

## Caractérisation morphologique et anatomique de deux provenances tunisiennes de *Prosopis farcta* par leurs folioles, fleurs, gousses, graines et grains de pollen

### Morphological and anatomical characterization of leaflets, flowers, fruits, seeds and pollen grains of *Prosopis farcta* coming from two distinct areas in Tunisia

Fethia HARZALLAH-SKHIRI<sup>1</sup>, Sadok BOUZID<sup>2</sup> et Pierre DUTUIT<sup>3</sup>

**Abstract :** *Prosopis farcta* is a species which arises in Tunisia in two distinct areas: Nabeul in the North East and Gabès in the South East. Morphological and anatomical comparative study of leaflets, flowers, fruits and seeds of plants from the two localities was done. We demonstrate that *Prosopis farcta* is well adapted to arid climate. We have reported several divergences between the Gabès and the Nabeul populations of *Prosopis farcta*, like presence of globular waxes forms at Gabès surface leaflets and pubescence of these ones. Aspects and sizes of pods and seeds varied within the localities. Anatomical investigations on each *Prosopis farcta* leaflets and seed coat allowed to show also many differences between the individuals. All those results permit us to propose the occurrence in Tunisia of the two varieties of *Prosopis farcta* or probably of two ecotypes specific each one to a locality.

Key words: *Prosopis farcta* - Morphology - Anatomy - Areas - Tunisia

**Résumé :** Le *Prosopis farcta* est une espèce rare qui se développe en Tunisie de façon spontanée dans deux régions paradoxalement éloignées. Une étude morphologique et anatomique comparative des folioles, des fleurs, des fruits et des graines des plantes des deux provenances a été réalisée. Cette étude nous a permis de montrer que l'espèce *Prosopis farcta* est bien adaptée aux conditions arides du milieu. De plus, plusieurs différences ont été trouvées entre les populations des deux sites, notamment le caractère pubescent des folioles des plantes du site Gabès, la présence de cire déposée sous forme de protubérance chez ces plantes. L'étude anatomique a révélé des différences dans la taille des tissus foliaires. Tous ses résultats nous ont permis de supposer l'existence en Tunisie des deux variétés de *Prosopis farcta* ou de deux écotypes spécifiques chacun d'un climat particulier.

Mots-clés : *Prosopis farcta* - Morphologie - Anatomie - Provenances - Tunisie

## INTRODUCTION

Le *Prosopis farcta* est l'unique espèce spontanée représentant le genre en Tunisie. C'est une espèce rare qui se développe de façon spontanée dans deux régions paradoxalement éloignées. Un site se trouve dans le Nord Est de la Tunisie dans la région de Nabeul. Le deuxième est à Gabès dans le Sud Est du pays. Le développement végétatif intense des arbustes pendant la période estivale font du *Prosopis farcta* une source de biomasse végétale non négligeable. Les fleurs sont une excellente source de pollen recherché par les abeilles. Pendant la période hivernale, la plante perd son feuillage et les rameaux desséchés pourraient être récupérés et utilisés comme bois de chauffage ou pour la cuisson des aliments. Afin de sauvegarder cette espèce endémique à multi-usages nous avons entrepris un travail de caractérisation des individus de chaque population et d'identification systématique de leur appartenance variétale. En effet, lors de nos prospections, nous avons relevé de nombreuses différences entre les plantes des deux provenances ce qui nous a laissé penser à la

<sup>1</sup>Ecole Supérieure d'Horticulture et d'Élevage de Chott-Meriem, Département des Sciences Biologiques et Protection des plantes e-mail : skhiri.fethia@iresa.agrinet.tn

<sup>2</sup>Faculté des Sciences de Tunis

<sup>3</sup>Université Paris Sud, Faculté d'Orsay, France.

présence des deux variétés de *Prosopis farcta* citées par BURKART (1976). Par contre, POTTIER-ALAPETITE (1981) ne les précise pas.

Une description détaillée, morphologique et/ou anatomique, suivie d'une étude comparative des folioles, fleurs, gousses, graines et grains de pollen des plantes de chaque provenance sont réalisées afin de déceler les particularités de chacune d'elle et de préciser le niveau de ressemblance (ou de différences) entre elles

## MATERIELS ET METHODE

### Les sols des deux sites

Une analyse pédologique des sols des deux sites a été réalisée dans le laboratoire d'analyse des sols à la station de Monastir rattachée au ministère de l'agriculture.

