



HAL
open science

Effets de la salinité et du stress hydrique sur la germination des graines de *Hedysarum flexuosum* (Fabaceae)

Djamel Medjebeur, Lynda Hannachi, Samira Ali-Ahmed, Boussad Metna, Aissa Abdelguerfi

► To cite this version:

Djamel Medjebeur, Lynda Hannachi, Samira Ali-Ahmed, Boussad Metna, Aissa Abdelguerfi. Effets de la salinité et du stress hydrique sur la germination des graines de *Hedysarum flexuosum* (Fabaceae). *Revue d'Écologie*, 2018, 73 (3), pp.318-329. hal-03532587

HAL Id: hal-03532587

<https://hal.science/hal-03532587v1>

Submitted on 18 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

EFFETS DE LA SALINITÉ ET DU STRESS HYDRIQUE SUR LA GERMINATION DES GRAINES DE *HEDYSARUM FLEXUOSUM* (FABACEAE)

Djamel MEDJEBEUR^{1*}, Lynda HANNACHI¹, Samira ALI-AHMED², Boussad METNA³
& Aissa ABDELGUERFI⁴

¹Laboratoire d'Écophysiologie végétale, Faculté des Sciences Agronomiques et des Sciences Biologiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie. E-mails : medjebeurdjamel@yahoo.fr; lyndahannachi@yahoo.fr

²Laboratoire de Pathologie des écosystèmes, Faculté des Sciences Agronomiques et des Sciences Biologiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie. E-mail : samiraaliamhed@yahoo.fr

³Laboratoire de Biologie végétale, Faculté des Sciences Agronomiques et des Sciences Biologiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie. E-mail : boussadmetna@yahoo.fr

⁴Laboratoire des ressources génétiques et biotechnologie (L- RGB), Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie El Harrach Alger (ENSA), Algérie. E-mail : aabelguerfi@yahoo.fr

* Auteur pour la correspondance.

SUMMARY.— *Effects of salt and water stress on seed germination of Hedysarum flexuosum (Fabaceae).*— *Hedysarum flexuosum* L., commonly called Sulla has been the subject of numerous studies which have demonstrated its forage and pastoral potential. Previous researches on the biochemical composition of this species have revealed a high nutritional value and positioned it as an alternative to the imported food for goat and sheep raising. The authors mention the richness of Sulla in proteins (22.5 % g/Kg of dry matter), lipids and minerals. They also note a digestibility rate very similar to those of other forage legumes grown such as alfalfa. The species *H. flexuosum* or Sulla is reported in Algeria and Morocco on marl and marl-limestone substrates in regions with average rainfall greater than 550 mm. This study consists of an ecophysiological evaluation of the seed germination phase of *H. flexuosum* through the effects of salt and water stress on the germination rate (GT) of this species. *H. flexuosum* pods were collected at maturity at a station in Ouadhia commune in northern Algeria. The seeds extracted from the pods were treated with 5 % sodium hypochlorite for 5 minutes and then rinsed three times with distilled water. In order to avoid any integumentary dormancy, a slight scarification of the seed surfaces was carried out. They were then watered with increasing concentration NaCl solutions (2, 4, 6, 8, and 10 g/l), for the salinity test and by solutions of polyethylene glycol 6000 (PEG -6000) corresponding to pressures of: -1 bar, -3 bars, -7 bars, -9.25 bars respectively for the water stress. A batch of control seeds was watered with distilled water. The results of the germination rate (GT) and mean germination time (MGT) were analysed by an ANOVA using the stat box software (one parameter analysis: NaCl concentration for salt stress and PEG concentration for water stress). The ANOVA analysis was completed by the Newman and Keuls test when it reveals a significant variation. Results show that GT variation as a function of NaCl concentrations is highly significant ($P < 0.001$). Seed GT decreases in response to increased NaCl concentration in the imbibitions substrate. The higher osmotic pressure is, the greater the rate of reduction of the germinative capacity increases. The influence of salinity is in fact significantly perceptible from 2 g/l with a GT of 74 % corresponding to a reduction rate of 18.7 %. The concentration inducing the reduction of the germination of 50 % (LD 50) is between 4 and 6 g/l of NaCl. The germination is practically inhibited at the highest concentration tested (10 g/l). Analysis of the variance of the MGT factor of *H. flexuosum* shows that it increases significantly with elevated environmental salinity. In the controls, MGT is 2.37 days but extends to 8 days at the dose of 10 g/l of NaCl. The effect of salinity on germination kinetics is manifested by the germination retardation caused by the increasing concentrations of NaCl and PEG substrate (first phase of germination). It could be explained by the prolongation of the latency phase corresponding to the time required for the imbibition of the seeds to trigger the germination process. Our results show that the highest GT is obtained in the control seeds (94 %). At the osmotic pressure of -1 bar, the germinative capacity is reduced by 60.63 % compared to the control. GT decreases with increasing osmotic pressure of the seed imbibitions substrate. At the pressure of -3 bars the germination drop reached 90.42 %. The germination is completely inhibited at the pressure of -9.25 bars. Like GT, the MGT required for *H. flexuosum* seeds increases with osmotic pressure. This is tripled at -7 bars pressure compared to the controls. *H. flexuosum* appears to be more sensitive to salinity compared to several Tunisian cultivars of *H. coronarium* (LD 50 to -2.11 bars for water stress).

RÉSUMÉ.— L'objectif de ce travail est d'étudier les effets des stress salin et hydrique sur la germination des graines de *Hedysarum flexuosum*, légumineuse spontanée fourragère et pastorale d'origine méditerranéenne. Les résultats montrent que le taux de germination (TG) des graines diminue en réponse à l'augmentation de la concentration de NaCl. Le taux de réduction de la capacité germinative est d'autant plus élevé que la pression

osmotique est plus forte. En effet, à partir de 2 g/l l'influence de la salinité est significativement perceptible avec un taux de réduction de 18,7 %. La concentration induisant la diminution de la germination de 50 % (DL50), se situe entre 4 et 6 g/l de NaCl. La germination est pratiquement inhibée à la concentration la plus élevée (10 g/l). Le temps moyen de germination (TMG) est allongé significativement avec l'augmentation de la salinité du milieu. Chez les témoins, le TMG est de 2,37 jours, il s'allonge jusqu'à 8 jours à la dose de 10 g/l de NaCl. Nos résultats montrent que le TG le plus élevé (94 %) est obtenu chez les graines témoins. Le TG diminue avec l'augmentation de la pression osmotique du milieu d'imbibition des graines. À la pression osmotique de -1 bar, la capacité germinative est réduite de 60,63 % par rapport au témoin et atteint 90,42 % à -3 bars. La germination est complètement inhibée à la pression osmotique de -9,25 bars. Comme pour le stress salin, le TMG obtenu chez les graines de *H. flexuosum* augmente avec la pression osmotique. Celui-ci est triplé (-7 bars) par rapport au témoin. *H. flexuosum* paraît être plus sensible à la salinité comparativement à plusieurs cultivars tunisiens de *H. coronarium* chez lesquels la DL 50 est estimée à -2,11 bars.

