



HAL
open science

Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de trois espèces d'Acacias en Tunisie

Wahbi Jaouadi, Kaouther Mechergui, Lamia Hamrouni, Mohsen Hanana,
Mohamed Larbi Khouja

► **To cite this version:**

Wahbi Jaouadi, Kaouther Mechergui, Lamia Hamrouni, Mohsen Hanana, Mohamed Larbi Khouja. Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de trois espèces d'Acacias en Tunisie. Revue d'Écologie, 2013, 68 (2), pp.133-141. hal-03530708

HAL Id: hal-03530708

<https://hal.science/hal-03530708v1>

Submitted on 17 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.

EFFET DES CONTRAINTES HYDRIQUE ET SALINE SUR LA GERMINATION DE TROIS ESPÈCES D'ACACIAS EN TUNISIE

Wahbi JAOUADI^{1,2,*}, Kaouther MECHERGUI^{1,3}, Lamia HAMROUNI¹, Mohsen HANANA¹
& Mohamed Larbi KHOUJA¹

SUMMARY.— *Effect of water and salt stresses on germination of some acacia species in Tunisia.*— This work has focused on the study of germination characteristics of seeds of *Acacia tortilis* (Forsk.) Hayne subsp. *raddiana* (Savi) Brenan, a species native of Tunisia, and of two introduced species : *Acacia salicina* Lindl. and *Acacia ampliceps* Maslin, reforested in arid zones of Tunisia. Germination was followed under conditions of water and salt stresses. Pre-treatments designed to remove integumentary inhibitions were applied to seeds. The germination behaviour of acacias in osmotic stress conditions showed a treatment effect, concentration of PEG 6000, highly significant on germination rate and mean time of germination. We found that these species did not tolerate drought and we observed a complete inhibition of germination at -0.8 MPa. The study of the effect of salt stress on germination showed a better tolerance of *Acacia tortilis* (Forsk.) Hayne subsp. *raddiana* (Savi) Brenan to salinity than the other two species as it germinated at high salt concentrations. Indeed, at 18 g/l the germination rate reached 32 %. We didn't find any relationship between seed germinative properties and ecology of the adult plant.

RÉSUMÉ.— Notre travail a porté sur l'étude des caractéristiques germinatives des semences d'*Acacia tortilis* (Forsk.) Hayne subsp. *raddiana* (Savi) Brenan, espèce autochtone de la Tunisie et deux espèces introduites *Acacia salicina* Lindl. et *Acacia ampliceps* Maslin qui sont utilisées en reboisement dans les zones arides de la Tunisie. La germination a été suivie en conditions de stress hydrique et salin. Des prétraitements destinés à lever les inhibitions tégumentaires ont été appliqués aux semences. Le comportement germinatif des acacias en conditions de stress osmotique a mis en évidence un effet traitement hautement significatif concernant le taux de germination et le temps moyen de germination. Nous avons révélé que ces espèces ne tolèrent pas la sécheresse et nous avons observé une inhibition totale de germination à -0.8 MPa. L'étude de la contrainte saline sur la germination a révélé une meilleure tolérance à la salinité de l'*Acacia tortilis* (Forsk.) Hayne subsp. *raddiana* (Savi) Brenan par rapport au deux autres espèces puisqu'il a germé à des concentrations élevées de sel. En effet, à 18 g/l le taux de germination atteint 32 %. Enfin nos travaux n'ont pas mis en évidence de relation entre les propriétés germinatives des semences et l'écologie de la plante au stade adulte.

Les sécheresses récurrentes et l'anthropisation croissante ont conduit à une forte dégradation des systèmes écologiques dans les zones arides et semi arides (Richard, 1990 ; Pontie

¹ Laboratoire d'Écologie et Amélioration Sylvo-pastorale, Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts (INRGREF) de Tunis, Rue Hédi Karray, B.P N°10 Ariana 2080, Tunisie

² Institut National Agronomique de Tunisie (INAT), 43, Av. Charles Nicolle, Tunis-Mahrajène 1082, Tunisie

³ Unité de Biochimie des lipides et des protéines, Faculté des Sciences de Tunis. Campus Universitaire EL Manar, Tunis 2092, Tunisie

* Auteur correspondant, Adresse actuelle : Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts (INRGREF) de Tunis, Rue Hédi Karray, B.P N°10 Ariana 2080, Tunisie. Tel : 0021671231927 ; Fax : 0021671231927. E-mail : jaouadiwahbi@yahoo.fr

& Gaud, 1992 ; Neffati & Akrimi, 1997 ; Zaâfour *et al.*, 1996) et à une salinisation des sols (Sadio, 1989 ; Szabolcs, 1992 ; Ennabli, 1995 ; Zaâfour, 1993, Hachicha, 2007). En Tunisie présaharienne, la végétation naturelle, constituée essentiellement de formations steppiques très clairsemées, est plus ou moins fortement marquée par l'emprise d'activités humaines diverses (Floret & Pontanier, 1982 ; Le Floch *et al.*, 1989). Cette dégradation du couvert végétal, imputée principalement au défrichement et au surpâturage, se traduit par des effets de plus en plus néfastes sur les plans économique et écologique. Il s'agit du phénomène de désertification. L'impact environnemental et social de la déforestation peut être en partie compensé par la plantation d'espèces ligneuses indigènes assurant la mise en place d'un système forestier pérenne et stable (Bonner, 1992). Pour mieux lutter contre ce phénomène, on doit chercher les solutions qui permettent de réhabiliter les écosystèmes naturels et de résoudre les problèmes de régénération de certaines essences forestières en zones arides. Il est important de bien maîtriser les conditions de germination et l'élevage des plants qui seront reboisés dans les sites à réhabiliter. Cependant, la germination est contrôlée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par des conditions environnementales, en particulier, par la disponibilité de l'eau dans le sol et la présence de sel (Sharma, 1973 ; Gutterman, 1993).

Ce travail a été, par conséquent, consacré à l'étude des propriétés germinatives, en condition de stress salin et hydrique, des semences d'une légumineuse autochtone pérenne *Acacia tortilis* (Forsk.) Hayne subsp. *raddiana* (Savi) Brenan et de deux espèces d'acacias exotiques *Acacia salicina* Lindl. et *Acacia ampliceps* Maslin. D'une part, nous avons comparé leur aptitude à germer en condition de contrainte hydrique ou saline. D'autre part, par ce travail, nous avons voulu déterminer si la réponse aux contraintes osmotiques appliquées au stade de la germination constituait un indicateur du comportement ultérieur de la plante sur le site de reboisement.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les trois espèces étudiées sont *Acacia tortilis*, *Acacia salicina* et *Acacia ampliceps*. Les graines d'*Acacia tortilis* proviennent du parc national de Bouhedma, Sud de la Tunisie, celles d'*Acacia salicina* et d'*Acacia ampliceps* de la région de Gabès, Sud-Est de la Tunisie. Les deux régions appartiennent aux zones arides tunisiennes.

MÉTHODES

Les protocoles expérimentaux sont adaptés de Danthu *et al.* (1992, 2003) et de Ndour (1997). Avant chaque expérimentation du stress salin ou hydrique et afin de lever les inhibitions tégumentaires, les graines ont été trempées dans l'acide sulfurique concentré (H₂SO₄ à 96 %) pendant une heure (Roussel, 1984 ; Danthu *et al.*, 1992 ; Ndour, 1997). Par la suite les graines ont été lavées à l'eau distillée pendant 15 minutes, puis traitées avec un fongicide non phytotoxique (Benlate) pendant une heure et enfin rincées avec de l'eau distillée. Les graines ont été soumises à des concentrations croissantes de chlorure de sodium (NaCl) : 0, 3, 6, 9, 12, 15 et 18 g/l.

Les contraintes hydriques ont été simulées par des solutions de Polyéthylène Glycol 6000 (PEG 6000) à des concentrations croissantes. Ces solutions ont été préparées selon l'équation de Michel & Kaufmann (1973) établissant les relations entre concentration des solutions en PEG₆₀₀₀, pression osmotique et température de la solution. Les potentiels hydriques testés ont été 0, -2, -4, -6 et -8 bars.

Un essai combinant les différents traitements a été effectué à une température de 25 °C ± 2 °C dans un incubateur de germination, à raison de 20 graines par boîte et cinq répétitions pour chaque concentration (NaCl et Potentiel hydrique). Chaque expérimentation a fait l'objet d'un suivi de la germination durant 30 jours et s'est déroulé à l'obscurité, car la germination est indifférente à la lumière (Danthu *et al.*, 2003). Ce comptage a été effectué tous les deux jours, en éliminant chaque fois les graines nouvellement germées dont la radicule perce le tégument (Come, 1970). Le dispositif expérimental a été conduit avec un arrangement aléatoire des répétitions. Les essais ont été croisés.

Pour l'établissement des résultats, nous nous sommes référés aux définitions suivantes. Le Taux de Germination TG (%) est le pourcentage des semences capables de germer dans les conditions de l'expérimentation. Le Temps Moyen de Germination TMG (jours) est le délai moyen mis par les semences pour germer. Enfin, le Coefficient de Vitesse CV de Kotowski (1926) est calculé comme suit : $CV = 100 \sum ni / \sum (ni Ji)$, ni étant le nombre de graines germées le jour ji et Ji étant le nombre de jour variant de 1 à 30.

ANALYSE STATISTIQUE

Les données relatives à chaque traitement ont fait l'objet d'une analyse de variance à un facteur de classification selon la procédure ANOVA du programme SAS puis, si nécessaire, un classement des moyennes à l'aide du test de Newman-Keuls. Il s'agit, selon le traitement, de l'effet concentration en NaCl et de l'effet concentration en PEG₆₀₀₀. Auparavant, les taux de germination ont été transformés en données angulaires qui ont été soumises à l'ANOVA.

RÉSULTATS

EFFET DE LA SALINITÉ SUR LA GERMINATION

Influence du NaCl sur le taux et le temps moyen de germination

La Figure 1, représentant l'évolution des taux et des temps moyens de germination en fonction des concentrations croissantes du NaCl, montre que l'augmentation du stress salin entraîne une réduction non seulement des taux de germination mais aussi de la vitesse de germination chez les trois espèces d'acacias. *A. tortilis* subsp. *raddiana* s'est avéré très résistant au stress salin. Sa germination s'est révélée la moins perturbée par la présence de sel et s'est poursuivie à des concentrations élevées de NaCl (de 15 à 18 g/l). *Acacia ampliceps* a montré la plus grande sensibilité au sel. Le taux de germination relatif de cette espèce chute significativement dès la plus faible concentration (3 g/l) (Fig. 1).

L'analyse de la variance montre également un effet traitement hautement significatif sur le taux de germination, le temps moyen de germination et le coefficient de vélocité ($P < 0,0001$). Il existe, aussi une interaction traitement-espèce hautement significative sur la germination et le temps moyen de germination ($P < 0,0001$).

D'une façon générale, l'augmentation de la concentration en sel réduit le taux de germination et retarde le délai moyen de germination. Les graines d'*Acacia tortilis* tolèrent la salinité jusqu'à une concentration de 12 g/l, alors qu'à partir de 15 g/l, le taux de germination se trouve affecté. En revanche, le temps moyen de germination s'accroît (Fig. 1).