### Le matériel végétal et les variables analysées

L'étude a été réalisée pendant les mois de juin et juillet sur les arbustes des deux provenances lors de leur développement végétatif intense. On prélève au hasard sur les différentes parties de chaque arbuste, en tenant compte des orientations, 10 rameaux nouvellement formés portant des feuilles et des fleurs. La campagne de prélèvement des feuilles et des fleurs sur les arbustes de Gabès démarre 10 jours avant celle de Nabeul.

### VARIABLES CHOISIES POUR LA CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE ET ANATOMIQUE DES ORGANES DES DEUX PROVENANCES

- Variables relatives aux feuilles et aux folioles:

On définit 9 variables (Tableau 1) pour décrire et caractériser les feuilles et les folioles du *Prosopis farcta* de chaque provenance. Au total 30 feuilles et 30 pennes ont été analysées choisies au hasard sur les rameaux prélevés.

Les folioles des deux provenances sont coupées transversalement puis sont colorées par le vert d'iode et le carmin aluné et observées à l'aide du microscope photonique. Les variables analysées sont reportées au tableau 1.

-Variables relatives aux poils et aux stomates des folioles:

Les surfaces supérieures et inférieures de trente folioles des deux provenances sont enduites successivement de vernis à ongle transparent puis recouvertes de scotch. Un étirement du scotch permet d'avoir l'empreinte de l'épiderme. La disposition et le nombre des stomates et des poils sont déterminés dans un espace de 1 mm<sup>2</sup> de foliole. On mesure (en  $\mu\text{m}$ ) la longueur, la largeur et le diamètre de l'ostiole de dix stomates pour chaque foliole étudiée suivant la provenance (Tableau 1).

- Variables relatives aux fleurs:

On mesure pour trente racèmes récoltés sur les arbustes des deux provenances, la longueur de chaque racème et on compte le nombre de fleurs par racème. Les autres variables relatives à la fleur sont décrites dans le tableau 2. Trente fleurs de chaque provenance sont étudiées.

- Variables relatives aux gousses:

Les gousses sont récoltées aux mois de septembre et octobre pour Gabès et aux mois d'octobre et novembre pour Nabeul. Sur un lot de 50 gousses de chaque provenance on mesure la longueur, la largeur, l'épaisseur de chaque gousse, le nombre de graines viables par gousse et le

nombre des gousses par kg (Tableau 2). On détermine aussi l'aspect extérieur et la coloration de l'épicarpe.

- Variables relatives aux graines:

Un lot de 150 gousses est constitué, celles ci sont décortiquées manuellement et les graines sont récupérées, observées à l'œil nu ou à l'aide d'une loupe puis triées, classées et comptées suivant leur taille et leur aspect extérieur (la coloration de leurs téguments en particulier). Les caractéristiques morphologiques des graines sont étudiées sur un lot de 50 graines saines

**Tableau 1:** Variables mesurées sur les feuilles, les folioles et les fleurs du *Prosopis farcta*

Organe	Variables mesurées	Description variables mesurées
feuille	L.F. Nb.p.penne L.penne Nb.p.fol. L.stip. Larg.stip. L.fol. Larg.fol. Esp.fol.	Longueur de la feuille (cm) Nombre des paires de penne par feuille Longueur de la penne (cm) Nombre des paires de folioles par penne Longueur des stipules (mm) Largeur des stipules (mm) Longueur des folioles (mm) Largeur des folioles (mm) Espace entre les folioles (mm)
Foliole (stomates, poils)	L.st. Larg.st. L.ost. Nb.de poils /mm2 Nb.st./mm2	Longueur du stomate ( $\mu$ m) Largeur du stomate ( $\mu$ m) Longueur de l'ostiole ( $\mu$ m) Nombre des poils par mm2 de surface foliaire Nombre des stomates par mm2 de surface foliaire
Foliole (anatomie)	H.ép. Larg.épi. Epais.cuticule H.p.p. Larg.p.p	Hauteur des cellules de l'épiderme ( $\mu$ m) Largeur des cellules de l'épiderme ( $\mu$ m) Epaisseur de la cuticule ( $\mu$ m) Hauteur des cellules du parenchyme palissadique ( $\mu$ m) Largeur des cellules du parenchyme palissadique( $\mu$ m)