Les stress abiotiques engendrent d'importantes pertes de production agricole à travers le monde (Jakab *et al.*, 2005). La salinité et la sécheresse en particulier affectent significativement le rendement des cultures des régions arides et semi-arides. À l'échelle mondiale, les sols salés occupent une superficie de 95 millions d'hectares (Zid & Grignon, 1991), dont 20 % sont des terres irriguées (Flowers & Flowers, 2005) et 15 % des terres cultivables (Munns, 2002).

En Algérie, la plus grande partie des ressources fourragères provient des jachères et des sous-produits de la céréaliculture. Les prairies dites naturelles sont rares, la qualité médiocre des herbages naturels et permanents souvent très cellulosique, l'indisponibilité de fourrage vert pendant de longues périodes de l'année et les contraintes climatiques influent négativement sur le rendement de l'élevage. D'où l'intérêt de prospecter dans la diversité des espèces spontanées, afin de pallier le déficit de cette production fourragère d'une part, et de permettre de repérer les potentialités d'adaptation de ces espèces dans leur propre environnement d'autre part (Zaatout *et al.*, 1989 ; Houmani, 1999 ; Issolah & Belloued, 2005).

L'espèce *H. flexuosum* L., communément appelée le Sulla, présente une aire de répartition relativement limitée ; elle est signalée en Algérie et au Maroc sur substrats marneux et marno-calcaires dans les régions à pluviométrie moyenne supérieure à 550 mm (Abdelguerfi-Berrekia *et al.*, 1991). C'est une légumineuse, diploïde préférentiellement allogame, à port érigé avec des ramifications plagiotropes. Les feuilles sont composées imparipennées et les fleurs sont rouge vif ou violacé. La gousse flexueuse de 1 à 4,5 cm de long, constituée de 1 à 4 articles (donc 1 à 4 graines) est couverte d'aiguillons. Les graines de couleur marron, sont réniformes ou ovoïdes (Abdelguerfi-Berrekia *et al.*, 1991 ; Boussaid *et al.*, 1992 ; Ben Fadhel *et al.*, 1997).

Hedysarum flexuosum a fait l'objet de nombreuses études qui ont révélé ses potentialités fourragères et pastorales (Abdelguerfi-Berrekia *et al.*, 1991 ; Abdelguerfi, 2002). Les travaux de Kadi *et al.*, (2011) ont montré que cette espèce présente une valeur nutritionnelle élevée et la préconise comme alternative à la Luzerne. Ces auteurs mentionnent la richesse du Sulla en protéines (22,5 g/Kg de MS), en lipides et en minéraux. Ils notent également un taux de digestibilité très proche des autres légumineuses fourragères cultivées telle que la Luzerne.

Les travaux réalisés sur *Hedysarum coronarium* ont également révélé une importante variabilité des réponses vis-à-vis des contraintes saline et hydrique (Ben Jeddi, 2005 ; Dallali *et al.*, 2012). L'exploitation de cette diversité génotypique des espèces dans le but d'identifier les caractères de tolérance aux contraintes environnementales constitue un défi à la production agricole et à la valorisation des zones marginales.

Les contraintes environnementales constituent un facteur majeur limitant l'installation des cultures sensibles dans les conditions de salinité et/ou de sécheresse (Dold & Donovan, 1999).

Au sein d'une même espèce ou variété, le degré de tolérance à des conditions de stress abiotique (salin, hydrique et thermique) varie d'un stade biologique à l'autre (Neffati, 1994 ; Rehmane *et al.*, 1997). Les travaux de Catalan *et al.*, (1994) ont rapporté que le degré le plus élevé

de sensibilité des plantes à la sécheresse se situe au stade de germination. La salinité peut aussi affecter la germination par la création d'un potentiel osmotique empêchant l'absorption de l'eau, ou par les effets toxiques des ions sodium et chlore (Poljakoff-Mayber *et al.*, 1992 ; Rejili *et al.*, 2006).

L'inexistence d'études physiologiques sur *Hedysarum flexuosum* d'une part et l'importance que revêt la germination dans l'installation des cultures et leurs vigueur durant les stades biologiques ultérieurs d'autre part, nous ont motivés pour tester la réponse des graines de cette espèce aux différents degrés de stress salin et hydrique, simulés respectivement par le NaCl et le Polyéthylène glycol (PEG-6000). Nous nous sommes fixé comme objectif de rechercher le seuil de stress à partir duquel les potentialités germinatives (taux de germination, temps moyen de germination) seraient significativement affectées. Les degrés de stress salin et hydrique induisant l'inhibition totale de la germination des graines de cette espèce sont également recherchés. Cette étude consiste ainsi en une contribution écophysologique à la compréhension de la phase de germination des graines de *H. flexuosum*.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les gousses de *Hedysarum flexuosum* L. (Fabaceae) ont été collectées à maturité dans une station de la commune d'Ouadhia située au nord de l'Algérie (Tab. I). Au laboratoire, les gousses ont été écosées manuellement pour extraire les graines.

TABLEAU I

Données géographiques et climatiques de la station de collecte des graines de H. flexuosum L.

Longitude	Latitude	Altitude	Etage bioclimatique	Pluviométrie	Température (°C)		
					m	t	M
36° 33'40 N	4° 05' O	450 m	Subhumide	790,8 mm	13,3	17,8	2,2

PRÉTRAITEMENT DES GRAINES

Afin d'éviter une éventuelle dormance tégumentaire, une légère scarification des graines avec du papier abrasif a été effectuée (Danthu *et al.*, 1992 ; Ndour, 1997). Les graines ont ensuite été traitées à l'hypochlorite de sodium (5 % pendant 5 min.) puis rincées trois fois à l'eau distillée.

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Les stress salin et hydrique, ont été simulés respectivement par le chlorure de sodium (NaCl) et le polyéthylène glycol (PEG-6000). Pour le stress salin, les graines sont arrosées avec des solutions croissantes de NaCl (2, 4, 6, 8, et 10 g/l) ; pour le stress hydrique quatre concentrations de PEG-6000 ont été utilisées, correspondant aux pressions osmotiques -1, -3, -7, et -9,25 bars (Michel & Kofman, 1973). Les graines témoins sont arrosées à l'eau distillée. Le volume d'arrosage est de 6 ml par boîte de Pétri de 90 mm de diamètre.