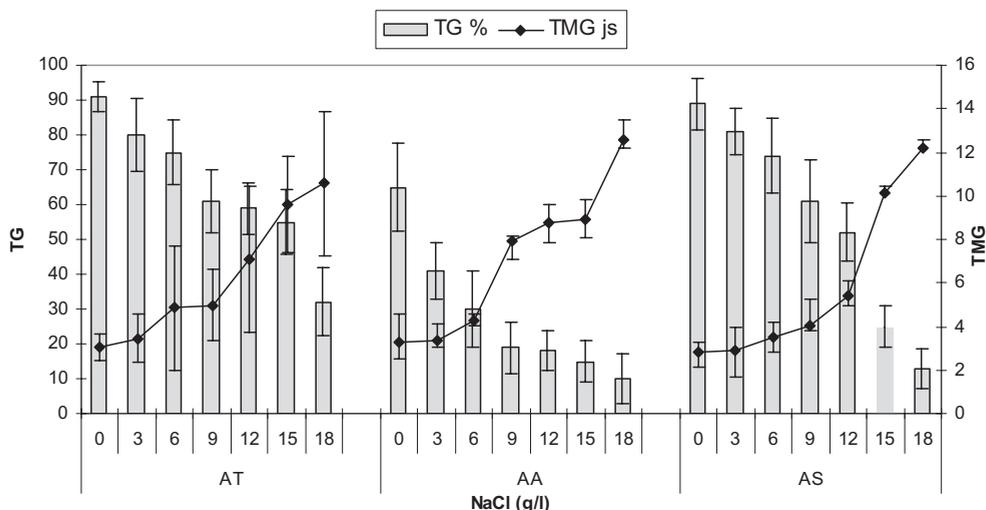


Figure 1.— Influence des concentrations de NaCl sur le taux et le temps moyen de germination, exprimée par rapport au témoin, des semences de trois espèces d'acacias (AT : *A. tortilis*, AS : *A. salicina* et AA : *A. ampliceps*). Effect of NaCl concentration on the rate and the average time of germination, expressed relative to control, of the seeds of three species of Acacia (AT : *A. tortilis*, AS : *A. salicina* and AA : *A. ampliceps*).

Cinétique de la germination

La cinétique de la germination des graines sous l'effet des concentrations croissantes du sel (de 3 à 18 g/l), exprimée par rapport au témoin, est illustrée par les courbes de la Figure 2. L'analyse de cette cinétique montre chez les trois espèces une première phase de latence, due à l'imbibition des graines, une deuxième phase linéaire où on assiste à une accélération de la germination, et enfin une troisième phase caractérisée par un palier indiquant une phase de stabilité de germination.

Le taux de germination diminue progressivement et confirme l'effet dépressif de NaCl sur la germination des espèces étudiées, notamment celui correspondant à la plus forte dose (Fig. 2).

La cinétique de germination des trois espèces d'*Acacia*, pour les différents milieux d'incubation caractérisée par des concentrations croissantes en NaCl allant de 3 à 18 g/l en comparaison avec le milieu témoin (eau distillée), est représenté par la Figure 2. Le temps de latence varie avec les espèces mais augmente en fonction de la concentration de NaCl. En outre, le démarrage de la germination était précoce et rapide sous des faibles concentrations de NaCl. À une concentration saline de 12g/l, seul *Acacia tortilis* a un taux de germination élevé qui atteint 40 % (Fig. 2).

EFFET DU STRESS HYDRIQUE SUR LA GERMINATION

Influence du stress hydrique sur le taux de germination et le temps moyen de germination

Les résultats représentés Figure 3 correspondent aux taux de germination cumulés. Le potentiel osmotique de -8 bars correspond au point au-delà duquel l'espèce ne parvient plus à extraire l'eau : sa capacité germinative devient pratiquement nulle. Les trois espèces étudiées se sont montrées sensibles au stress osmotique en phase germinative.

Ces résultats sont confirmés par l'analyse de la variance. Il existe un effet traitement (pression osmotique) hautement significatif sur le taux de germination, le temps moyen de germination et le coefficient de vélocité ($P < 0,0001$), et un effet significatif sur le taux et le temps moyen de germination ($P = 0,014$) en fonction de l'espèce. Il existe aussi une interaction traitement-espèce hautement significative sur la germination et le temps moyen de germination ($P < 0,0001$).

Lorsque le potentiel hydrique des solutions d'imbibition a été abaissé par l'adjonction de PEG, la germination d'*Acacia tortilis* et d'*Acacia ampliceps* a été significativement affectée ($P < 0,0001$). À une pression inférieure à -2 bars, des différences de sensibilité apparaissent entre les espèces ce qui permet de les classer selon la séquence de sensibilité décroissante suivante : *Acacia ampliceps* > *Acacia tortilis* > *Acacia salicina*.

Cinétique de la germination

La cinétique de germination en condition de stress osmotique est représentée par la Figure 4. Elle reflète la sensibilité des espèces au stress hydrique. Sur un milieu témoin, on observe les courbes classiques de cinétique de germination à trois phases : latence, accélération et capacité germinative maximale. L'effet dépressif du déficit hydrique sur la germination se manifeste au cours de l'une ou de l'ensemble de ces trois phases, selon le degré d'abaissement du potentiel hydrique. Pour des potentiels compris entre -2 et -6 bars, cet effet se traduit par la diminution du taux de germination (Fig. 4).

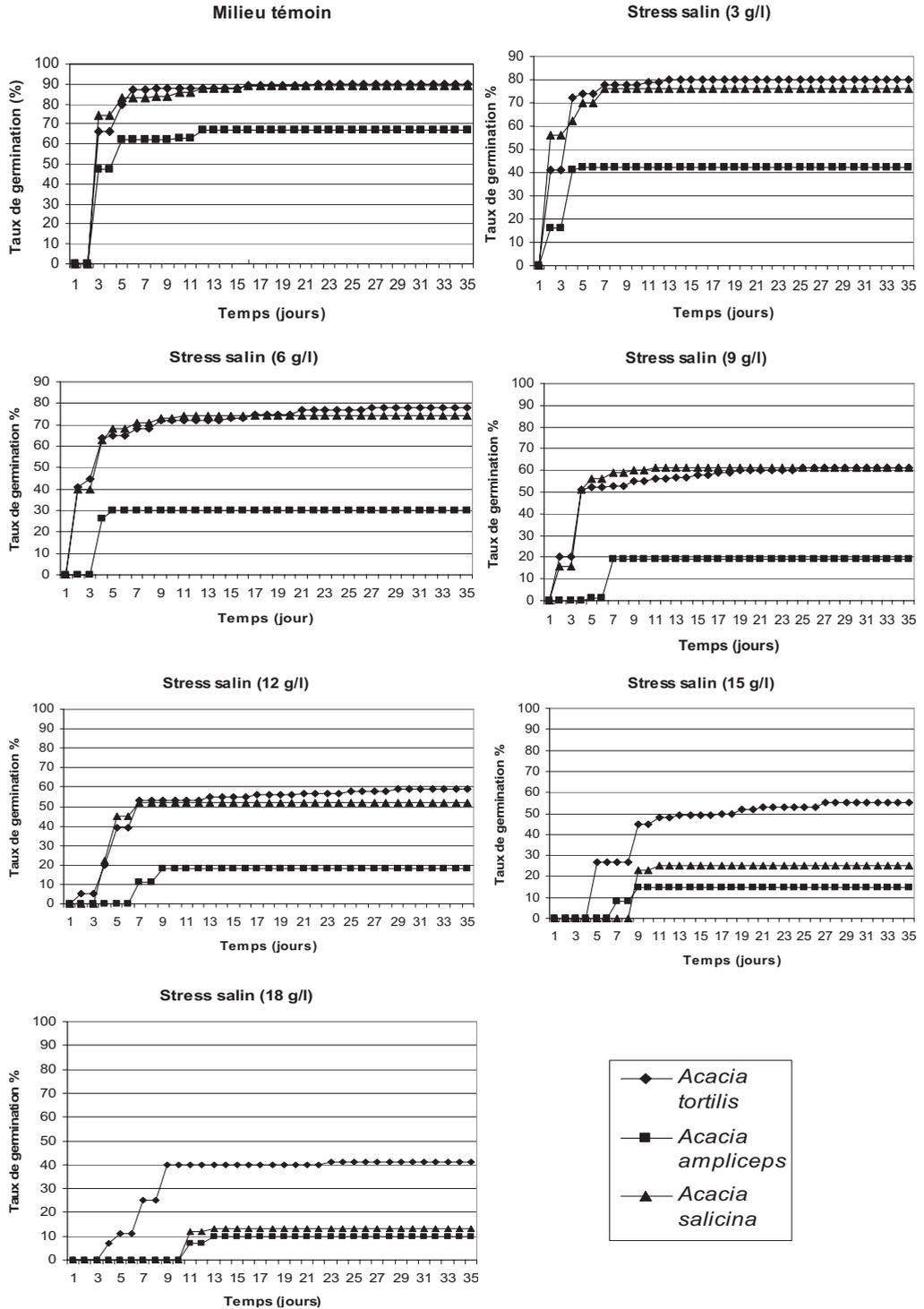


Figure 2.— Cinétique de germination de trois espèces d’acacias (*A. tortilis*, *A. salicina* et *A. ampliceps*) pour chaque concentration de NaCl (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 g/l). Kinetics of germination of three species of acacia (*A. tortilis*, *A. salicina* and *A. ampliceps*) for each concentration of NaCl (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 g/l).

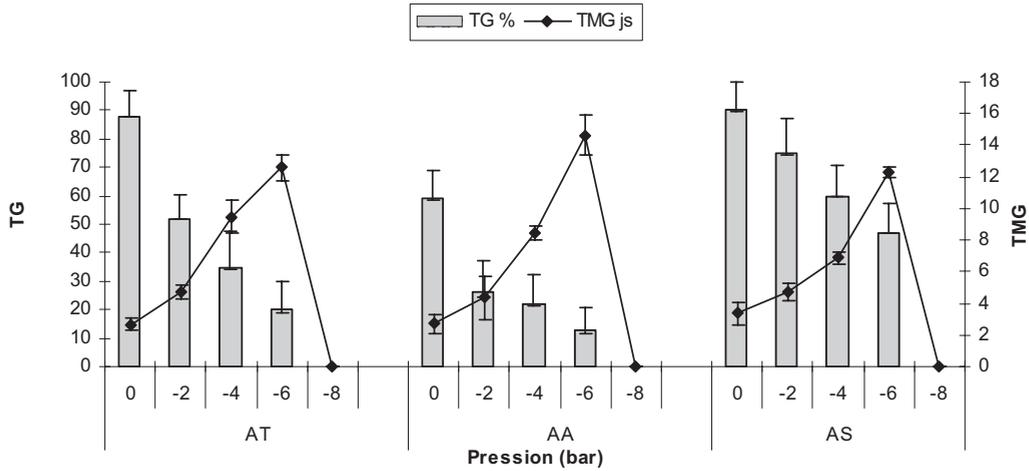


Figure 3.— Influence des pressions osmotiques sur le taux de germination et le temps moyen de germination des semences de trois espèces d'acacias (AT : *A. tortilis*, AS : *A. salicina* et AA : *A. ampliceps*), exprimée par rapport au témoin. Influence of osmotic pressure on germination rate and the average time of seed germination of three species of *Acacia* (AT : *A. tortilis*, AS : *A. salicina* and AA : *A. ampliceps*), expressed relative to control.

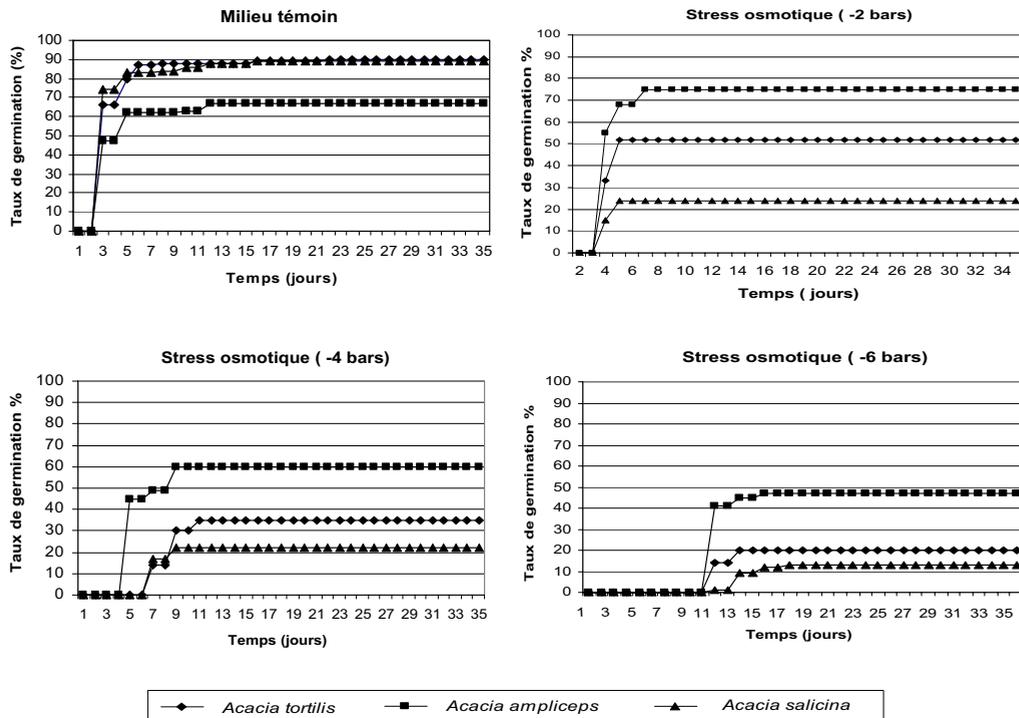


Figure 4.— Cinétique de germination de trois espèces d'acacias (*A. tortilis*, *A. salicina* et *A. ampliceps*) pour chaque pression osmotique (0, -2, -4, -6 bars). Kinetics of germination of three species of *Acacia* (*A. tortilis*, *A. salicina* and *A. ampliceps*) for each osmotic pressure (0, -2, -4, -6 bar).