**Tableau 2:** Variables mesurées sur les gousses et les graines du *Prosopis farcta*.

Organe	Nomenclature	Description des variables mesurées
Fleur	L.rac. Nb.fl.rac. L.fl.ouv. L.S. L.P. L.E. L.fil. L.ant. L.stipe L.gyn. L.ov. L.stg. L.bouton Larg.bouton L.ped.fl.	Longueur du racème (cm) Nombre des fleurs par racème Longueur de la fleur ouverte (mm) Longueur du sépale (mm) Longueur du pétale (mm) Longueur de l'étamine (mm) Longueur du filet (mm) Longueur de l'anthere (mm) Longueur du stipe (mm) Longueur du gynécée (mm) Longueur de l'ovaire (mm) Longueur du stigmate (mm) Longueur du bouton floral (mm) Largeur du bouton floral (mm) Longueur du pédoncule floral (mm)
Gousse	L.g. Larg.g. Epais.g. Nb.gr.g.	Longueur de la gousse (cm) Largeur de la gousse (cm) Epaisseur de la gousse (cm) Nombre des graines par gousse
Graine	L.gr. Larg.gr. Larg.fissu. L.emb. Epais.tégt.1 Epais.tégt.2 Epais.1/2 albumen Épais.emb.	Longueur de la graine Largeur de la graine Largeur de la ligne fissurale Longueur de l'embryon Epaisseur du tégument 1 Epaisseur du tégument 2 Epaisseur de la moitié de l'albumen Epaisseur de l'embryon

(Tableau 2). A l'aide d'un pied à coulisse on mesure la longueur et la largeur de la graine, et la plus importante largeur de la ligne fissurale.

Les graines et plus particulièrement les téguments sont coupés à l'aide d'un microtome à congélation à -30°C. Les fragments des téguments, de l'albumen et de l'embryon sont colorés par le vert d'iode et le carmin aluné. Les variables mesurées sont reportées au tableau 2.

### **Méthodes d'analyse de la surface des folioles, des graines et des grains de pollen par le microscope électronique à balayage (MEB)**

Les folioles et les fleurs avec le pollen conservées dans l'alcool 70°, sont déshydratées dans des bains d'alcool à 80°, et dans deux bains successifs d'alcool à 100°. la déshydratation est prolongée dans une chambre à pression appelée Balzers 030 Critical Point dryer (CPD). Les différents échantillons sont par la suite placés sur des portoirs et sont enrobées de platine dans un EMScope sputter coater SC500A (Laboratoire d'histologie, Royal Botanic Garden, Kew). Les graines sont directement placées sur des portoirs et sont enrobées de platine. L'observation est réalisée à l'aide du Microscope électronique à balayage Cambridge Instruments stéréoscan 240.

### **Analyses et tests statistiques**

Pour la caractérisation des individus de la provenance ou des deux provenances en les comparant sur base des critères choisis, les données ont été analysées statistiquement en cherchant les moyennes, les valeurs minimales, les valeurs maximales. Pour l'ensemble des paramètres étudiés on a effectué l'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur pour tester les différences entre le deux provenances.

## **RESULTATS**

### **Caractérisation phyto-écologique des deux sites**

#### **LE SITE NABEUL**

- Localisation du site et état des individus:

Le site se trouve dans la région de Nabeul dans le Nord-Est de la Tunisie. Les arbustes se sont bien développés sur les flancs d'oueds et participent avec la végétation locale à maintenir le sol et à lutter contre l'érosion. D'autres se sont développés sous les oliviers ou sur les terrains limitrophes des propriétés. A la fin de l'hiver, sur les terrains labourés, de nouvelles pousses apparaissent, prospèrent et développent de nombreux rameaux portant des fleurs.

- Ressources en eau:

La zone est traversée principalement par deux oueds ; l'oued As-Sghir le plus important, formé par les oueds El Msell et Atlil, et l'oued El Mangah qui prend sa source sur le Djebel Al Malib.

- Conditions climatiques:

Le climat de la région est steppique et appartient à l'étage bioclimatique semi-aride supérieur à hiver doux avec une précipitation annuelle moyenne de l'ordre de 450 mm. Il est nettement influencé par l'effet de la mer, l'amplitude thermique moyenne est de l'ordre de 19°C. La température moyenne la plus élevée est observée au mois d'août avec 26.7°C, alors que la plus basse, au mois de janvier est de 12.1°C.

- Caractérisation pédologique du sol du site:

Les sols cartographiés dans l'aire de répartition de *Prosopis farcta* sont peu évolués, calci-magnésimorphes. Sur le plan lithologique, les sols sont formés d'apports alluvionnaires d'origines diverses traduisant la nature tendre et non calcaire des formations géologiques dont ils sont issus (grès et sables non calcaires).