Nous avons utilisé pour chaque stress, 100 graines réparties sur 5 boîtes de Pétri (à raison de 20 graines par boîte). Pour le cas du stress salin, 5 boîtes par concentration de NaCl ont été utilisées, donc un total de 30 boîtes. Pour le cas du stress hydrique, 25 boîtes au total ont été utilisées à raison de 5 boîtes par pression osmotique. Ces boîtes, tapissées de deux couches de papier filtre Whatman n°1, sont mises dans un germoir à 20°C (± 2°C). Le nombre de graines germées est noté quotidiennement pendant une période de 10 jours. La graine est considérée germée à l'apparition de la radicule (5 mm de longueur) (Côme, 1970 ; Kabar & Baltepe, 1990 ; Akman, 2009).

DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES DE GERMINATION

Taux de germination (TG)

Ce paramètre est exprimé par le rapport du nombre de graines germées (n) sur le nombre total de graines testées (N).

$$TG = \frac{n}{N} \times 100$$

Temps moyen de germination (TMG)

Le TMG correspond au temps mis par les semences pour germer. Il est calculé par la formule suivante :

$$TMG = \frac{(N_1T_1 + N_2T_2 + \dots + N_nT_n)}{(N_1 + N_2 + \dots + N_n)}$$

N_1 : nombre de graines germées au jour T_1 .

N_n : nombre de graines germées entre le temps T_{n-1} et le temps T_n .

T : nombre total de jours d'observation.

Cinétique de germination

Elle permet d'appréhender la signification du comportement germinatif des écotypes étudiés ainsi que l'ensemble des événements depuis l'absorption de l'eau par la graine, jusqu'à l'élongation de l'axe embryonnaire et l'émergence de la radicule à travers les téguments (Côme 1970).

ANALYSE STATISTIQUE

Les résultats sont analysés par l'ANOVA en utilisant le logiciel stat box. C'est une analyse à un facteur de variation qui consiste en la concentration de NaCl pour le cas du stress salin et la concentration du PEG pour le cas du stress hydrique. L'analyse est complétée par le test de Newman & Keuls lorsqu'une variation significative avec un seuil d'erreur de 5 % a été révélée. Avec ce test, nous avons effectué la comparaison des moyennes (comparaison entre les témoins et les différentes concentrations de NaCl pour l'étude du stress salin et entre les témoins et les différentes pressions osmotiques pour l'essai du stress hydrique).

RÉSULTATS

EFFET DE LA SALINITÉ SUR LA CAPACITÉ GERMINATIVE DE *H. FLEXUOSUM*

Influence de la salinité sur le taux de germination (TG)

Nos résultats montrent que la variation du TG en fonction des concentrations de NaCl est très hautement significative ($p < 0,001$). Le TG des graines diminue en réponse à l'augmentation de la concentration de NaCl du milieu d'imbibition (Tabl. II). Le taux de réduction de la capacité germinative est d'autant plus élevé que la pression osmotique est plus forte (Fig. 1). En effet, à partir de 2 g/l l'influence de la salinité est significativement perceptible ($p < 0,001$) avec un TG de 74 % correspondant à une réduction de 18,7 %. Le TG diminue jusqu'à atteindre une valeur minimale chez les graines traitées à 10 g/l de NaCl.

TABLEAU II

Comparaison des taux et temps moyen de germination de H. flexuosum sous stress salin

Concentration de NaCl (g/l)	TG (%)	Similarité statistique des moyennes TG	TMG (Jours)	Similarité statistique des moyennes du TMG
0	91	a	2,37	d
2	74	b	4,00	c
4	52	c	5,83	b
6	32	d	5,79	b
8	20	e	5,56	b
10	3	f	8,00	a

Similarité statistique des moyennes TG et TMG : les valeurs pour les concentrations affectées de la même lettre ne sont statistiquement pas différentes, en revanche celles affectées de lettres différentes le sont à $p < 0,001$.

Effet de la salinité sur le temps moyen de germination (TMG)

L'analyse de la variance du facteur TMG de *H. flexuosum* montre qu'il augmente significativement ($p < 0,001$) avec l'élévation de la salinité du milieu (Tab. II). Chez les témoins, le TMG est de 2,37 jours, il s'allonge jusqu'à atteindre une durée de 8 jours à la dose de 10 g/l de NaCl (Fig. 2).

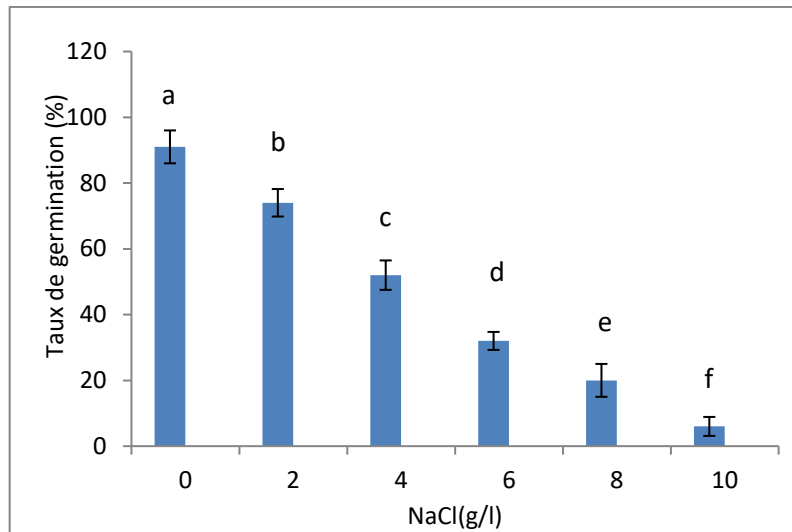


Figure 1.— Effet du stress salin sur le taux de germination des graines de *Hedysarum flexuosum*. Les valeurs représentent les moyennes de 5 répétitions (5 boîtes de Pétri, chacune avec 20 graines). Les lettres différentes montrent que les taux de germination diffèrent de manière très significative selon le traitement ($P < 0,001$), selon une ANOVA complétée avec le test de Newman & Keuls.

