% ET0	Période de récolte																														
Stress salin	0g de NaCl	Période de récolte																														
	1g de NaCl	Période de récolte																														
	3g de NaCl	Période de récolte																														
	5g de NaCl	Période de récolte																														

Effet sur le cycle végétatif : Les observations sur le terrain montrent que le stress a un effet sur la vitesse d'entrée en dormance. Les premiers signes de jaunissement des feuilles ont été observés dès la dernière décade du mois de mars chez le traitement sévère (40% d'ET0 et 5g/l de NaCl), suivi par le

traitement modéré. Tandis que les témoins et 1 g /l n'ont extériorisé les premiers signes de dormance que vers la première semaine du mois d'avril. Les mêmes constats ont été observés la première année du stress (Tableau 2, Photo 2).

Tableau 2 : Effet de différents stress sur la date d'entrée en dormance

Traitements		Date de dormance																		
		Mars											Avril							
		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7
stress salin	0g/l de NaCl	Période active																		
	1g/l de NaCl	Période active																		
	3g/l de NaCl	Période active																		
	5g/l de NaCl	Période active											Période de dormance							
Stress hydrique	100 % ET0	Période active																		
	60 % ET0	Période active																		
	40% ET0	Période active																		

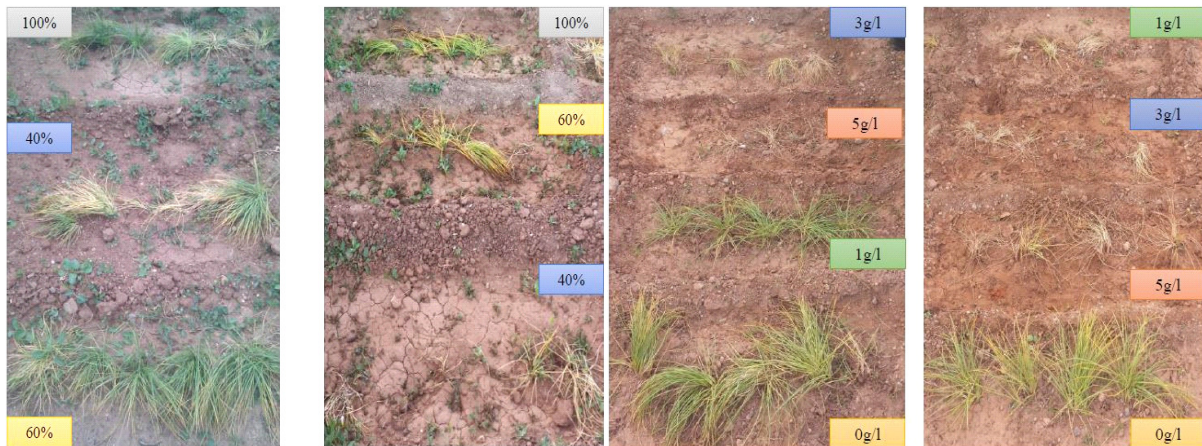


Photo 2 : Effet de stress salin et hydrique sur la date d'entrée en dormance.

Nos résultats indiquent que l'effet du stress hydrique sur les plantes de safran s'est manifesté par un raccourcissement du cycle. Ces résultats concordent avec les travaux de (Steiner *et al.*, 1985) et (Turner, 1986) qui ont observé que la durée du cycle « semis – floraison » se raccourcit au fur et à mesure qu'augmente le déficit en eau avec une accélération du développement phénologique des plantes. Ainsi face à un stress osmotique les plantes utilisent généralement plus d'un mécanisme de résistance à la sécheresse. L'évitement est la capacité d'une plante à compléter son cycle de vie avant l'installation du stress osmotique. Ce mécanisme implique un développement phénologique rapide (floraison – raccourcissement du cycle), la flexibilité de croissance (adaptation du niveau de croissance en fonction de la sévérité du stress appliqué). L'entrée en dormance précoce, pourrait être le mécanisme d'évitement adopté par le safran pour échapper à de fortes concentrations de sel dans nos essais, car les plantes ayant subi un traitement d'une forte concentration de NaCl (5-3g/l) sont entrées précocement en dormance par rapport aux témoins et celles irriguées par une faible concentration (1g/l de NaCl).

Effet sur les paramètres morphologiques et la biomasse sèche aérienne : Les résultats obtenus montrent que le nombre de feuilles, la longueur des feuilles, la surface foliaire (Tableau 3) et la biomasse sèche aérienne (Figure 2) sont inversement proportionnels à l'intensité du stress. Dans le cas du stress salin, la diminution des mesures de ces