Une analyse pédologique complète nous a permis de caractériser le sol où se développe la plante. Celui-ci est caractérisé par un horizon de surface limono-sableux, bien structuré, faiblement humifère, non calcaire, poreux perméable et sain. A moyenne profondeur, les horizons deviennent plus argileux et un peu plus compacts. En profondeur, la texture devient limoneuse à limono-sableuse et la salure commence à prendre place dans le profil pédologique.

Sur le plan physico-chimique, le complexe absorbant de ces sols est saturé en calcium; les niveaux en magnésium et en potassium sont satisfaisants et les niveaux phosphatés enregistrés sont partout insignifiants. Quant aux oligo-éléments, les niveaux sont normaux. Par ailleurs, l'alcalinité ne se manifeste réellement qu'en profondeur mais d'une manière discontinue. Quand on dépasse 1m.10 de profondeur, on a une accumulation importante des ions Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup>

## LE SITE GABES

-Localisation du site Gabès et état des individus :

Deux sites sont repérés dans le Sud Est du pays, dans la ville de Gabès. Le premier site se trouve dans l'oasis et sur la bordure sud de celle-ci et longe la rive droite de l'oued Gabès. Cette oasis s'étend au nord de l'agglomération de Gabès. Le deuxième site se trouve sur la rive opposée et se poursuit jusqu'à la région dite de Sidi Boulbeba vers la caserne de Gabès. Hors de l'oasis, une grande partie du site a été déblayée et aménagée en terrains pour la construction d'immeubles. Cependant, la plante arrive à se multiplier par drageonnement et marcottage et des pousses apparaissent çà et là et prospèrent particulièrement bien dans les terrains avoisinants non cultivés, sur les bords de l'oued et même sur les murs des habitations. Dans l'oasis, elle est en très bon état. Elle se développe dans les terrains cultivés en Henné, avec la luzerne, sous les palmiers et les grenadiers. Nous avons remarqué que les agriculteurs dans la région de Gabès ont tendance à la brûler ou à labourer le sol plusieurs fois par an, cependant ses techniques culturales facilitent sa régénération

- Conditions climatiques:

La pluviométrie est très irrégulière, la plus élevée atteint 170 mm et la plus faible est de zéro pendant les mois les plus chauds à savoir juin, juillet et août. A Gabès, la plante se développe dans l'aride inférieur à hivers doux où la pluviométrie est comprise entre 100 et 200 mm. La température moyenne ainsi que les valeurs des moyennes de température minima et maxima quotidienne sont celles d'un climat à hiver doux et été chaud. La température maximale enregistrée sur une période de deux ans est de 29.6 °C et la minimale est de 6.7°C.

- Géologie et géomorphologie du site:

Le socle géologique est constitué par des argiles gypseuses mio-pliocènes et plus récentes, reposant sur des calcaires du crétacé. Ces argiles gypseuses sont elles mêmes recouvertes de plusieurs mètres de sables gypso-calcaires, en lits superposés à teneur en gypse et texture variable. En surface, se développe un encroûtement gypseux. Les sols du site sont situés dans un lit d'oued. Ils proviennent de la dégradation des bancs gréseux et calcaires des Djebels situés en amont. Leur roche mère est donc d'origine alluviale et colluviale. L'élément essentiel est une teneur élevée en gypse (de 20 à 40% en SO<sub>4</sub>) avec accumulation progressive croissante vers la surface du sol.

#### - Caractérisation pédologique des sols de Gabès:

Le profil pédologique réalisé dans le site montre un horizon de surface sablo-limoneux faiblement humifère, riche en calcaire, légèrement salin. A moyenne profondeur, les horizons sont à texture presque équilibrée, mais affectés par une salure importante; la matière organique est toujours faible. Le sol est riche en calcium et sodium échangeables mais faible en magnésium et potassium. En profondeur, les sols présentent une texture limono-sableuse faiblement calcaire et la matière organique est de plus en plus faible. La salinité est très élevée. La capacité d'échange cationique est assez faible, le calcaire est presque normal, le  $\text{Na}^+$  est de plus en plus élevé, le  $\text{K}^+$  et le  $\text{Mg}^{++}$  sont toujours faibles. Le sol présente un complexe absorbant de plus en plus saturé en  $\text{Na}^+$ , les niveaux potassiques et magnésiens sont faibles. En profondeur, le niveau en  $\text{Na}^+$  échangeable continue d'augmenter; il dépasse largement les 15%.