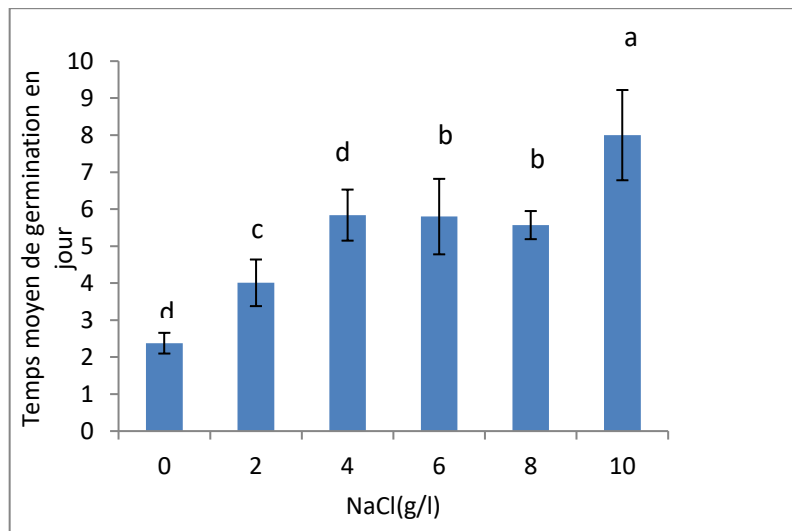


Figure 2.— Effet du stress salin sur le temps moyen de germination des graines de *Hedysarum flexuosum*. Les valeurs représentent les moyennes de 5 répétitions (5 boîtes de Pétri, chacune avec 20 graines). Les lettres différentes montrent que les temps moyens de germination diffèrent de manière très significative selon le traitement ($P < 0,001$), selon une ANOVA complétée avec le test de Newman & Keuls.

Effet de la salinité sur la cinétique de germination

La courbe illustrant la cinétique de germination des graines de *H. flexuosum* sous l'effet des concentrations croissantes de NaCl montre trois phases différentes (Fig. 3).

La première phase représente une phase de latence correspondant au temps nécessaire pour une imbibition adéquate des graines. Une deuxième phase au cours de laquelle la vitesse de germination augmente jusqu'à atteindre une valeur maximale à partir de laquelle la germination s'arrête. Cette valeur est plus élevée chez les témoins (91 %). Les valeurs maximales de TG diminuent avec l'augmentation de l'intensité du stress (20 % à 8 g/l de NaCl).

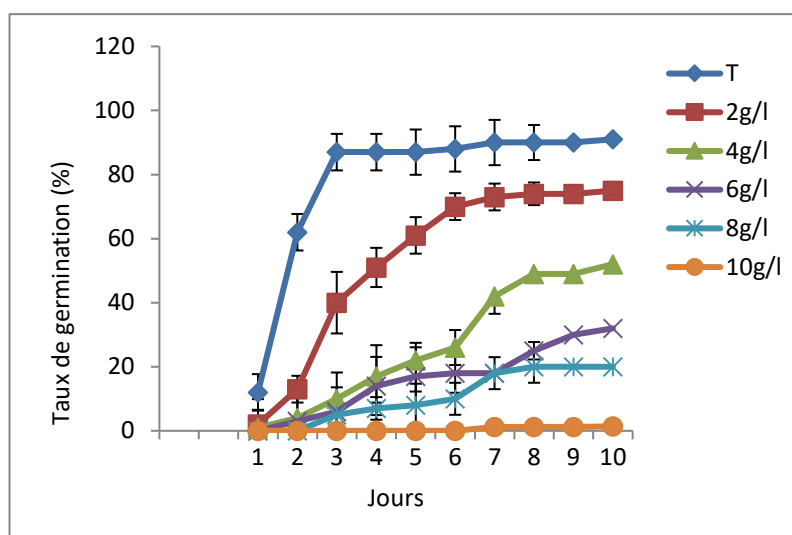


Figure 3.— Effet du stress salin sur la cinétique de germination des graines de *Hedysarum flexuosum*. Les valeurs représentent les moyennes et écarts-types de 5 répétitions (5 boîtes de Pétri, chacune avec 20 graines).

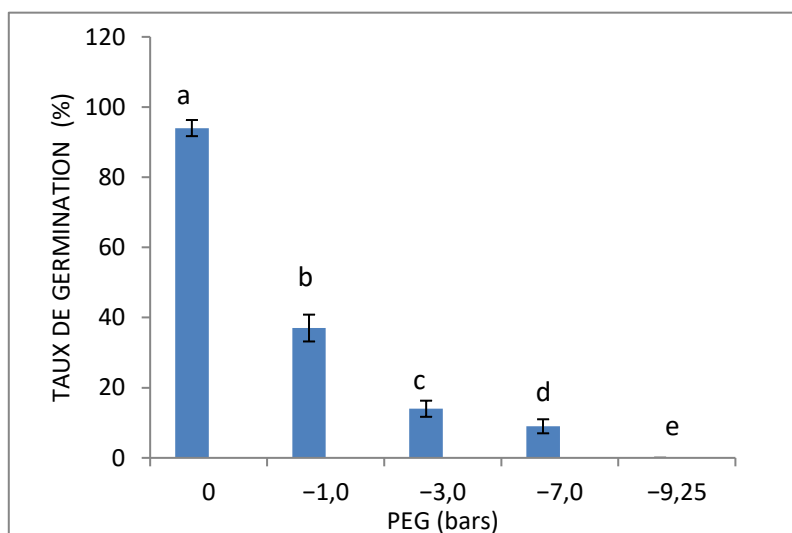


Figure 4.— Effets du stress hydrique sur le taux de germination des graines de *Hedysarum flexuosum*. Les valeurs représentent les moyennes de 5 répétitions (5 boîtes de Pétri, chacune avec 20 graines). Les lettres différentes montrent que les temps moyens de germination diffèrent de manière très significative selon le traitement ($P < 0,001$), selon une ANOVA complétée avec le test de Newman & Keuls.

EFFET DU STRESS HYDRIQUE SUR LA GERMINATION DES GRAINES DE *H. FLEXUOSUM*

Influence du stress hydrique sur le taux de germination (TG)

Les effets du stress hydrique sur le TG sont consignés dans la figure 4. L'analyse statistique des résultats montre une différence très hautement significative ($p < 0,001$) des TG des graines traitées avec les différentes concentrations de PEG.

Le TG le plus élevé est enregistré chez les graines témoins (94 %). À la pression osmotique de -1 bar, le TG est réduit à 37 % correspondant à une chute de 60,63 % par rapport au témoin. Le TG diminue avec l'augmentation de la pression osmotique du milieu d'imbibition. À la pression de -3 bars, la réduction de la germination atteint 90,42 %. Cette dernière est complètement inhibée à -9,25 bars (Tab. III).

TABLEAU III

Comparaison des taux et temps moyens de germination de *H. flexuosum* sous stress hydrique.