DISCUSSION

Acacia tortilis subsp. *raddiana* tolère la salinité jusqu'à une concentration très élevée qui atteint 18 g/l, en comparaison avec *A. salicina* et *A. ampliceps*. Ces résultats corroborent ceux de Danthu *et al.* (2003) et celui de Ndour et Danthu (1998). Ces auteurs ont montré qu'*A. raddiana* était, parmi les acacias africains, l'espèce la moins perturbée par la présence du sel. Cependant, les valeurs limites sont très supérieures à celles publiées par Totey *et al.*, (1987) pour *Acacia auriculiformis* dont la germination est réduite dès que la concentration saline atteint 4,6 g/l et par Kayani *et al.*, (1990) qui ont noté une réduction de 50 % de la capacité germinative à 5 g/l, chez le jojoba.

Le retard de germination engendré par les concentrations croissantes en sel du milieu de germination résulterait d'une difficulté d'hydratation des graines sous potentiel osmotique élevé. Il semble représenter le temps nécessaire à la graine pour mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne (Ben Miled *et al.*, 1986 ; Smaoui & Chérif, 1986).

Il n'existe pas de relation claire entre la tolérance à la salinité au moment de la germination et l'écologie de chaque espèce. En effet, Neffati (1994) a signalé que la connaissance de la tolérance à la salinité au moment de la germination était une information utile mais non suffisante pour expliquer la distribution des espèces et leur développement dans les milieux salés.

Les résultats relatifs à l'effet du stress hydrique sur la germination montrent que les semences d'*A. salicina* sont moyennement tolérantes au stress hydrique par rapport à *A. tortilis* et *A. ampliceps*. La valeur limite du potentiel pour laquelle la quasi-totalité des graines n'a plus germé se situe au-delà de -6 bars. Plus la pression osmotique est élevée plus le taux de germination diminue et plus le temps moyen de germination augmente. Les valeurs mesurées sont beaucoup plus proches que celles données dans la littérature pour différentes espèces de zones sèches. Dans ce sens, Singh *et al.* (1991) ont montré que les graines de nombreuses espèces d'acacias utilisées en Inde ne germent pas dès que le potentiel hydrique atteint -0,9 ou -1,2 MPa. La germination d'*Acacia tortilis* et d'*Acacia karroo* est nulle pour une pression de -0,8 MPa (Choinsky & Tuohy, 1991). Celle d'*Atriplex vesicaria* et d'*Atriplex nummularia* est inhibée lorsque la pression atteint -0,2 ou -0,4 MPa (Sharma, 1973). Les seuils obtenus par Sy (1995) sur différentes légumineuses sahéliennes sont même moins faibles que ceux que nous avons mesurés chez l'acacia. En effet, cet auteur (Sy, 1995) a montré qu'aucune graine ne peut germer pour un potentiel hydrique inférieur à -1,44 MPa. Nos résultats ne sont en accord ni avec ceux obtenus par Grouzis *et al.* (1986) sur diverses espèces sahéliennes ni avec ceux de Danthu *et al.* (2003) et Ndour & Danthu (1998) qui ont montré que la germination d'*Acacia raddiana* était possible sous de plus fortes contraintes hydriques (-2.1 MPa) que celles mesurées pour d'autres espèces d'acacias (non compris les deux autres espèces testées au cours de cette étude).

Cette étude a permis de constater que *Acacia salicina* et *Acacia ampliceps* étaient peu exigeants en eau en phase germinative. Toutefois, ceci ne signifie pas nécessairement que les espèces tolérantes au stress hydrique au cours de la germination sont celles qui sont les plus adaptées à la sécheresse au stade adulte (Mc Ginnies, 1960). En effet, bien qu'elle représente l'un des facteurs importants dans l'écologie de l'espèce (Mc William *et al.*, 1970, Boydston, 1989), la tolérance au stress hydrique au moment de la germination constitue, selon les conditions qui suivent cette première phase du cycle végétatif, soit un avantage, soit un inconvénient pour la phase plantule et n'est pas obligatoirement représentative de l'écologie de la plante adulte (Grouzis, 1987 ; Le Floc'h *et al.*, 1989 ; Ndour & Danthu, 1998 ; Sharma, 1973 ; Sy *et al.*, 2001). Enfin, nous pouvons confirmer qu'*Acacia tortilis* présente un avantage au stade de germination par le développement rapide de ses racines dès la phase de croissance pour chercher l'eau en profondeur et résister au stress hydrique.

CONCLUSION

L'étude des caractéristiques germinatives d'*Acacia tortilis*, *Acacia salicina* et *Acacia ampliceps* a permis de constater que l'essence autochtone (*Acacia tortilis*) restait la plus tolérante au stress salin pendant la germination. En revanche, *Acacia salicina* a présenté une résistance remarquable vis-à-vis du stress hydrique par comparaison à *Acacia tortilis* et à *Acacia ampliceps*. Par contre, à une pression hydrique de -8 bars, les taux de germination de toutes ces espèces deviennent nuls. Si certains travaux ont mis en évidence une relation entre les propriétés germinatives des semences et l'écologie de la plante adulte, tel n'est pas le cas de nos résultats. *Acacia tortilis*, *Acacia salicina* et *Acacia ampliceps* s'avèrent en effet sensibles au stress hydrique durant leur phase germinative alors que ces mêmes espèces se révèlent adaptées aux zones semi arides.

RÉFÉRENCES

- BEN MILED, D., BOUSAID, M. & ADLKEFFI, A. (1986).— Tolérance au sel d'espèces annuelles du genre *Medicago* au cours de germination. Pp 586-593 in : *Actes du Colloque sur les végétaux en milieu aride*. Djerba 8-10 sept. Fac. Sci. de Tunis. ACCTT.
- BONNER, F.T. (1992).— Seed technology: a challenge for tropical forestry. *Tree Planter's Notes*, 43 : 42-145.
- BOYDSTON, R.A. (1989).— Germination and emergence of longspine sandbur (*Cenchrus longispinus*). *Weed science*, 37 : 63-67.
- CHOINSKY, J.S. & TUOHY, J.M. (1991).— Effect of water potential and temperature on the germination of four species of African savanna trees. *Ann. Bot.*, 8 : 227-233.
- DANTHU, P., ROUSSEL, J., DIA, M. & SARRA, A. (1992).— Effect of pretreatment on the germination of *Acacia senegal* seeds. *Seed Sci. and Technol.*, 20 : 111-117.
- DANTHU, P., ROUSSEL, J. & NEFFATI, M. (2003).— La graine et la germination d'*Acacia raddiana*. Pp 265-283 in : M. Grouzis & E Le Floc'h (ed.). *Un arbre du désert Acacia raddiana*. IRD Editions, Paris.
- ENNABLI, N. (1995).— *L'irrigation en Tunisie*. Tunis : INAT-DGREF.
- FLORET, C. & PONTANIER, R. (1982).— *L'aridité en Tunisie présaharienne*. Travaux et doc ORSTOM, Paris n° 150.
- GROUZIS, M. (1987).— *Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d'Oursi, Burkina Faso)*. Thèse d'Etat, Université de Paris Sud, Centre d'Orsay.
- GROUZIS, M., LEGRAND, E. & PALE, F. (1986).— Germination des semences des régions semi-arides du Sahel. Pp 534-552 in : *Actes du Colloque sur les végétaux en milieu aride* », Djerba 8-10 sept. Fac. Sci. de Tunis. ACCTT.
- GUTTERMAN, Y. (1993).— Strategies of dispersal and germination in plants inhabiting deserts. *Bot. Rev.*, 60 : 373-425.
- HACHICHA, M. (2007).— Les sols salés et leur mise en valeur en Tunisie. *Sécheresse*, 18 : 45-50.
- KAYANI, S.A., NAQVI, H.H. & TING, P. (1990).— Salinity effects on germination and mobilisation of reserves in jojoba seeds. *Crop. Sci.*, 30 : 704-708.
- KOTOWSKI, F. (1926).— Temperature relations to germination of vegetable seeds. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 23 : 176-184.
- LE FLOC'H, E., SCHOENENBERGER, A., NABLI, M.A. & VALDEYRON, G. (1989).— Biologie et écologie des principaux taxons. Pp 51-193 in : *Essai de synthèse sur la végétation et la phyto-écologie tunisienne : I. Eléments de botanique et de phytoécologie*.
- MCGINNIES, W.J. (1960).— Effects of moisture stress and temperature on germination of six range grasses. *Agronom. J.*, 52 : 159-162.
- MCWILLIAM, J.R., CLEMENTS, R.J. & DOWLING, P.M. (1970).— Some factors influencing the germination and early seedling development of pasture plants. *Aust. Jour. Agric. Res.*, 21 : 19-32.
- MICHEL, B.E. & KAUFMAN, R.M. (1973).— The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiol.*, 51 : 914-916.
- NDOUR, P. (1997).— *Comportement de quelques espèces du genre Acacia en condition de stress hydrique et salin simulé*. DEA Biologie végétale, Université Cheikh Anta Diop, Dakar.
- NDOUR, P. & DANTHU, P. (1998).— Effet des contraintes hydriques et salines sur la germination de quelques acacias africains. Pp 105-122 in : C. Campa, C. Grignon, M. Gueye & S. Hamon (eds). *Colloques et séminaires : l'acacia au Sénégal*. Edition Orstom, Paris.
- NEFFATI, M. (1994).— *Caractérisation morpho-biologique de certaines espèces végétales Nord Africaines : Implication pour l'amélioration pastorale*. Thèse de doctorat (Ph.D.) en Science Biologique Appliquées, Section Agronomie. Univ. Gent. Belgique.
- NEFFATI, M. & AKRIMI, M. (1997).— Études des caractéristiques germinatives des semences de quelques légumineuses spontanées de la Tunisie steppique. *Rev. Rég. Arides*, NS : 272-287.
- PONTIE, G. & GAUD, G. (1992).— *L'environnement en Afrique*. Afrique contemporaine, Paris.