paramètres traduit réduction de la biomasse sèche de la partie aérienne de 15 à 5g (-70%), respectivement chez les plantes témoins et celles du traitement de 5g/l de NaCl. Dans le cas du stress hydrique, elle est passée de 12.48 à 6.9g (-45.11%) (respectivement chez les plantes témoins et celles de le traitement sévère de 40% d'ET0). L'effet des stresses sévères (40% d'ET0 et 5g/l de NaCl) sur la biomasse sèche aérienne a été significatif suite à une diminution du nombre de feuilles. Les chercheurs ont noté chez le pois qu'un déficit hydrique entraîne un arrêt précoce de l'émission de nouvelles feuilles. Ils ont suggéré que la plante ajuste sa croissance par rapport à l'eau disponible dans le milieu en réduisant la surface et/ou le nombre de ses feuilles (INRA, 2000). Les mêmes effets ont été observés sur les plantules d'arganier (Reda Tazi *et al.*, 2001) et de Jojoba (Boulghalagh *et al.*, 2008) qui ont réagi par une réduction de leur partie aérienne en réponse au stress salin. Cette diminution de la croissance observée pourrait être expliquée par le fait que le NaCl agit par l'augmentation de la pression osmotique du milieu, ce qui empêche l'absorption de l'eau par le système racinaire. Ceci entraîne, par conséquent, une réduction de la croissance qui est le résultat, au niveau cellulaire, d'une baisse du nombre de divisions cellulaires (Benamar *et al.*, 2009). En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des solutés pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages deviennent irréversibles.

Tableau 3. :Effet de différents stress sur la longueur, le nombre des feuilles et la surface foliaire.

Traitement	Nombre de feuilles	Longueur des feuilles (cm)	Surface foliaire (cm ²)
100% ETO	188 ^a	26 ^a	805 ^a
60% ETO	134 ^b	23 ^a	449 ^a
40% ETO	110 ^b	20 ^a	294 ^a
0g/l de NaCl	232 ^a	30 ^a	1249 ^a
1 g/l de NaCl	244 ^a	35 ^a	1420 ^a
3 g/l de NaCl	109 ^b	22 ^b	399 ^b
5 g/l de NaCl	84 ^c	16 ^b	239 ^b

Les différences significatives dans la même colonne sont indiquées par différentes lettres (a, b, c); p <0,05.

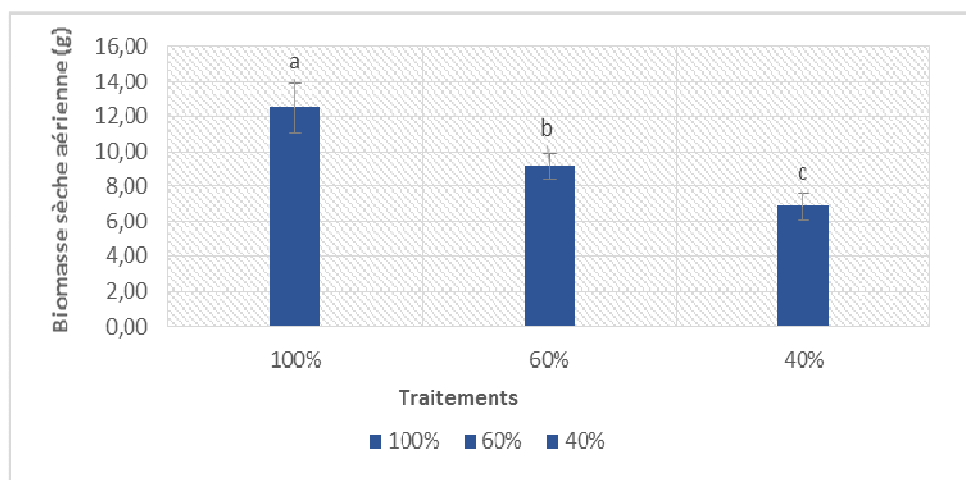


Figure 1 : Effet de traitements salin (0 ; 1 ; 3 ; 5 g/l de NaCl) sur la biomasse sèche aérienne.

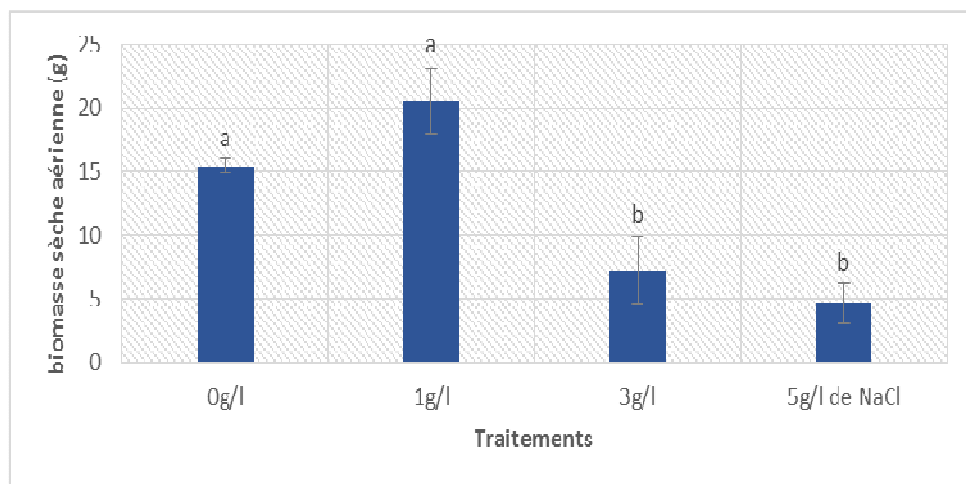


Figure 2 : Effet de traitement hydrique (100%; 60% et 40% d'ETO) sur la biomasse sèche aérienne.