Pression osmotique (bars)	TG (%)	Similarité statistique des moyennes du TG	TMG (Jours)	Similarité statistique des moyennes du TMG
0	94	a	2,23	d
-1	37	b	4,15	c
-3	14	c	5,12	b
-7	9	d	6,95	a
-9,25	0	e	0	e

Similarité statistique des moyennes TG et TMG : les valeurs pour les concentrations affectées de lettres différentes sont statistiquement pas différentes à $p < 0,001$.

Influence du stress hydrique sur le temps moyen de germination

Tout comme le TG, le TMG nécessaire pour la germination des graines de *H. flexuosum* augmente avec la pression osmotique. En effet, les graines témoins germent plus vite que celles traitées avec les différentes concentrations de PEG (Fig. 5). Elles nécessitent en moyenne 2,23 jours pour germer, alors qu'aux pressions osmotiques plus élevées (-3 bars et -7 bars), elles ont germé après un temps plus long, respectivement de 5,12 et 6,95 jours (Tab. III).

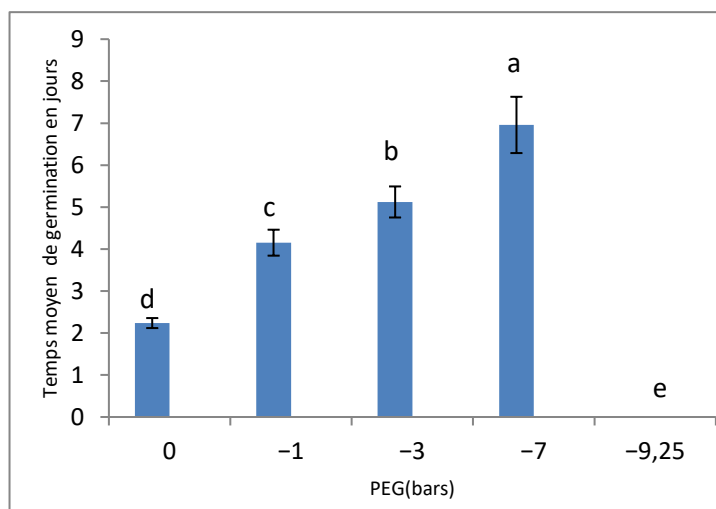


Figure 5.— Effet du stress hydrique sur le temps moyen de germination des graines de *Hedysarum flexuosum*. Les valeurs représentent les moyennes de 5 répétitions (5 boîtes de Pétri, chacune avec 20 graines). Les lettres différentes montrent que les temps moyens de germination diffèrent de manière très significative selon le traitement ($P < 0,001$), selon une ANOVA complétée avec le test de Newman & Keuls.

Effet du stress hydrique sur la cinétique de germination

Dans l'essai de simulation du stress hydrique, nous avons également obtenu chez les graines témoins des courbes de cinétique de germination avec trois phases : phase de latence, phase d'accélération de la germination et une phase représentée par un palier correspondant à l'arrêt de la germination après avoir atteint la capacité germinative maximale (Fig. 6). L'effet dépressif du déficit hydrique sur la germination se manifeste au cours de l'une ou l'autre phase. Ceci varie en fonction de l'intensité du stress. En effet, nous avons relevé des temps de latence de 2 et 5 jours respectivement chez les graines traitées à -1 et -7 bars. La valeur maximale de TG est de plus en plus réduite chez les graines soumises au degré de stress élevé (37 % et 9 % respectivement à -1 et -7 bars).

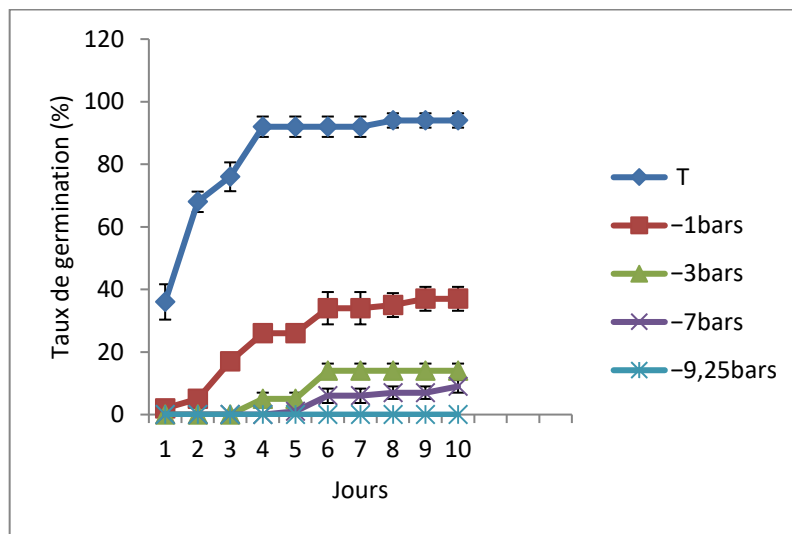


Figure 6.— Effet du stress hydrique sur la cinétique de germination des graines de *Hedysarum flexuosum*. Les valeurs représentent les moyennes et écarts-types de 5 répétitions (5 boîtes de Pétri, chacune avec 20 graines).

DISCUSSION

Notre travail a pour objectif d'estimer les effets des contraintes saline et hydrique sur la phase de germination des graines de *Hedysarum flexuosum*.

L'analyse statistique de nos résultats à l'aide d'une ANOVA fait ressortir un effet très hautement significatif ($p < 0,001$) pour les paramètres TG et TMG. En effet, la réduction du TG est significative à partir de la concentration de 2 g/l de NaCl. Ces résultats sont en accord avec ceux cités dans la littérature (Levigneron *et al.*, 1995 ; Tlig *et al.*, 2012). Les travaux de Kshetrimayum *et al.* (2017) ont bien montré qu'à partir de 2 g/l de NaCl, des processus métaboliques des graines en germination sont affectés comme la diminution de l'expression des voies enzymatiques de synthèse des aquaporines, ce qui influe sur la pénétration de l'eau dans la graine, affectant ainsi sa capacité d'imbibition.

Les résultats du présent essai montrent que la DL50 est induite par des concentrations de NaCl situées entre 4 et 6 g/l. Celle-ci (DL50) est inférieure à celle enregistrée par Dallali *et al.* (2012) chez *H. coronarium* et *H. carnosum*, ainsi qu'à celle trouvée par Xue *et al.* (2012) chez l'espèce *Hedysarum scoparium*. Ceci laisse à penser que *H. flexuosum* serait plus sensible à la salinité, en phase de germination, comparativement à ces espèces.

Cependant, *H. flexuosum* présente une meilleure tolérance à la salinité comparativement à *Cleome amblyocarpa* avec une DL50 inférieure à la valeur obtenue dans cet essai (Tlig *et al.*, 2012).