- RICHARD, J.F. (1990).— *La dégradation des paysages en Afrique de l'Ouest*. Aupelf, UICN, Orstom, Enda, Dakar.
- ROUSSEL, J. (1984).— *Germination des semences forestières : utilisation de l'acide sulfurique en traitement des principales espèces sahéliennes, soudano sahéliennes et exotiques* Fiche technique n° 3. CNRFISRA, Dakar.
- SADIO, S. (1989).— *Pédogenèse et potentialités forestières des sols sulfatés acides salés des tannes du Sine Saloum, Sénégal*. Land bouw universiteit, Wageningen.
- SHARMA, M.L. (1973).— Simulation of drought and its effect on germination of five pasture species. *Agronom. J.*, 65 : 982-987.
- SINGH, C., KHAJURIA, H.N., SINGH, A. & SHARMA, F. (1991).— Acacias for arid regions. *Acta Bot. Indica*, 19 : 29-32.
- SMAOUI, A. & CHÉRIF, A. (1986).— Effet de la salinité sur la germination des graines de cotonnier. In : *Actes du Colloque sur les végétaux en milieu aride*. Djerba 8-10 sept. Fac. Sci. de Tunis. ACCTT.
- SY, A. (1995).— *Étude de trente-quatre légumineuses herbacées du Sénégal : germination des graines et caractérisation de leurs micro-organismes symbiotiques*. DEA biologie Végétale, Université Cheikh Anta Diop, Dakar.
- SY, A., GROUZIS, M. & DANTHU, P. (2001).— Seed germination of seven sahelian leguminous species. *J. Arid Envir.*, 49 : 875-882.
- SZABOLCS, I. (1992).— Salinisation of soil and water and its relation to desertification. *Desertification Control Bulletin*, 21 : 32-37.
- TOTEY, N.G., KULKARNI, R., BHOWMIK, A.K., KHATRI, P.K., DAHIA, V.K. & PRASAD, A. (1987).— Afforestation of salt affected wasteland 1-Screening of forest tree species of Madhya Pradesh for salt tolerance. *Indian Forester*, 113 : 805-815.
- ZAÂFOURI, M.S. (1993).— *Contraintes du milieu et réponses de quelques espèces arbustives exotiques introduites en Tunisie présaharienne*. Thèse de doctorat : Université de Droit, d'Économie et des Sciences, Aix-Marseille (France).
- ZAÂFOURI, M.S., ZOUAGHI, M., AKRIMI, N. & JEDDER, H. (1996).— La forêt steppe à *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* var. *raddiana* de la Tunisie aride : dynamique et évolution. Pp 285-291 In : *Séminaire international, Acquis scientifiques et perspectives pour un développement durable des zones arides*, 1996, Djerba, Tunisie.

ÉTUDE DES SECTEURS ÉCOLOGIQUES, DU MILIEU PHYSIQUE ET DES CARACTÉRISTIQUES DE PRODUCTION DE LA STEPPE ARBORÉE À *ACACIA TORTILIS* DANS LE PARC NATIONAL DE BOUHEDMA (TUNISIE MÉRIDIONALE)

Wahbi JAOUADI¹, Kaouther MECHERGUI¹, Ghazi GADER² & Mohamed Larbi KHOUJA¹

SUMMARY.— *Ecology, physical and production characteristics of the steppe with Acacia tortilis in the Bouhedma national park (Tunisia southernmost).*— The present study was conducted in the Bouhedma national park and its surroundings, located in the arid area of Tunisia and considered a Biosphere reserve by UNESCO in 1977; it is a protected area with special ecological characteristics and an important dynamics of space occupation. The park contains the only wooded steppe with *Acacia tortilis* (Forsk.) Hayne subsp *raddiana* (Savi.) Brenan var. *raddiana* Brenan in Tunisia. With the aim of safeguarding and management of the park, a better knowledge of the distribution patterns and dynamics of the vegetation of this zone makes it possible to consider programmes of restoration and sustainable management of the natural environment. Based on the interpretation of remote sensing data and use of SIG, the study was devoted to the elaboration of charts relating to the ecological systems present in 2005, and to the distribution of the steppe with *Acacia tortilis* according to physical factors such as slope, altitude, type and depth of the soil. Also, the production of seeds was studied to explain the effect of physical factors on the regeneration of the species. The analysis of soil occupation dynamics translates into a good distribution (7056 ha) of steppe with *Acacia tortilis*. The study shows that *Acacia tortilis* is located on 6242 ha at an altitude of 20 m to 150 m and on 814 ha at an altitude from 150 to 250 m. This species grows on 5815 ha with a weak slope (0 to 3 %), on 928 ha with a slope of 3 to 5 % and only on 313 ha with a slope > 5 %. The results show that the *Acacia tortilis* is regenerated on the not very advanced soil of hydrous contribution with a surface of 3832 ha, on rendzina with 1280 ha, the isohumic soil with a surface of 986 ha. *Acacia tortilis* colonizes the far from deep soil with a surface of 2796 ha, the fairly deep soil with a surface of 2175, the very deep soil with a surface of 1970 ha, the not very deep soil with a surface of 75 ha and the deep soil with a surface of 40 ha.

RÉSUMÉ.— La présente étude a été effectuée dans le parc national de Bouhedma situé dans les zones arides tunisiennes et considéré comme une réserve de la biosphère de l'Unesco dès 1977. Le parc abrite l'unique steppe arborée à *Acacia tortilis* (Forsk.) Hayne subsp *raddiana* (Savi.) Brenan var. *raddiana* Brenan en Tunisie. L'étude a été consacrée, grâce à l'interprétation des données de la télédétection et l'utilisation des SIG, à l'élaboration des cartes relatives aux systèmes écologiques présents en 2005 et aux facteurs physiques du milieu (pente, altitude, type du sol, profondeur du sol). L'analyse du système écologique montre que la dynamique de l'occupation des sols se traduit par une bonne répartition de steppe arborée à *Acacia tortilis* avec une superficie de 7056 ha. L'étude montre qu'*Acacia tortilis* se localise sur 6242 ha à une altitude de 20 m à 150 m et sur 814 ha à une altitude de 150 à 250 m. Cette espèce pousse sur 5815 ha avec une faible pente (0 à 3 %), sur 928 ha avec une pente de 3 à 5 % mais seulement sur 313 ha avec une pente > 5 %. Les résultats montrent qu'*Acacia tortilis* se régénère fortement sur les sols peu évolués d'apport hydrique et sur les sols très peu profonds à profonds.

¹ Institut National des Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts (INRGREF). Rue Hédi Karray-B.P. 10. Ariana 2080. Tunisie. E-mails : jaouadiwahbi@yahoo.fr ; kaouther_mechergui@yahoo.fr ; khouja.medlarbi@iresa.agrinet.tn

² Direction Générale des Forêts. Tunisie. E-mail : gader.ghazi@gmail.com

* Auteur pour correspondance. Tél. : 0021698449045

À l'époque romaine, plusieurs auteurs ont signalé que tout le Sud tunisien était couvert de gommiers. Cependant l'exploitation exagérée de ce dernier, de 1881 à 1986, a été à la base de sa destruction et de sa raréfaction (Pélissier, 1853). Ces ressources à base d'*Acacia tortilis* (Forsk.) Hayne subsp *raddiana* (Savi.) Brenan var. *raddiana* Brenan, exploitées anarchiquement depuis le début du XIX^{ème} siècle (Pélissier, 1853 et Doument-Adanson, 1874), sont aujourd'hui un enjeu considérable en raison de la fragilité du milieu, de la résilience faible de l'écosystème et de la pression forte qu'il subit. L'action des facteurs anthropiques (coupe, pacage, labour, etc.) sur cet écosystème forestier unique, constitué essentiellement par *Acacia tortilis* qui persiste encore en Tunisie sous des précipitations comprises entre 100 et 200 mm/an, est plus ou moins accentuée par le compactage des sols, le faible taux de graines saines (Zaâfour *et al.*, 1996) et leur faible taux de germination (Neffati & Akrimi, 1996). La réussite de ces actions exige que les écosystèmes concernés ne se trouvent pas dans un état de dégradation qui empêche leur régénération. Pour faire face à la dégradation quantitative et qualitative des ressources génétiques du pays, limiter les effets des différentes contraintes et perturbations sur à la fois le couvert végétal et le milieu physique et favoriser les possibilités d'auto-régénération du milieu naturel, la Tunisie a créé un ensemble de parcs nationaux localisés au niveau des différentes zones bioclimatiques (Karem *et al.*, 1993 ; Schoenenberger, 1987, 1991). Actuellement, l'*Acacia* n'est plus présent que le long de la route Gabès - Gafsa (quelques pieds) et dans le parc national de Bouhedma où l'espèce est considérée comme caractéristique de la région (Abdallah *et al.*, 1996 ; Zaâfour *et al.*, 1996). Considéré comme étant la seule aire protégée à steppe arborée à base d'*Acacia tortilis*, le parc national de Bouhedma constitue un milieu de refuge unique pour les espèces végétales et animales des zones arides menacées d'extinction. La réalisation d'un plan de gestion durable des ressources naturelles du parc repose sur la bonne connaissance des potentialités et du fonctionnement des écosystèmes existants : c'est dans ce contexte que ce travail a été mené au niveau du parc national de Bouhedma pour en cartographier et caractériser les systèmes écologiques et physiques.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

CARACTÉRISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le Parc national de Bouhedma est situé en Tunisie méridionale (Fig. 1) et couvre une superficie totale de 16 448 ha (Karem, 2001) et comporte trois zones de protection intégrale. L'altitude du Jbel Bouhedma est de 840 m et son versant nord, en très forte pente, constitue une limite naturelle rendant l'accès très difficile (Karem, 2001) alors que ses autres limites sont fondées à la fois sur la présence de peuplements d'*Acacia tortilis* et sur les limites du titre foncier détenu par l'État. Du point de vue du climat (Fig. 2), le parc se situe entre les étages bioclimatiques aride inférieur tempéré et aride inférieur doux. La pluviométrie moyenne varie en fonction de la géomorphologie de la région puisqu'elle passe de 150 mm en plaine à 300 mm au sommet des montagnes.

APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Les cartes utilisées sont essentiellement des images Landsat de 30 mètres de résolution spatiale acquises en septembre 2005. Ces images ont été préalablement mosaïquées, géoréférencées, géométriquement corrigées et rehaussées. D'autres cartes de type topographique au 1/25 000 ont été également utilisées pour la localisation des relevés de végétation et les profils du sol. ArcView et Erdas Imagine sont les logiciels utilisés pour réaliser l'ensemble des traitements spatiaux relatifs à cette étude.

Élaboration de la carte pédologique

Pour élaborer la carte pédologique de la zone d'étude, nous avons adopté une approche méthodologique reposant sur l'utilisation du processus de la classification spectrale d'image satellite (Landsat, mars 2005) tout en essayant de regrouper les pixels selon leur ressemblance spectrale pour former des classes pédologiques homogènes. Dans ce travail, les unités pédologiques ont été dégagées sur la base d'une classification non supervisée tout en ignorant les informations dont on dispose sur la zone d'étude. Ceci a permis d'avoir une esquisse cartographique préparatoire couvrant toute la zone d'étude qui facilite l'orientation des choix des sites de prospection du terrain. Nous avons procédé par la suite à la vérification de terrain. Pour vérification et correction on a utilisé les cartes pédologiques suivantes :

- La carte pédologique au 1/100 000, élaborée par Floret *et al.* (1978) ;
- La carte de reconnaissance du sol de la région de Ségui au 1/100 000, réalisée par Langle (1959) ;
- L'information a été renforcée par la prospection de 120 sites de terrain où on a effectué des profils pédologiques et des prélèvements d'échantillons des sols pour leurs caractérisations physico-chimiques et l'identification du type de sol.

Suite à ces opérations et selon la classification française des sols (CPCS) on a obtenu une carte pédologique couvrant toute la zone d'étude.

Élaboration de la carte de profondeur du sol

En se basant sur la carte pédologique et selon les 120 sites prospectés et les profils pédologiques qui ont été réalisés, on a obtenu une carte de profondeur du sol couvrant toute la zone d'étude.

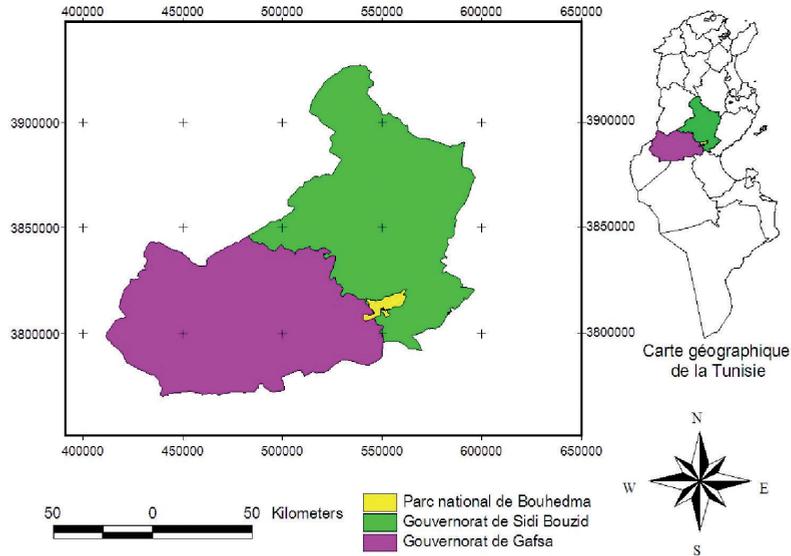


Figure 1.— Emplacement géographique du parc national de Bouhedma (Jaouadi, 2011).