A l'encontre des sols de Nabeul, les sols de Gabès sont particulièrement pauvres en fer et en manganèse. Les taux sont inférieurs aux taux normaux des sols de culture. Les taux en zinc et en cuivre sont proches de la normale avec une légère importance du cuivre au niveau des deux horizons supérieurs. L'analyse de la composition de la solution du sol en sels solubles, réalisée sur l'extrait de la pâte saturée montre des teneurs très élevées en sulfates, en chlorures, en calcium et en sodium.

#### - Conditions édaphiques exigées pour le bon développement de l'espèce:

L'espèce *Prosopis farcta* est préférentiellement localisée sur les bords des oueds. Toutefois, là où elle prospère le mieux, c'est sur les sols considérés de bonne qualité, là elle est parfois considérée comme mauvaise herbe, facilement envahissante par ses drageons et ses racines. A cause de ses branches épineuses, elle n'est broutée par le bétail que lorsque la plante est encore jeune. La plante se développe sur des sols limoneux sableux à limoneux argileux, légèrement alcalin à alcalin. La salinité est normale (site Nabeul) ou plutôt élevée (site Gabès). La matière organique est normale voire même faible, le sol est ainsi considéré comme sol pauvre. La capacité d'échange cationique est normale, la concentration en potassium échangeable est élevée, par contre celle en phosphore assimilable est faible. Concernant les bases échangeables, le  $\text{Mg}^{++}$  et le  $\text{K}^+$  sont faibles par contre le  $\text{Ca}^{++}$  est très élevé, et le  $\text{Na}^+$  est assez élevé à élevé. Les oligo-éléments sont présents à des concentrations très élevées, notamment le fer, le cuivre et le manganèse particulièrement dans les sols de Nabeul ; cependant le Zinc est présent à des doses normales. Par rapport aux sels solubles présents dans l'extrait de la pâte saturée et qui sont nécessairement absorbés par la plante on note des concentrations élevées en  $\text{SO}_4^-$  et  $\text{Ca}^{++}$  et en  $\text{Na}^+$ .

#### **Caractérisation morphologique et anatomique des feuilles et des folioles des arbustes des deux provenances**

##### ANALYSE DE LA MORPHOLOGIE FOLIAIRE

Les feuilles de cette espèce sont petites, portant 1 à 6 paires de pennes (généralement 4 ou 6). Chaque feuille porte à sa base 2 stipules, axillaires, foliaires, auriculaires, longues de 3 à 10 mm et larges de 1.5 à 7 mm. Les pennes sont longues de 1.3 à 5.4 cm et portent 8 à 15 paires de folioles lancéolées, légèrement innervées, pubescentes ou glabres, longues de 3.2 à 10.5 mm, très caduques. Des différences hautement significatives sont relevées entre les deux provenances au seuil de 0.01% pour les variables L.fol., nb.p.penne, L.penne, esp.fol. et larg.stip., par contre aucune différences significatives n'est relevée entre les deux provenances pour les autres variables (Tableau 3). Les longueurs de la feuille et du penne ainsi que les nombres des paires de pennes et de folioles sont plus élevés chez la provenance Nabeul. Les stipules aussi sont plus larges chez Nabeul, par contre les dimensions de la foliole sont légèrement plus importantes chez Gabès.

**Tableau 3 :** Valeurs moyennes, minimales et maximales des variables relatives au feuilles du *Prosopis farcta* (provenance Nabeul et provenance Gabès )

Nabeul									
Nabeul	L.F.	Nb.p.penne	L.penne	Nb.p.fol.	L.stip.	Larg.stip.	L.fol.	Larg.fol.	Esp.fol.
v.moy.*	4,3	4,9	4,0	13,0	6,2	4,1	7,1	2,2	3,9
v.min.-v.max	2,5-5,7	1,0-6,0	1,9-5,4	8,0-15,0	5,0-10,0	2,0-7,0	3,2-10,5	1,0-4,0	1,8-7,0
Gabès									
v.moy.	2,5	3,0	2,2	11,9	5,9	2,2	7,4	2,6	2,7
v.min.-v.max	2,1-3,0	2,0-4,0	1,3-3,1	8,0-15,0	3,0-10,	1,5-4,0	4,0-10,2	1,1-3,5	1,0-5,0