Le retard de germination, engendré par les concentrations croissantes du milieu en NaCl et PEG (première phase de la germination), pourrait s'expliquer par l'allongement du temps nécessaire à l'imbibition des graines (Ben Miled *et al.*, 1986 ; Jaouadi *et al.*, 2010 ; Smaoui & Cherif, 1986). L'allure des courbes de cinétique de germination obtenues corrobore celles obtenues par plusieurs auteurs chez diverses espèces végétales (Bialecka & Kepczynski, 2009 ; Aisset & Mehdadi, 2016 ; Mguis *et al.*, 2014 ; Jaouadi *et al.*, 2010 ; Sosa *et al.*, 2005 ; Nasri & Benmahioul, 2015 ; Song *et al.*, 2005 ; Gondim *et al.*, 2010 ; Tlig *et al.*, 2012). De nombreux travaux ont montré que le stress salin affecte la germination des graines des glycophytes par des effets osmotiques et toxiques (Munns, 2002).

L'effet négatif des sels peut également s'expliquer par un ralentissement de la mobilisation des réserves, en raison de l'inactivation de la synthèse des hydrolases et/ou de l'inhibition du transfert des produits de l'hydrolyse de l'endosperme à l'embryon (De Oliviera *et al.*, 1998). Lors d'un stress hydrique ou salin, des LEAS et des HSPs sont accumulées (Gallardo *et al.*, 2001 ; Lachhab *et al.*, 2013). Ces dernières interviennent comme osmoprotectants et antioxydants (Kalumba & Pukacha, 2007). D'autres études signalent que le stress salin induirait une production des dérivés réactifs d'oxygène (ROS) aboutissant à la peroxydation des lipides chloroplastiques et mitochondriaux, à la perte de l'intégrité membranaire, à la dégradation des protéines et à l'inactivation des enzymes (Gondim *et al.*, 2010 ; Lachhab *et al.*, 2013 ; Mahi *et al.*, 2015 ; Reolon *et al.*, 2013). Alors que les plantes tolérantes à la salinité développeraient des systèmes enzymatiques tels que la superoxyde dismutase (SOD), l'ascorbate peroxydase (APX), la catalase (CAT), et la glutamine peroxydase (GPK) qui jouent un rôle majeur dans l'allègement et la réparation des dommages causés par les activités des ROS (Chen & Murata, 2002 ; Munns, 2005). Chez certaines espèces tolérantes comme *Cenchrus ciliaris*, Deboura *et al.* (2012) ont montré l'efficacité de l'activité de la gajacol-peroxydase (GPX) dans la lutte contre le stress oxydatif à des doses de 50 et 100 mM de NaCl. La prospection des aires de répartition des espèces du genre *Hedysarum* faite par Abdelguerfi-Berrekia *et al.* (1991) a montré que *H. flexuosum* et *H. aculeolatum* sont peu fréquentes dans les sols riches en calcaire total comparativement à *H. coronarium*.

Face au stress hydrique, *H. flexuosum* a enregistré une diminution du TG à partir de la pression osmotique de -1 bar. Plus la pression osmotique du milieu d'imbibition est élevée, plus le TG diminue alors que le TMG augmente (retard de germination). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus dans la littérature (Hardegree & Emmerich, 1994 ; Ben Jeddi, 2005 ; Jaouadi *et al.*, 2010 ; Castroluna *et al.*, 2014 ; Aisset & Mehdadi, 2016).

Nos résultats montrent également que, face à un stress osmotique sévère, la germination des graines de Sulla chute considérablement pour être inhibée à la pression de -9,25 bars, résultats en accord avec ceux de Murthy & Tejavathi (2016).

La réduction du pourcentage de germination, en conditions de différentes pressions osmotiques chez les populations tunisiennes de *H. coronarium* (Ben Jeddi, 2005), est plus basse que celle obtenue dans notre essai, ce qui indiquerait une meilleure tolérance de *H. coronarium* au stress hydrique par rapport à *H. flexuosum* en phase germination.

Les travaux de caractérisation climatique de l'habitat de l'espèce *H. coronarium* signalent sa présence sur les sites à pluviométrie inférieure (pluviométrie \leq à 450 mm) à celle enregistrée sur les sites naturels de *H. flexuosum* (Issolah *et al.*, 2012). Selon ces auteurs, cette légumineuse est caractérisée par des performances agronomiques, une tolérance au sel et à la sécheresse. Ces constatations expliqueraient, en partie, l'aire de répartition de *H. flexuosum* beaucoup plus réduite que celle de *H. coronarium*.

Hedysarum flexuosum, tout comme *H. coronarium* est caractérisé par une importante diversité morphologique et métabolique (Abdelguerfi, 2002 ; Ben Fadhel *et al.*, 1997, 2006). Il pourrait constituer un génotype intéressant pour améliorer les systèmes de culture en zones marginales peu favorables en sélectionnant les génotypes tolérants aux contraintes saline et hydrique (Ben Jeddi, 2005).

CONCLUSION

Au terme de cette étude nous pouvons conclure que la germination des graines de *Hedysarum flexuosum* est sensible aussi bien au stress hydrique qu'au stress salin. Les résultats ont montré une diminution du taux de germination à partir de 2 g/l de NaCl, et à la pression osmotique de -1 bar.

La germination des graines de *H. flexuosum* est pratiquement inhibée à 10 g/l de NaCl et à la pression osmotique de -9.25 bars. Les DL50, ont montré que cette espèce paraît plus sensible au stress salin et hydrique que plusieurs cultivars de *H. coronarium*.

Tout comme le TG, le TMG est également affecté par les stress salin et hydrique. Le temps de latence est ainsi doublé à 2 g/l de NaCl pour le stress salin et à -1 bar dans le cas du stress hydrique. Le retard de germination augmente avec la sévérité des stress.

L'évaluation de *H. flexuosum* pour le critère de tolérance aux contraintes abiotiques ne peut se faire uniquement sur la base de la réponse de cette espèce en phase de germination. Une investigation des stades phénologiques ultérieurs de cette espèce, sous des conditions hydriques et salines contraignantes, compléterait ces résultats et contribuerait à mieux cerner ses exigences pédoclimatiques.