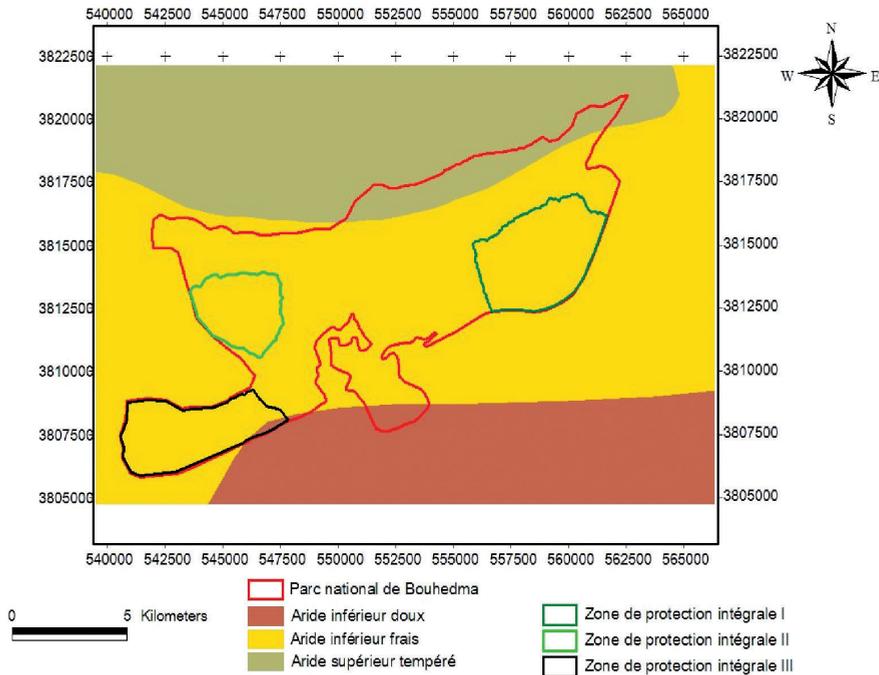
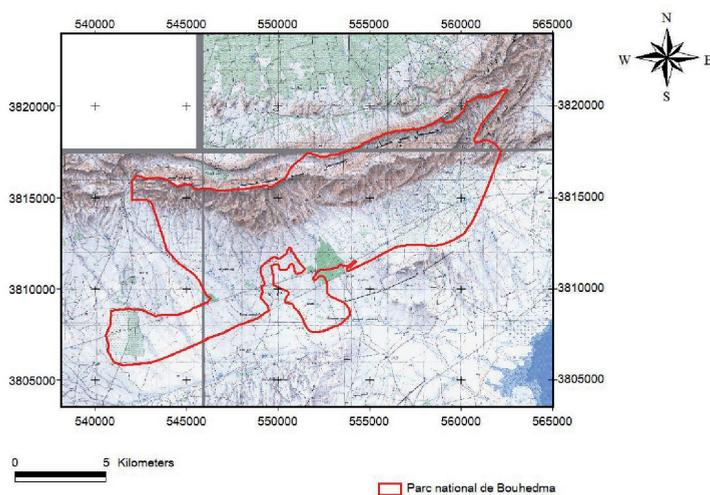
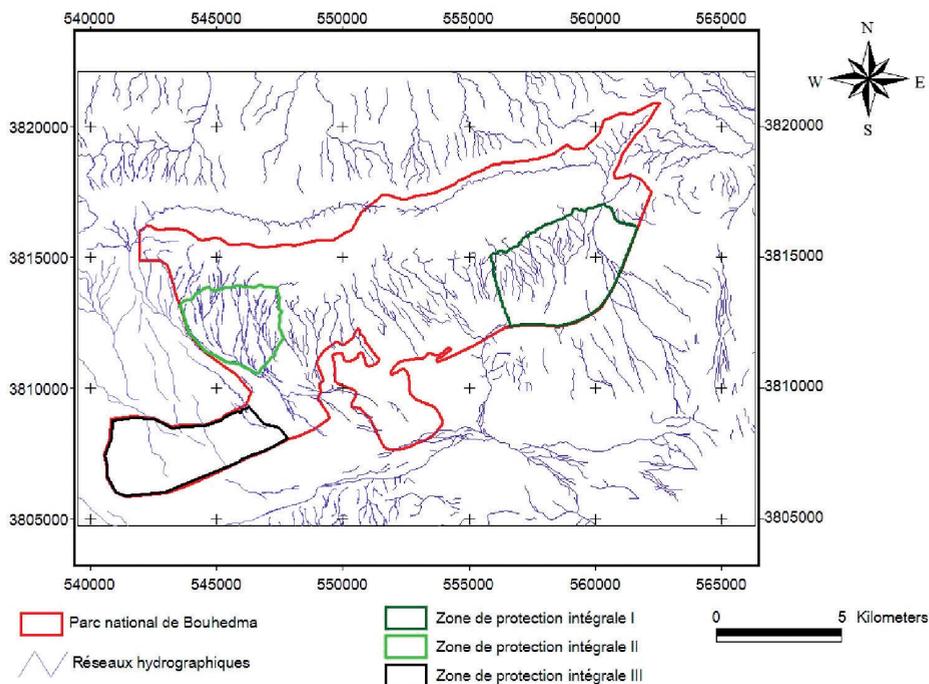


Figure 2.— Localisation du parc national de Bouhedma et ses alentours sur la carte bioclimatique (Jaouadi, 2011).

Élaboration de la carte d'altitude et de la carte de pente

Le géoréférencement et la mosaïque des feuilles topographiques d'El Mknassi, Sidi Mansour, Bouhedma, Bel Khir, As sned et El Mazouna au 1/50 000 publiées par l'OTC Tunis en 1974 (Fig. 3 & 4), nous ont permis la digitalisation du réseau hydrographique et des courbes de niveaux et la délimitation de la zone d'étude. En outre, les études pédologiques précédentes et les techniques adoptées qui ont intéressé cette zone ont servi de base et de support pour la réalisation de la carte morphologique. Pour réaliser la carte d'altitude et de la pente, on s'est basé sur les informations brutes ou dérivées du MNT généré des courbes de niveau des cartes topographiques au 1/50 000 de la zone d'étude. La méthodologie adoptée est celle qui intègre les cartes topographique et de pentes, dérivées du MNT brut en vue de construire une carte de relief.



Élaboration de la carte du couvert végétal

Dans un premier temps une classification non supervisée a été mise en œuvre afin d'obtenir une première localisation des secteurs écologiques. L'intérêt de cette approche permet d'avoir non seulement une idée sur l'état du couvert végétal mais aussi sur la diversité paysagère du terrain (cette approche a permis également de mieux disposer les relevés floristiques sur le terrain). Les mesures du recouvrement réalisées sur le terrain ont été plutôt basées sur l'utilisation de la méthode des points quadrats (Daget & Poissonet, 1971). Cette méthode de mesure quantitative du recouvrement de la végétation est aisément reproductible d'un endroit à un autre. Son principe de base est d'effectuer des observations à intervalles réguliers le long d'un transect linéaire. Le choix de la station écologique est basé sur le critère d'homogénéité de la végétation (composition floristique et conditions écologiques) ainsi que sur les travaux de Schoenenberger (1987, 1991). La longueur du relevé est fixée à 20 m. Celle-ci a permis de noter toutes les espèces présentes dans la station écologique considérée. Pour chaque relevé, les observations ont été notées chaque 10 cm pour obtenir 120 points de contact. 120 relevés de végétation ont été exécutés. Pour chaque relevé linéaire, les coordonnées géographiques ont été notées on utilisant une carte topographique à 1/25 000. La composition floristique de chaque relevé est notée dans une fiche technique. Ces relevés floristiques ont été utilisés pour valider l'ensemble des unités homogènes déduites par la classification non supervisée. Cette approche est une étape majeure dans la validation de la répartition spatiale de l'*Acacia tortilis*.

Estimation de la production en graines

Un échantillonnage systémique a été réalisé à partir de la répartition des peuplements dans le parc national de Bouhedma en fonction de toutes les classes de diamètre considérées. Cinq parcelles comprenant chacune 50 arbres ont été échantillonnées, leurs caractéristiques de parcelles figurent dans le tableau I.

TABLEAU I

Caractéristiques des placettes du suivi de la production en graines

| Paramètres | parcelle 1 | parcelle 2 | parcelle 3 | parcelle 4 | parcelle 5 |
|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Type du sol | sols gypseux | sols gypseux | sols peu évolués d'apport hydrique | rendzines | sol sableux |
| Profondeur du sol (cm) | sol très peu profond (10 à 30 cm) | sol très peu profond (10 à 30 cm) | sol moyennement profond (60 à 90 cm) | sol très peu profond (10 à 30 cm) | sol profond (90 à 120 cm) |
| Pente (%) | 0 à 3 % | 0 à 3 % | 0 à 3 % | 3 à 5 % | 0 à 3 % |

L'étude ayant pour objectif d'analyser la qualité et la quantité de production en graines et d'étudier leur variabilité intersites et interannuelle. Les paramètres suivants ont été déterminés durant trois années successives (2006, 2007 et 2008) au stade de la croissance des gousses : nombre de gousses avant maturation ; nombre de gousses après maturation ; perte en gousses (%) ; nombre total de graines ; poids total de graines (g).

RÉSULTATS

SECTEURS ÉCOLOGIQUES DE LA STEPPE ARBORÉE À *ACACIA TORTILIS*

La carte de végétation (Fig. 5) montre que le paysage du parc national de Bouhedma est très diversifié. Nous présentons ci-après les différentes formations végétales écologiques rencontrées actuellement au sein du parc : steppe arborée à base d'*Acacia tortilis* ; ligneux bas dominés par *Juniperus phoenicea* et *Olea europea* ; strate herbacée pérenne dominée par *Stipa tenacissima* ; ligneux bas dominés par *Hamada scoparia* et *Artemisia herba alba* ; ligneux bas dominés par *Hamada schmittiana* et *Atractylis serratuloides* ; strate herbacée annuelle ; verger ; sol nu : céréaliculture ; arboriculture. La superficie des strates herbacées dominées par l'*Acacia tortilis* est estimée à 7056 ha dans le parc national de Bouhedma et ses alentours (Tab. II). La superficie d'*Acacia tortilis* a augmenté à cause de la mise en défens des zones I, II et III du parc. La forte densité d'*Acacia tortilis* est localisée autour de Borj Bouhedma, dans la plaine et les lits des oueds, une autre entité se localise dans le Nord du versant de jebel Bouhedma caractérisée par l'abondance de ligneux hauts spontanés à base de *Juniperus phoenicea* et des oléastres (6650 ha), cette entité est un peu dégradée à cause du surpâturage, du défrichement et de l'extension des zones agricoles de la région de Meknassi. Les surfaces occupées par l'agriculture sont estimées à 3385 ha pour la céréaliculture, 3035 ha pour les oliviers et 885 ha pour les vergers. Les aires occupées par *Stipa tenacissima* sont de

l'ordre de 9525, cette strate connaît depuis longtemps le défrichement pour l'utilisation en artisanat et comme aliment pour le bétail pendant la période de disette. L'entité « Ligneux bas dominés par *Hamada scoparia* et *Artemisia herba alba* » occupe 1035 ha alors que celle « Ligneux bas dominés par *Hamada schmittiana* et *Atractylis serratuloides* » colonise 880 ha. Cette augmentation de surface en comparaison avec les défrichements est due à la régression des surfaces de céréaliculture à cause de la sécheresse qu'a connue la zone lors des dernières années et du manque de main d'œuvre pour le travail agricole. L'abandon de la friche durant une bonne période de temps permet la réhabilitation de certaines espèces. L'entité « Strate herbacée annuelle » occupe 2350 ha de la plaine, sa superficie est variable selon les années ; la pluviométrie joue un rôle important pour les annuelles, en années pluvieuses un tapis se forme dans la plaine de Bouhedma.