CONCLUSION

Le stress hydrique et salin est l'un des stress environnementaux les plus importants, affectant la productivité agricole dans le monde. Nos résultats montrent que l'influence de ces deux stress abiotiques sur les paramètres morpho-phénologiques du safran

n'est pas fortement marquée à 60% d'ETO et à 3g de NaCl. A 40% d'ETO et 5g de NaCl, les paramètres étudiés ont été plus ou moins affectés, dont l'effet le plus important se manifeste par une diminution de la croissance des plantes (diminution du nombre, de la

longueur et la surface des feuilles) ainsi qu'une diminution de la biomasse sèche aérienne. En général, des traits d'adaptation phénologiques en conditions

déficitaires ont été extériorisés. Ils se traduisent par un raccourcissement de cycle végétatif avant l'augmentation de l'intensité du stress abiotique.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agriculture du Maghreb. 84 (2015) 9.
- Benamar, B., Daguin, F., Kaid-Harche, M.; 2009. Effects of salt stress on germination and in vitro growth of pistachio (*Pistacia vera* L.). *Comptes Rendus Biologies*, (332): 752-758.
- Ben Naceur, M., Nailly, M., Selmi, M.; 1999. Effet d'un déficit hydrique, survenant à différents stades de développement du blé sur l'humidité du sol, la physiologie de la plante et sur les composantes du rendement. *Medit.* 2-99.
- Boulghalagh, J., Berrichi, A., El Halouani, H., Kouddane NE.; 2008. Impact de la salinité sur la germination et la croissance in vitro du Jojoba (*Simmondsia chinensis* [Link] Schneider). *Cahiers UAE*, (2- 3), 25-30.
- Çavuşoğlu, A., İ.Erkel, E., Sülüsoğlu, M.; 2009. Saffron (*Crocus sativus* L.) Studies with Two Mother Corm Dimensions on Yield and Harvest Period Under Greenhouse Condition. *J. Sustain. Agric.* 3 (2): 126-129.
- De Juan, A., Moya, A., López, S., Botella, O., López, H., Muñoz, R.; 2003. Influence of the corm size and the density of plantation in the yield and the quality of the production of corms of *Crocus sativus* LITEA., (99): 169–180.
- De- maestro, G., Ruta, C.; 1993. Relation between corm size and saffron flowering. *Acta Horticultura* (344): 512-517.
- Elzinga, J., Atlan, A., Biere, A., Gigord, L., Weis, A., Bernasconi G.; 2007. Time after time : flowering phenology and biotic interactions. *Trends Ecol. Evol.* 22(8): 432–439.
- FAO; 2008. Land and plant nutrition management service. <http://www.fao.org/ag/aql/aqll/spush>.
- Jones, M.M., Osmond, C.B. and Turner, N.C. (1980) Accumulation of Solutes in Leaves of Sorghum and Sunflower in Response to Water Deficit. *Australian Journal of Plant Physiology*, 7, 193-205.
- Koocheki, A.; Ganjeali, A.; Abbassi, F.; 2007. The effect of duration of incubation and photoperiod on corm and shoot characteristics of saffron plant (*Crocus sativus* L.). *Acta Horticulturae.*, (73): 961–70.
- Lage, M.; Cantrell, C.L.; 2009. Quantification of Saffron (*Crocus sativus* L.) Metabolites Crocins, Picrocrocin and Safranal for Quality Determination of the Spice Grown Under Different Environmental Moroccan Conditions *Scientia Horticulturae.* (121): 366-373.
- McGimpsey, J.A.; Douglas, M.H.; Wallace, A.R.; 1997. Evaluation of saffron (*Crocus sativus* L.) production in New Zealand. *Crop and Hort.Sci.* (25): 159-168.
- MEMECEEE. ; 2015. Rapport de Diagnostique de l'État de l'Environnement au Maroc (Ministère de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement) <http://www.environnement.gov.ma/index.php/fr/etat-env>.
- Negbi, M.; Dagan, B.; Dror, A.; Basker, D.; vegetative reproduction and dormancy in the saffron *Crocus* 1989. *Israel Journal of Botany.*, (38): 95113.
- Reda Tazi M, Berrichi, A., et 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
- Sepaskhah AR., Yarami N.; 2009. Interaction effects of irrigation regime and salinity on flower yield and growth of saffron. *J. Hort. Sci. Biotech.* 84 :2. 216-222.
- Steiner, J L.; Smith R.C.G.; Mcycr, WS.; Adency, JA.; 1985. *J. Agric .Res.* 58: 89-96.
- Torbaghan, M.E.; Ahmadi, M.M.; 2011. The effect of salt stress on flower yield and growth parameters of saffron (*Crocus sativus* L.) in greenhouse condition. *J. of Agric. Sci. and Soil Sci.*, 10: 421-427.
- Turner, N.C.; 1986. Adaptation to water deficits : A changing perspective. *Austral. J. Plant Physiol.* 13:175–190.