RÉFÉRENCES

- ABDELGUERFI, A. (2002).— *Ressources génétiques d'intérêt pastoral et/ou fourrager : distribution et variabilité chez les légumineuses spontanées (Medicago, Trifolium, Scorparius, Hedysarum et Onobrychis) en Algérie*. Thèse Doctorat d'État en Sciences Agronomiques, INA.
- ABDELGUERFI-BEREKIA, R., ABDELGUERFI, A., BOUNAGA, N. & GUITTONNEAU, G.C. (1991).— Répartition des espèces spontanées du genre *Hedysarum* L. en Algérie, en relation avec certains facteurs du milieu. *Fourrages*, 126: 187-207.
- AISSET, A. & MEHDADI, Z. (2016).— Effect of salinity and water stress on the germination of *Medicago arborea* L. seeds. *J. Appl. Environ. Bid. Sci.*, 6: 113-121.
- AKMAN, Z. (2009).— Comparison of high temperature tolerance in maize, rice and sorghum seeds by plant growth regulators. *J. Ani. Vet. Adv.*, 8: 358-361.
- BEN FADHEL, N., AFIF, M. & BOUSSAID, M. (2006).— Structure de la diversité génétique de *Hedysarum flexuosum* en Algérie et au Maroc. Implication sur sa conservation. *Fourrages*, 186: 229-240.
- BEN FADHEL, N., BOUSSAID, M. & MARRAKCHI, M. (1997).— Variabilité morphologique et enzymatique des populations naturelles magrébines d'*Hedysarum flexuosum*. *El awania*, 96: 77-90.
- BEN JEDDI, F. (2005).— *Hedysarum coronarium* L. *Variation génétique, création variétale et utilisation dans les rotations tunisiennes*. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques Appliquées. Faculté des Sciences Biologiques –ing- Université de Gent Belgique.
- BEN MILED, D., BOUSSAID, M. & ABDELGUERFI, A., (1986).— Tolérance au sel d'espèces annuelles du genre *Medicago* au cours de la germination. In : *Colloque sur les végétaux au milieu aride*. 8-10 septembre 1986, Djerba, Tunisie.
- BIALECKA, B. & KĘPCZYŃSKI, J. (2009).— Effect of Ethephon and Gibberellin A₃ on *Amaranthus caudatus* seed germination and α and β Amylase activity under salinity stress. *Acta Biol. Cracov., Ser. Bot.*, 51: 19-125.
- BOUSSAID, K.M., BEN FADHEL, N. & MARRAKCHI, M. (1992).— Analyse de la variabilité morphologique de *Hedysarum flexuosum* L. Pp 583-584 in: *Complexe d'espèce, Flux de gènes et Ressources des plantes*. Colloque International en Hommage à J. Pernès. Paris (France).
- CASTROLUNA, A., RUIZ, O. M., QUIROGA, A. M. Y. & PEDRANZANI, H. E. (2014).— Effect of salinity and drought stress on germination, biomass and growth in three varieties of *Medicago sativa* L. *Adv. Investig. Agropecuar.*, 18: 39-50.
- CATALAN, L., BALZARINI, M., TALEISNIK, E., SERENO, R. & KARLIN, U. (1994).— Effect of salinity on germination and seedling growth of *Prosopis flexuosa* (D.C.) *For. Ecol. Manage.*, 63: 347-357.

- CHEN, T.H.H. & MURATA, N. (2002).— Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaine and other compatibles solutes. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 5: 250-257.
- COME, D.G. (1970).— *Les obstacles à la germination*. Ed. Masson, Paris.
- DALLALI, H., MAALEDI, E.M., BOUGHANMI, N.G. & HAOUALA, R. (2012).— Salicylic acid priming in *Hedysarum carnosum* and *Hedysarum coronarium* reinforces NaCl tolerance at germination and the seedling growth stage. *Austral. J. Crop Sci.*, 6: 407-414.
- DANTHU, P., ROUSSEL, J., DIA, M. & SARR, A. (1992).— Effect of pretreatment on the germination of *Acacia senegal*. *Seed. Sci. Technol.*, 20: 111-117.
- DEBOURA, M., KBAIER, N., TALBI, S., GOUIA, H. & FERCHICHI, A. (2012).— Seeds germination and shoot growth responses of a threatened Poaceae (*Cenchrus ciliaris* L.) to increasing salt stress. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, 67: 19-27.
- DE OLIVIERA, F.A., DE COMPOS, T.G.S. & OLIVIERA, M.J. (1998).— Effect of substrate on germination, vigor and growth of herbaceous cotton. *Engenharia Agricola*, 18: 1-10.
- DOLD, G.L. & DONOVAU, A. (1999).— Water potential and ionic effect on germination and seedlings growth of two cold desert shrubs. *Amer. J. Bot.*, 86: 1116-1153.
- FLOWERS, T.J. & FLOWERS, S.A. (2005).— Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? *Agric. Water Manage.*, 78: 15-24.
- GALLARDO, K.C., JOB, S.P.C., GROOT, M., PUYPE, H., DEMOL VENDEKERCKHOVE, J. & JOB, D. (2001).— Proteomic analysis of *Arabidopsis* seed germination priming. *Plant Physiol.*, 126: 835-848.
- GONDIM, F.A., GOMES-FILHO, E., LACERDA, C.F., TARQUINIO-PRISCO, J., AZEVEDO NETO, A.D. & MARQUES, E.C. (2010).— Pretreatment with H₂O₂ in maize seeds: effects on germination and seedlings acclimation to salt stress. *Braz. Sco. of Plant Physiol.*, 22: 103-112.
- HARDEGREE, S.P. & EMMERICH, W.E. (1994).— Seed germination response to Polyethylene glycol (PEG) solution depth. *Seed Sci. Technol.*, 22: 1-7.
- HOUMANI, M. (1999).— Situation alimentaire du bétail en Algérie. *Institut National de Recherche Agronomique, INRAA*, 4: 35-45.
- ISSOLAH, R. & BELOUED, A. (2005). — The fodder legumes in Algeria, distribution, endemism and utilization. *Proceeding of conservation and sustainable use of dry land agrobiodiversity*. ICARDA, Aleppo, Syria, 18-21 April 2005.
- ISSOLAH, R., TAHAR, A., DERBAL, N., ZIDOUN, F., AIT MEZIANE, M.Z., OUSSADI, D., DEHILES, I., BRADAI, R., AILANE, M., TERKI, N., AZIEZ, F., ZOUAHRA, A. & DJELLAL, L. (2012).— Caractérisation écologique de l'habitat naturel du Sulla (Fabaceae) dans le Nord-Est de l'Algérie. *Rev.Ecol. (Terre et Vie)*, 67: 295-304.
- JAKAB, G., TON, J., FLORS, V., ZIMERLI, L., METRAUX, J.-P. & MAUCH-MANI, B. (2005).— Enhancing *Arabidopsis* salt and drought stress tolerance by chemical priming for its Abscisic Acid responses. *Plant Physiol.*, 139: 267-274.
- JAOUADI, W., HAMROUNI, L., SOUAYEH, N. & LARBI KHOUDJA, M. (2010).— Étude de la germination des graines d'*Acacia tortilis* sous différentes contraintes abiotiques. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 14: 643-652.
- KABAR, K. & BALTEPE, Ş. (1990).— Effect of Kinetin and Gibberellic acid in overcoming high temperature and salinity (NaCl) stress on the germination of Barley and Lettuce seeds. *Phyton (Horn, Austria)*, 30: 65-74.
- KADI, S.A., GUERMAH, H., BANNELIER, C., BERCHICHE, M. & GIDENNE, T. (2011).— Nutritive value of sun-dried Sulla (*Hedysarum flexuosum*) and its effects on performance and carcass characteristics of growing Rabbits. *World Rabbit Science*, 19: 151-159.
- KALEMBA, E. & PUKACHA, S. (2007).— Possible roles of LEA proteins and HSPs in seed protection: A short review. *Biol. Lett.*, 44: 3-16.
- KSHETRIMAYUM, E., PRASAD-SAHO, D., MITRA, J. & KUMAR-PANDA, S. (2017).— Regulation of seed germination and the role of aquaporine under abiotic stress. *Intern. J. Envir. Agricult. Biotechnol.*, 2: 607-615.
- LACHHAB, L., LOUAHLIA, S., LAAMARITI, M. & HAMMANI, K. (2013).— Effect of salt stress on germination and enzyme activity in vitro genotypes of *Medicago sativa*. *Intern. J. Innov. Appl. Stud.*, 3: 511-516.
- LEVIGNERON, A., LOPEZ, F., VANSUYT, G., BERTOMIEN, P., FOURCROY, P. & CASSE-BELBART, F. (1995).— Les plantes face au stress salin. *Cah. Agri.*, 4: 263-273.
- MAHI, Z., DEDALDECHAMP, F., MOUROUSSE, L., LEMOINE, R. & BELKHOUDJA, M. (2015).— Étude de la peroxydation lipidique (MDA) et l'activité antioxydative (POD) chez deux halophytes : *Atriplex halimus* L. et *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt sous l'effet du sel. *Intern. J. Appl. Stud.*, 10: 450-458.
- MGUI, K., ALBOUCHI, A. & BEN BRAHIM, N. (2014).— Germination response of *Corchorus olitoris* L. to salinity and temperature. *Afr. J. Agricult. Res.*, 9: 65-73.
- MICHEL, B.E. & KOFMAN, R.M. (1973).— The osmotic potential of polyethylene glycol. *Plant Physiol.*, 51: 914-916.
- MUNNS, R. (2002).— Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Envir.*, 25: 239-250.
- MUNNS, R. (2005).— Genes and salt tolerance binding them together. *New Phytol.*, 167: 645-663.
- MURTHY, S.M. & TEJAVATHI, D.H. (2016).— Effect of osmopriming on seed germination and seedling vigor in *Macrotyloma uniflorum* (LAM) VERDC. *Intern. J. Plant Anim. Envir. Sci.*, 6: 71-76.