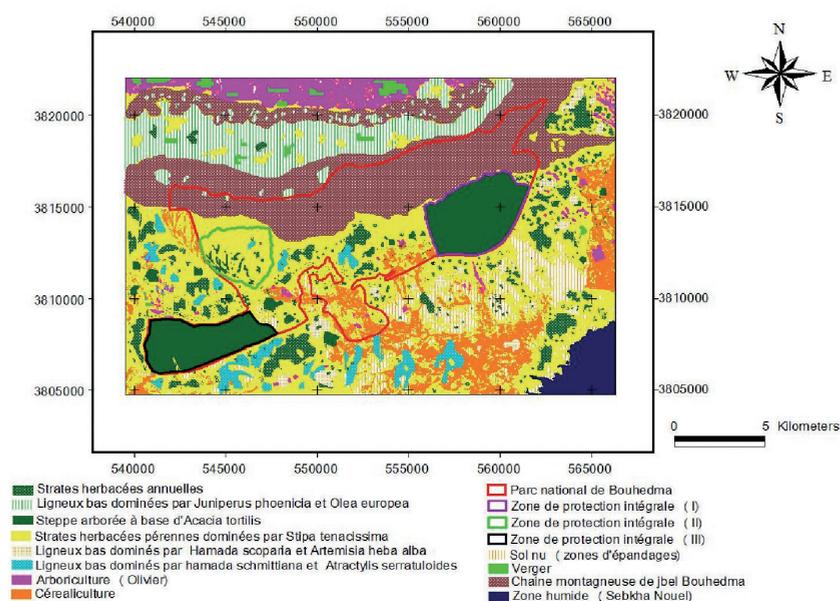


Figure 5.— Occupation du sol de la région de Bouhedma (printemps 2005).

TABLEAU II

Superficies et pourcentages des unités d'occupation du sol en 2005

| Entités | Superficie (ha) | Superficie (%) |
|--|-----------------|----------------|
| Steppe arborée à base d' <i>Acacia tortilis</i> | 7056 | 15,1 |
| Ligneux bas dominés par <i>Juniperus phoenicia</i> et <i>Olea europea</i> | 6650 | 14,24 |
| Chaîne montagneuse de Djebel Bouhedma | 9430 | 20,18 |
| Strates herbacées pérennes dominées par <i>Stipa tenacissima</i> | 9529 | 20,40 |
| Ligneux bas dominés par <i>Hamada scoparia</i> et <i>Artemisia herba alba</i> | 1035 | 2,21 |
| Ligneux bas dominés par <i>Hamada schmittiana</i> et <i>Atractylis serratuloides</i> | 880 | 1,88 |
| Strates herbacées annuelles | 2350 | 5,03 |
| Verger | 885 | 1,89 |
| Sol nu (zone d'épandage) | 1460 | 3,12 |
| Zone humide (Sebkhat Nouel) | 1044 | 2,23 |
| Céréaliculture | 3385 | 7,24 |
| Arboriculture (Olivier) | 3035 | 6,49 |

MILIEU PHYSIQUE DE LA STEPPE ARBORÉE À *ACACIA TORTILIS*

Altitude et pente

L'altitude et la pente de la steppe arborée à base d'*Acacia tortilis* dans le parc national de Bouhedma et ses alentours sont illustrées par les figures 6 et 7 et le tableau III. Il apparaît que la steppe arborée à base d'*Acacia tortilis* se localise sur les basses altitudes de 20 à 150 m (sur une superficie de 6242 ha), surtout dans les zones d'épandages et les lits d'oued ; sa superficie est plus faible (814 ha) aux altitudes de 150 à 250 m. Elle se localise également sur les terrains plats avec les pentes faibles de 0 à 3 % (5815 ha), ensuite sur celles de 3 à 5 % (928 ha) et enfin sur des pentes de 5 à 10 % (313 ha).

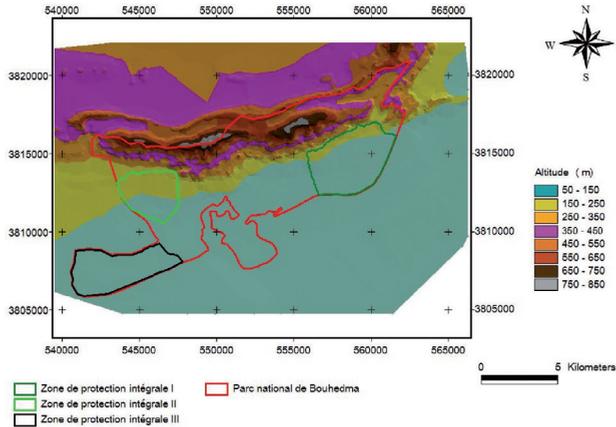


Figure 6.— Carte d'altitude du parc national de Bouhedma et ses alentours.

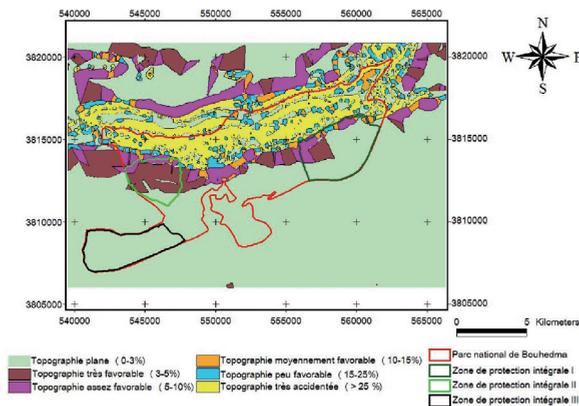


Figure 7.— Carte de pente du parc national de Bouhedma et ses alentours.

TABLEAU III

Répartition de la steppe arborée à base d'*Acacia tortilis* dans le parc national de Bouhedma et ses alentours selon l'altitude et la pente

| Steppe arborée à base d' <i>Acacia tortilis</i> | Altitude | | | | Pente | | | | | |
|---|----------------------|-------|-----------------------|-------|------------------|-------|---------------------------|-------|-----------------------------|-------|
| | Alt 1 (20 m à 150 m) | | Alt 2 (150 m à 250 m) | | P1 Plane (0-3 %) | | P2 très favorable (3-5 %) | | P3 assez favorable (5-10 %) | |
| | S (ha) | S (%) | S (ha) | S (%) | S (ha) | S (%) | S (ha) | S (%) | S (ha) | S (%) |
| | 6 242 | 88,5 | 814 | 11,5 | 5 815 | 82,41 | 928 | 13,91 | 313 | 3,67 |

Type et profondeur du sol

D'après la carte de type du sol du parc national de Bouhedma et ses alentours (Fig. 8) l'*Acacia tortilis* se régénère en grande superficie sur sol peu évolué d'apport hydrique puis sur rendzine, ensuite sur sol isohumique et faiblement sur sols gypseux et brun calcaire. Nos résultats (Fig. 9, Tab. IV) montrent que, dans le parc national de Bouhedma, l'*Acacia tortilis* pousse sur sol peu évolué d'apport hydrique (3832 ha), sur rendzine (1280 ha), sur le sol isohumique (986 ha), sur le sol gypseux (873 ha) et sur le sol brun calcaire avec une faible superficie. La steppe arborée à base d'*Acacia tortilis* colonise le sol très peu profond (2796 ha), le sol moyennement profond (2175 ha), le sol très profond (1970 ha), le sol peu profond (75 ha) et le sol profond (40 ha).

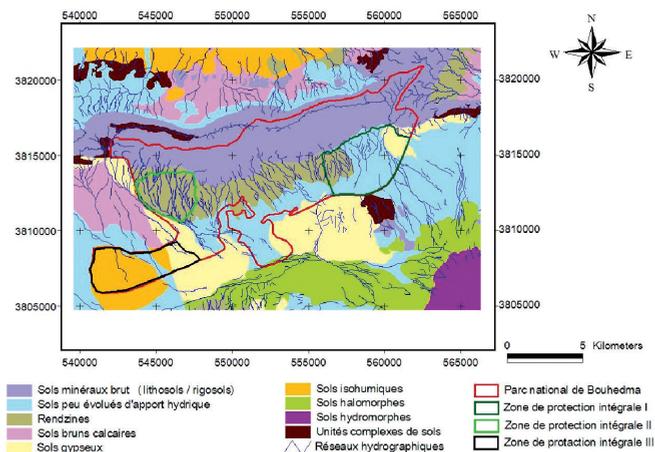


Figure 8.— Carte de type du sol du parc national de Bouhedma et ses alentours.

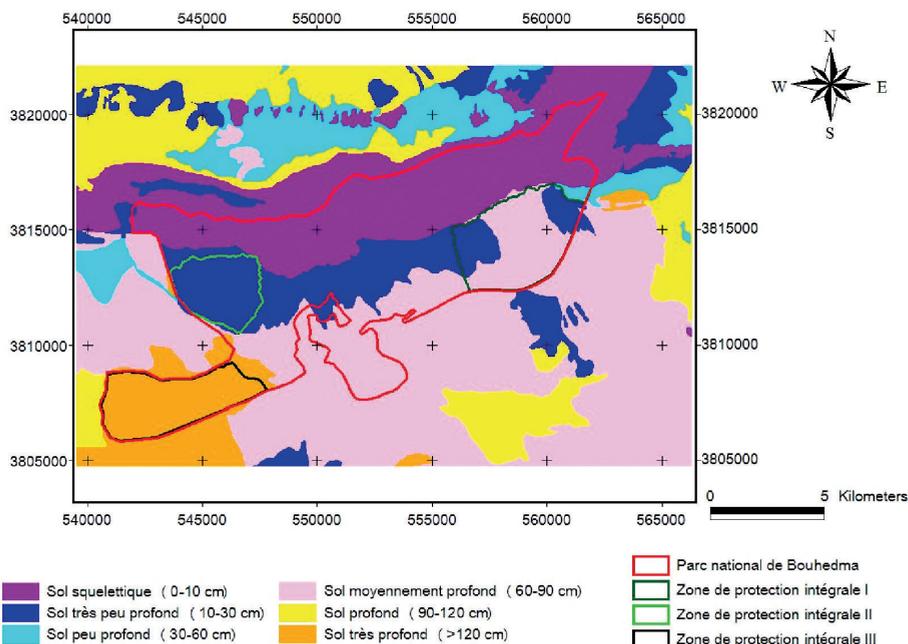


Figure 9.— Carte de profondeur du sol du parc national de Bouhedma et ses alentours.

TABLEAU IV

Répartition de la steppe arborée à base d'*Acacia tortilis* dans le parc national de Bouhedma et ses alentours selon le type et la profondeur du sol

| | Type de sol | | | | | | | | | |
|---|------------------------------------|-------|----------------------------|-------|------------------------------------|-------|-------------------------|-------|----------------------------|-------|
| | S1 | | S2 | | S3 | | S4 | | S5 | |
| | Sols peu évolués d'apport hydrique | | Rendzines | | Sols isohumiques | | Sols gypseux | | Sols bruns calcaires | |
| | S (ha) | S (%) | S (ha) | S (%) | S (ha) | S (%) | S (ha) | S (%) | S (ha) | S (%) |
| Steppe arborée à base d' <i>Acacia tortilis</i> | 3832 | 54,3 | 1280 | 18,14 | 986 | 13,97 | 873 | 12,37 | 85 | 1,22 |
| | Profondeur du sol | | | | | | | | | |
| | P1 | | P2 | | P3 | | P4 | | P5 | |
| | Sol très peu profond (10-30 cm) | | Sol peu profond (30-60 cm) | | Sol moyennement profond (60-90 cm) | | Sol profond (90-120 cm) | | Sol très profond (>120 cm) | |
| | S (ha) | S (%) | S (ha) | S (%) | S (ha) | S (%) | S (ha) | S (%) | S (ha) | S (%) |
| | 2796 | 39,62 | 75 | 1,06 | 2175 | 30,82 | 40 | 0,59 | 1970 | 27,91 |

ESTIMATION DE LA PRODUCTION EN GRAINES DE LA STEPPE ARBORÉE À ACACIA TORTILIS

Le tableau V affiche les résultats de l'analyse de la variance de la production en graines d'*Acacia tortilis* durant trois années successives (2006, 2007 et 2008), dans cinq parcelles situées dans les trois zones clôturées du parc national de Bouhedma. Ces résultats montrent que le nombre de gousses avant et après maturation, la perte en gousses, le nombre total et le poids de graines varient significativement à travers les populations, les génotypes et les années de suivi ($P > 0.0001$).

La comparaison de la productivité en graines dans cinq parcelles du parc national de Bouhedma (Tab. VI) montre que la parcelle 5 est la plus fructifère et productive par rapport aux autres zones, ceci peut être expliqué par la nature profonde du sol (90 à 120 cm) et la faible pente (0 à 3 %) (Tab. I). La perte des gousses enregistrée dans la parcelle 4 (90,4 %) est expliquée par l'exposition de la zone au vent dominant et sur un sol défavorable (rendzine). On peut conclure aussi que, par rapport aux autres parcelles, la parcelle installée dans la plaine sur sol sableux (P5) (Tab. I) est la plus productive en graines (30,4 g) suivie de la parcelle P2 (12,4 g) située sur sol gypseux.

La comparaison de la production en graines dans le parc national de Bouhedma durant trois années successives 2006, 2007 et 2008 (Tab. VII) montre que l'année 2007 a connu des fortes pertes en gousses par arbre (92,71 %) ceci étant le résultat du vent violent enregistré dans la région par rapport aux années 2006 et 2008 (moyennes annuelles de 3 m/s en 2007, 2,3 m/s en 2006 et 2,9 m/s en 2008). L'année 2006 a connu le poids et le nombre moyen des graines les plus élevés (20,5 g/arbre ; 581 graines/arbre) favorisant par la suite les fortes attaques par les bruches.

TABLEAU V

Analyse de la variance, comparaison de la productivité en graines d'Acacia tortilis dans le parc national de Bouhedma dans cinq parcelles à travers trois années successives 2006, 2007 et 2008

| Variables | Moyenne | | | Populations | | | Années | | | Populations*Années | | |
|------------------------------------|---------|--------|-------|-------------|----|--------|--------|--------|----|--------------------|------|--------|
| | df | C.V. % | F | P | df | C.V. % | F | P | df | C.V. % | F | P |
| Nombre de gousses avant maturation | 4 | 92,97 | 7,41 | 0,0001 | 2 | 92,97 | 6,77 | 0,0013 | 8 | 92,97 | 2,89 | 0,0038 |
| Nombre de gousses après maturation | 4 | 165,09 | 15,71 | 0,0001 | 2 | 165,09 | 32,18 | 0,0001 | 8 | 165,09 | 2,86 | 0,0041 |
| Perte en gousses (en pourcentage) | 4 | 24,22 | 11,72 | 0,0001 | 2 | 24,22 | 25,96 | 0,0001 | 8 | 24,22 | 1,6 | 0,1216 |
| Nombre total de graines | 4 | 167,59 | 15,83 | 0,0001 | 2 | 167,59 | 31,74 | 0,0001 | 8 | 167,59 | 2,94 | 0,0032 |
| Poids de graines (g) | 4 | 169,42 | 22,22 | 0,0001 | 2 | 169,42 | 32,74 | 0,0001 | 8 | 169,42 | 4,04 | 0,0001 |

TABLEAU VI

Comparaison de la productivité en graines dans le parc national de Bouhedma dans cinq parcelles à travers trois années successives 2006, 2007 et 2008

| Variables | Parcelle 1 | | | Parcelle 2 | | | Parcelle 3 | | | Parcelle 4 | | | Parcelle 5 | | |
|-------------------------------------|------------|------------------------|---------|------------------------|---------|------------------------|------------|------------------------|---------|------------------------|---------|------------------------|------------|------------------------|--|
| | Moyenne | Similarité statistique | Moyenne | Similarité statistique | Moyenne | Similarité statistique | Moyenne | Similarité statistique | Moyenne | Similarité statistique | Moyenne | Similarité statistique | Moyenne | Similarité statistique | |
| Nombre de gousses avant maturation | 186,12 | b | 136,69 | c | 182,41 | b | 216,35 | b | 243,15 | ab | 243,15 | a | 243,15 | a | |
| Nombre de gousses après maturation | 41,58 | b | 37,92 | b | 39,83 | b | 34,85 | b | 98,92 | b | 98,92 | b | 98,92 | b | |
| Perte en gousses (en pourcentage %) | 84,19 | b | 87,02 | ab | 88,07 | ab | 90,41 | a | 75,58 | a | 75,58 | b | 75,58 | b | |
| Nombre total de graines | 331,15 | b | 318,75 | b | 269,86 | b | 310,25 | b | 800,49 | b | 800,49 | a | 800,49 | a | |
| Poids de graines (g) | 9,63 | b | 12,39 | b | 8,21 | b | 9,94 | b | 30,41 | b | 30,41 | a | 30,41 | a | |

TABLEAU VII

Comparaison de la production en graines dans le parc national de Bouhedma dans cinq parcelles à travers trois années successives 2006, 2007 et 2008

| Variables | Année 2006 | | Année 2007 | | Année 2008 | |
|------------------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|------------|------------------------|
| | Moyenne | Similarité statistique | Moyenne | Similarité statistique | Moyenne | Similarité statistique |
| Nombre de gousses avant maturation | 225,07 | a | 167,01 | b | 186,75 | b |
| Nombre de gousses après maturation | 73,66 | a | 16,72 | b | 61,48 | a |
| Perte en gousses (en pourcentage) | 80,81 | b | 92,71 | a | 81,65 | b |
| Nombre total de graines | 581,67 | a | 129,36 | b | 507,26 | a |
| Poids de graines (g) | 20,50 | a | 4,26 | b | 17,58 | a |

DISCUSSION

SECTEURS ÉCOLOGIQUES DE LA STEPPE ARBORÉE À *ACACIA TORTILIS*

Nous avons constaté que les strates herbacées dominées par *Acacia tortilis* occupaient une superficie de 7056 ha en 2005 dans le parc national et ses alentours. Dans le même sens, Znati (2003) et Tarhouni (2003) ont montré que la création du parc a permis la préservation et l'augmentation de la superficie d'*Acacia tortilis* dans les zones de protection intégrale et aussi permis une bonne installation de la végétation primitive au niveau de cette zone. De même, Mahamadou (2003), travaillant sur la dynamique de la végétation à Haddej Bouhedma, indique qu'il y a des variations significatives du recouvrement végétal et de la richesse floristique ; ainsi la spatialisation de la carte couverture végétale révèle une certaine dynamique et le retour des groupements végétaux initialement existants. On peut dire que ce diagnostic de l'occupation du sol après 23 ans de mise en défens est d'une grande utilité pour identifier la variation des unités du sol dans l'espace et dans le temps. De même, dans une étude de la dynamique de l'occupation des sols de la plaine de la Macta (Algérie) à l'aide de la télédétection et des systèmes d'information géographique, tout comme Bonn & Rochon (1993), Sitayeb & Benabdeli (2008) ont montré que l'étude diachronique par cartographie des changements constitue une démarche efficace pour une évaluation rapide de la dynamique de l'occupation des sols et de ses répercussions sur les groupements végétaux. Les supports (photographies aériennes, images satellitaires, etc.) anciens et récents, combinés aux outils du système d'information géographique (SIG), sont d'une grande utilité dans cette démarche. Marchand *et al.* (1998) confirment que ce type d'approche est devenu indispensable pour les sites à large estran, difficiles d'accès, et qui présentent de surcroît une dynamique sédimentaire importante. Panta *et al.* (2008) insistent que le SIG et la télédétection jouent un rôle important dans la production de ces données pour identifier les zones dégradées et déboisées, ainsi que les domaines potentiels pour la conservation. Godert *et al.* (2001) confirment que les stratégies de planification pour la gestion durable des terres exigent de solides données de base sur les ressources naturelles (sol, relief, climat, végétation, utilisation des terres, etc.) et sur les aspects socio-économiques.

MILIEU PHYSIQUE DE LA STEPPE ARBORÉE À *ACACIA TORTILIS*

Dans cette partie de l'étude qualitative et quantitative de la dynamique spatio-temporelle de la régénération, nous avons tenté de montrer le rôle de la télédétection et le système d'information géographique pour l'évaluation de la régénération d'*Acacia tortilis* après la création du parc national de Bouhedma. L'examen des cartes physique du milieu (pente, altitude, type et profondeur du sol) permet de conclure que l'espèce colonise fortement les zones d'épandage (oueds et ravins) et les sols profonds. Ces résultats confirment ceux de Sahraoui *et al.* (1996), qui indiquaient qu'*Acacia tortilis* dans les monts de Ougarta (Sahara nord-occidental) a régénéré au cours des quarante dernières années surtout dans les zones d'épandage et que son repeuplement est cyclique et suit le rythme de la pluviométrie. Cependant, nous avons

remarqué que si le nombre des arbres est important dans les plaines en basse altitude, il tend à diminuer d'une manière significative dans les zones en pente et en altitude.

PRODUCTIVITÉ DE LA STEPPE ARBORÉE À *ACACIA TORTILIS*

La production de semences des acacias peut s'exprimer de nombreuses manières, par exemple en nombre de graines par gousse, ou par arbre, ou par unité de surface. La production est restée très faible pour la majorité des parcelles et au cours des années (8,2 g à 30,4 g par parcelle), nos résultats ne sont donc pas en accord avec ceux de Menwelet *et al.* (1994) qui ont obtenu pour *Acacia tortilis* subsp. *spirocarpa* une production moyenne de 5,3 kg de fruits par arbre, soit un rendement de 75 à 850 kg.ha⁻¹ en fonction des densités observées. Ces chiffres se situent dans la gamme des valeurs proposées par Bille (1980) pour *Acacia raddiana* : 400 à 600 kg.ha⁻¹ dans des zones à 400 mm de pluies annuelles. Dans ce sens, Booth *et al.* (1989) ont montré que l'arbre d'*Acacia colei* (acacia d'Australie) peut produire environ 2 kg de graines pendant au moins deux à trois récoltes, à partir de l'âge de deux ans, et que sa farine peut être incorporée sans danger aux régimes à base de mil/sorgho dont se nourrissent les populations ; cet aliment pourrait être consommé dans de vastes zones semi-arides de l'Afrique et de l'Asie du Sud où les conditions climatiques conviennent à *Acacia colei*. Selon Cossalter (1987) les agriculteurs peuvent obtenir au moins deux récoltes d'environ 2 kg de graines chacune par arbre d'*Acacia elachantha* planté en brise-vent à Dandja, près de Maradi (Niger), à condition que les précipitations annuelles moyennes atteignent au moins 350 mm tout au long du cycle de production des arbres. Cependant, au cours des années du suivi, les rendements en graines n'ont guère été édifiants. De nombreux arbres n'ont pas donné de graines, les rendements moyens par arbre ont été bas et la productivité a varié d'une année à l'autre. En outre, les conditions climatiques varient considérablement d'une année à l'autre dans la région, ce qui laisse à penser qu'il existe une relation critique entre les pluies et le rendement en graines. Les résultats ont montré que le nombre de gousses est très faible (50 gousses) et varie significativement dans les parcelles. Dans ce sens, une étude faite par la FAO (1980) sur le nombre de graines par gousse pour diverses espèces a montré qu'*Acacia albida* en Afrique du Sud produit 14 à 21 graines par gousse, tandis qu'*Acacia senegal* au Pakistan produit de 2 à 5 graines par gousse, *Acacia nilotica* de 8 à 16 graines par gousse et *Acacia tortilis* jusqu'à 14 graines. Monk *et al.* (1981) ont constaté pour *Acacia pulchella* (petit arbuste australien) que la production de graines commence à 2 ans, atteint un maximum de 12 000 graines par plant et par année à 3-4 ans, et décroît jusqu'à 2000 graines par plant à la 13^{ème} année. Un arbre adulte d'*Acacia albida* peut produire environ un demi-million de graines au Soudan et, en Afrique du Sud, un sujet de grande taille, si la saison est favorable, peut en produire plusieurs millions (Wickens 1969). Le nombre de graines produites par hectare est fonction de la densité, de l'âge et de la taille des arbres. Burrows (1973) a indiqué des rendements de 2 à 12 kg de semences à l'hectare (de l'ordre de 150 000 à 850 000 graines) pour *Acacia aneura*. Il est utile de noter que les auteurs s'accordent pour admettre de grandes variabilités individuelles, intersites et interannuelles de la production en graines. Ces variabilités sont liées d'une part à des caractéristiques génotypiques des taxons et d'autre part aux fluctuations erratiques des conditions de milieu (accès aux disponibilités nutritionnelles locales, variabilité climatique).