- NASRI, S. & BENMAHIOUL, B. (2015).— Effet de la contrainte saline sur la germination et la croissance de quelques provenances Algériennes d'arganier (*Argania spinosa* L.). *Alger. J. Arid Envir.*, 5: 98-112.
- NDOUR, D. (1997).— *Comportement de quelques espèces du genre Acacia en condition de stress hydrique et salin simulé*. DEA Biologie végétale, Université Cheikh Anta-Diop, Dakar, Sénégal.
- NEFFATI, M. (1994).— *Caractérisation morphologique de certaines espèces végétales nord africaines. Implication pour l'amélioration pastorale*. PhD. Thesis, Gent University, Belgium.
- POLJAKOFF-MAYBER, A., SOLMERS, G.F., WERKER, F. & GALLAGHER, J.L. (1992).— Seeds of *Kosteletzkya virginica* (Malvaceae): their structure, germination and salt tolerance. I. Seed structure and germination. *Amer. J. Bot.*, 79: 249-254.
- REHMANE, S., HARRIS, P.J.C., BOURNE, W.F. & WILKIN, J. (1997).— The effects of sodium chloride on germinating and the potassium and calcium contents of *Acacia* seeds. *Seed Sci. Technol.*, 25: 45-57.
- REJILI, M., VANDEL, A.M. & NEFFATI, M. (2006).— Germination behavior of two populations of *Lotus creticus* under salt stress. *Rev. Régions arides*, 17: 65-78.
- REOLON, F., MARINI, P., DE MAGALES, J., DE MORAES, D.M. & DE AMARANTE, L. (2013).— Salicylic acid maize seedlings subjected to salt stress. *J. Seed Sci.*, 35: 457-465.
- SMAOUI, A. & CHERIF, A. (1986).— Effet de la salinité sur la germination des graines de cotonnier. Pp 578-585 *In* : *Colloque sur les végétaux en milieux arides*. Djerba 8-10 Septembre 1986. Faculté des Sciences de Tunis. ACCT.
- SONG, J., FENG, G., TIAN, C.H. & ZHANG, F. (2005).— Strategies for adaptation of *Suaeda physophora*, *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* to saline environment during seed germination stage. *Ann. Bot.*, 96: 399-405.
- SOSA, L., LLANES, A., REINOSO, H., REGINATO, M. & LUNA, V. (2005).— Osmotic and specific ions effects on the germination of *Prosopis strombulifera*. *Ann. Bot.*, 96: 261-267.
- TLIG, T., GORAI, M. & NEFFATI, M. (2012).— Factors influencing seed germination of *Cleome amblyocarpa* Barr. & Murb. (Capparidaceae) occurring in southern Tunisia. *Rev. Écol. (Terre et Vie)*, 67: 305-312.
- XUE, J.G., WANG, X.G., DU, X.G., MAO, P.S., ZHANG, T.J., ZHAO, L. & HAN, J. G. (2012).— Influence of salinity and temperature on the germination of *Hedysarum scoparium* Fish. & Mey. *Afr. J. Biotechnol.*, 11: 3244-3249.
- ZAAOUI, M., ABDELGUERFI-BEREKIA, R. & ABDELGUERFI, A. (1989).— Contribution à l'étude des espèces spontanées du genre *Trifolium* en Algérie. Répartition en fonction de quelques facteurs du milieu. *In* : *XVIIe Congr. Int des Herbages*. Nice.
- ZID, E. & GRIGNERON, C. (1991).— Les tests de sélection précoces pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. Pp 91-108 *in*: John Libbey (ed.). *L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides*. Ed. Eurotext, Paris.