CONCLUSION

Cette étude a permis d'étudier les secteurs écologiques après la mise en défens, le milieu physique et la productivité en graines de la steppe arborée à *Acacia tortilis* sur la base des images satellites et des mesures sur le terrain. Notre travail montre une bonne installation de la végétation primitive au niveau de cette zone se traduisant par l'extension de certains systèmes écologiques et notamment ceux des unités d'épandages (effet de la succession des inondations). La steppe arborée à base d'*Acacia tortilis* se localise sur la basse altitude, en pente faible, sur des sols peu et moyennement profonds et sur les sols peu évolués d'apport hydrique.

La mise en défens s'est traduite par un effet très bénéfique sur le recouvrement global de la végétation. Le couvert végétal était de loin plus important à l'intérieur qu'à l'extérieur du parc. L'étude de la productivité de la steppe arborée à *Acacia tortilis* nous montre que la production de semences reste très faible pour la majorité des parcelles et au cours des années.

RÉFÉRENCES

- ABDALLAH L. (1996).— *Étude du comportement écophysologique in situ d'Acacia tortilis subsp. raddiana*. Diplôme d'études approfondies, Faculté des Sciences de Tunis.
- AUCLAIR, L. & ZAËFOURI, M.S. (1997).— La sédentarisation des nomades dans le sud tunisien : comportement énergétique et désertification. *Sécheresse*, 7 : 1-8.
- BILLE, J.C. (1980).— Measuring the primary palatable production of browse plants. Pp 185-195 in : H.N. Le Houérou (ed.). *Browse in Africa : the current state of knowledge*. ILCA, Addis-Abeba.
- BONN, F. & ROCHON, G. (1993).— *Précis de télédétection, volume 1 : principes et méthodes*. Presses de l'Université du Québec.
- BOOTH, T.H., STEIN, J.A., NIX, H.A. & HUTCHINSON, M.F. (1989).— Mapping regions climatically suitable for particular species: an example using Africa. *For. Ecol. Manage.*, 28 : 19-31.
- BOTTON, S., DUQUENNE, F., EGLS, Y., EVEN, M. & WILLIS, P. (1998).— *GPS localisation et navigation*. Paris : édition Hermès.
- BURROWS, W.H. (1973).— Regeneration and spatial patterns of *Acacia aneura* in South-West Queensland. *Trop. Grassl.*, 7 : 57-68.
- CALOZ, R. & COLLET, C. (2001).— *Précis de télédétection, volume 3 : traitement numérique d'images de télédétection*. Presse de l'Université de Québec, PUQ/AUF Canada.
- COSSALTER, C. (1987).— Introduction of Australian acacias into dry, tropical West Africa. *For. Ecol. Manage.*, 16 : 367-389.
- DOUMET-ADANSON, M. (1874).— Note sur l'Acacia gommifère de la Tunisie. *CR. Acad. Sc. Paris*. 79 : 1175-1178.
- EASTMAN, J.R. (1999).— *Guide to GIS and Remote Sensing (volume 1)*. Clark Labs, USA.
- FAO (1980).— *Ressources génétiques d'essences arborées des zones arides et semi-arides. Étude visant à améliorer la vie rurale en Amérique latine, Afrique, Inde et Asie du Sud-Ouest*. FAO/CIRPG. FAO, Rome.
- FERCHICHI, A. (1994).— Gestion et réhabilitation des parcours au Maghreb. Séminaire international « Risques - Aménagement Désertification » Agadir (Maroc), 26 Juin-7 juillet.
- FERCHICHI, A. (1995).— Caractérisation morphobiologique et écologique d'une espèce pastorale de la Tunisie présaharienne (*Periploca angustifolia* Labill.) – Implications pour l'amélioration pastorale. *Options Méditerranéennes*, 12 : 113-116.
- FERCHICHI, A. (1999).— Les parcours de la Tunisie présaharienne : potentialités, état de désertification et problématique d'aménagement. *Options Méditerranéennes*, 39 : 137-41.
- FLORET, C., LE FLOC'H, E., PONTANIER, R. & ROMANE, F. (1978).— *Modèle écologique en vue de la planification et de l'aménagement agro-pastoral des régions arides : application à la région de Zougrata*. Document technique, n° 2. Montpellier : Orstom,
- FLORET, C. & PONTANIER, R. (1982).— *L'aridité en Tunisie présaharienne : climat, sol, végétation et aménagement*. Travaux et documents, n° 150. Paris : Orstom éditions.
- FLORET C. & PONTANIER, R. (1984).— Aridité climatique, aridités édaphique. *Bull. Soc. Bot. Fr. Actual. Bot.*, 131 : 265-75.
- GODERT, W.J., VAN, L. & STEPHAN, M. (2001).— The role of GIS and remote sensing in land degradation assessment and conservation mapping : some user experiences and expectations. *JAG*, 3 : 61-68.
- HANAFI, A. (2000).— *Cartographie des systèmes écologiques et étude de leur évolution depuis 1978 dans la région de Menzel Habib (Gabes)*. Mémoire de DEA, Faculté des Sciences humaines et sociales de Tunis.
- JAOUADI, W. (2011).— *Écologie et dynamique de régénération d'Acacia tortilis subsp. raddiana dans le parc national de Bouhedma*. Thèse de doctorat. INAT. Tunis.
- JAUFFRET, S. (1997).— *Conditions de la diversité des pelouses oligotrophes à thérophytes (phanérogames et bryophytes) de la plaine des Maures*. Mémoire de DEA, Université d'Aix- Marseille III.
- JAUFFRET, S. (2001).— *Validation et comparaison de divers indicateurs des changements à long terme dans les écosystèmes méditerranéens arides*. Thèse de doctorat, Université de droit, d'économie et des sciences d'Aix- Marseille.
- KAREM, A. (2001).— Le rôle des parcs nationaux et les réserves naturelles dans la conservation de la biodiversité. *Régions Arides*, (NS) : 293-302.
- KAREM, A., SANTINI, M.K, SCHOENENBERGER, A. & WAIBEL, T. (1993).— *Contribution à la régénération de la végétation dans les parcs nationaux en Tunisie aride*. Imprimerie Arabe de Tunisie.
- LANGLE, P. (1959).— *Étude pédologique de la plaine de Ségui (Tunisie)*. Carte de reconnaissance des sols au 1 : 100 000. Tunis : SOGETIM,

- LE FLOC'H, E. (1973).— *Étude des parcours du Sud-Tunisien, carte phytoécologique de Oglat Mertebe et Mareth (1/100 000)*. Annales de l'Institut national de recherche agronomique, n° 46. Tunisie : Inra.
- LE HOUÉROU, H.N. (1959).— *Recherches écologiques et floristiques sur la végétation de la Tunisie méridionale*. Mémoire HS, Université d'Alger, Institut de recherches sahariennes.
- LE HOUÉROU, H.N. (1969).— *La végétation de la Tunisie steppique (avec références aux végétations analogues de l'Algérie, de la Libye et du Maroc)*. Ann. INRAT, 42.
- LE HOUÉROU, H.N. (1995).— Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertisation. *Options Méditerranéennes Ser. B* (10) : 1-396.
- LE HOUÉROU, H.N. (2001).— Biogeography of the arid steppeland north of the Sahara. *J. Arid Environ.*, 48 : 103-28.
- LE HOUÉROU, H.N., CLAUDIN, J., DONADIEU, P. & HAYWOOD, M. (1975).— *Étude phytoécologique du Hodna (Algérie), une carte au 1 : 200 000, 3 feuilles, 25 000 Km²*. AGS/DP/ALG/ 66/509. Rapport Technique 7. Rome : FAO.
- MAHAMADOU, I. (2003).— *Surveillance de la végétation et des ressources pastorales, spatialisation et dynamique phytoécologiques des parcs de Haddej et de Bouhedma*. Rapport de stage. IRA médénine. OSS.
- MARCHAND, Y., AUFFRET, J.-P. & DEROUIN, J.-P. (1998).— Dynamique sédimentaire de la baie du Mont-Saint-Michel (Ouest France) depuis 1986, à partir de données satellitales. *C. R. Acad. Sci., Paris, Sciences de la terre et des planètes*, 327 : 155-159.
- MENWYELET, A., COPPOCK, D.L. & DETLING, J.K. (1994).— Fruit production of *Acacia tortilis* and *Acacia nilotica* in semi-arid Ethiopia. *Agroforestry systems*, 27 : 23-30.
- MONK, D., PATE, J.S. & LONERAGAN, W.A. (1981).— Biology of *Acacia pulchella* R.Br. with special reference to symbiotic nitrogen fixation. *Aust. J. Bot.*, 29 : 579-92.
- PANTA, M., KYEHYUN, K. & CHUDAMANI, J. (2008).— Temporal mapping of deforestation and forest degradation in Nepal : Applications to forest conservation. *For. Ecol. Manage.*, 256 : 1587-1595.
- PÉLISSIER, E. (1853).— Descriptions de la régence de Tunis. In : *Exploitation Scientifique de l'Algérie pendant les années 1840/41/42*. *Sci. Hist. Géog.*, XVI. Impri. Impér. Paris. 2^{ème} édit. Bouslama, Tunis, 1980. Vol 1.
- PICOÛT, M., SGHAIER, M. & ZAÂFOURI, M.S. (1998).— Relation population-environnement en Tunisie désertique. *Espace Populations Société. Univ. Sci. Techno.* 1998-1 : 53-65.
- SAHRAOUI, S., AIT MOHAND, L. & ECHAIEB, B. (1996).— Évolution spatio-temporelle des peuplements d'*Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne *raddiana* (Savi) Brenan dans les monts Ougarta (Sahara nord-occidental). *Sécheresse*, 7 : 173-178.
- SCHOENENBERGER, A. (1987).— *Rapport phyto-écologique sur le Parc National du Bouhedma, l'identification de parcs nationaux sahariens, l'amélioration des parcours naturels des zones sahariennes, la création d'un Parc National dans la zone d'El Feidja, les espèces algéromarocaines susceptibles d'être introduites en Tunisie*. Coop. Techn. Tuniso-Allemande, Projet GTZ n° 82. 2045. 1-01. 100.
- SCHOENENBERGER, A. (1991).— *Projet d'aménagement et d'exploitation des ressources naturelles du Parc National du Bou Hedma et de sa région*. Coop. Techn. Tuniso-Allemande, Projet GTZ n° 82. 2045. 1-01. 100.
- SITAYEB, T. & BENABDELI, K. (2008).— Contribution à l'étude de la dynamique de l'occupation des sols de la plaine de la Macta (Algérie) à l'aide de la télédétection et des systèmes d'information géographique *C. R. Biologies*, 331 : 466-474.
- TARHOUNI, M. (2003).— *Cartographie des systèmes écologiques et étude de la dynamique de l'occupation des terres dans le parc national de Bouhedma*. Mémoire de DEA, Faculté des Sciences de Sfax.
- UNESCO (1977).— *Carte de la répartition mondiale des zones arides*. Notes techniques du MAB 7. Paris : UNESCO.
- WICKENS, G.E. (1969).— A study of *Acacia albida* Del. (Mimosoideae). *Kew Bulletin*, 23 : 181-202.
- ZAÂFOURI, M.S., ZOUAGHI, M. & AKRIMI, N. (1996).— La forêt steppique à *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* de la Tunisie aride : dynamique et évolution. *Rev. Régions Arides*, (NS) : 258-71.
- ZNATI, S. (2003).— *Apport de la télédétection au suivi de la dynamique de l'occupation du sol en milieu aride tunisien. Cas de l'observatoire Haddej Bouhedma*. DEA. CRASTELF.