\*v.moy.:valeur moyenne; v.min.:valeur minimale ; v.max. :valeur maximale

#### ANALYSE MICROSCOPIQUE DE LA SURFACE FOLIAIRE

-Taille et type d'organisation des stomates des plantes in situ:

Des différences hautement significative au seuil de 0.01% sont relevées entre les stomates des deux provenances, pour les différentes variables analysées (Tableau 4). Les stomates de la feuille de Nabeul sont plus petits que ceux de Gabès. La longueur du stomate varie généralement de 1.8 à 3.9  $\mu\text{m}$  et la largeur de 1.1 à 2.9  $\mu\text{m}$ .

**Tableau 4:** Valeurs moyennes (v.moy.), minimales (v.min.) et maximales (v.max .) des longueurs et largeurs des stomates ( $\mu\text{m}$ ) et des longueurs de l'ostiole ( $\mu\text{m}$ ) des deux provenances.

	L.st.	larg.st.	L.ost.
Nabeul			
v.moy.	20.9	9.1	12.8
v.min.-v.max.	18.3-25.0	7.5-10.0	7.5-17.5
Gabès			
v.moy.	23.8	10.9	15.7
v.min.-v.max.	17.5-26.3	8.8-13.8	7.5-20.0

L'observation microscopique de l'épiderme (MEB) des folioles des deux provenances montre que les stomates sont légèrement enfoncés sous l'épiderme, (feuille amphistomatique; ESAU, 1965) sur les deux faces, et sont accompagnés de cellules subsidiaires dans un arrangement actinocytaire ou paracytaire respectivement sur la face inférieure et supérieure (Planche 1, figures 1 et 2 ).

- Nombre et répartition des stomates et des poils suivant les faces des folioles des plantes développées in situ:

- Cas de la provenance Nabeul

Les nombres de poils relevés sur la face supérieure et inférieure des folioles montrent une différence hautement significative. Le nombre moyen des poils sur la face supérieure est nettement faible (31.3) par rapport à celui compté sur la face inférieure (123.8) par contre aucune différence significative n'est trouvée entre le nombre des stomates sur les deux faces des feuilles (Tableau 5), ce nombre est égal respectivement à 123.3 et 124.3.

- Cas de la provenance Gabès

On note que les feuilles de Gabès ont un nombre de poils très réduit, il est égal à 3.7 sur la face supérieure et 23.2 sur la face inférieure. Le nombre des stomates est par contre plus élevé, il est de 147.9 (125-178), ou 143.5 (105-172) par  $\text{mm}^2$  de surface foliaire, suivant la face considérée de la feuille. Pour Gabès aussi, les différences ne sont relevées que pour le nombre des poils (Tableau 5). Le nombre des stomates trouvé chez le *P. farcta* diffère de celui des folioles du *P. tamarugo* égal à 200 et 120 suivant les faces (SUDZUKI, 1985). Ce nombre est modifié quand il s'agit de jeunes plantes développées en serre il est égal respectivement à 217 et 97 (HULL et BLECKMANN, 1977).

**Tableau 5:** Nombre des poils et des stomates par mm<sup>2</sup> de surface foliaire suivant la face de la foliole de la provenance (plantes développées in situ).

	Nb.poils/ mm <sup>2</sup> Nb.moy.* Nb.min.-nb.max.	Nb.st./mm <sup>2</sup> Nb.moy. Nb.min.-nb.max.
Face supérieure		
Nabeul	31,3 21,0-44,0	123,3 117-132
Gabès	3,7 1,0-7,0	147,0 125,0-178,0
Face inférieure		
Nabeul	123,8 95,0-147,0	124,3 105,0-136,0
Gabès	23,2 15,0-41,0	143,5 105,0-172,0

la sous espèce *farcta* par opposition à la sous espèce *glabra* de la provenance Gabès.

## CARACTERISATION DE CHAQUE PROVENANCE

- Quelle que soit la provenance, des différences significatives sont relevées entre le nombre des poils présents sur la face supérieure et la face inférieure des folioles des plantes développées in situ. Par contre, aucune différence n'est trouvée entre le nombre de stomates présents sur les deux faces des folioles.

- L'observation de la face inférieure des folioles, permet d'identifier la variété (*glabra* ou *farcta*). En effet, les plantes de la provenance Nabeul ont des feuilles nettement pubescentes, par contre celle de Gabès sont sub-glabres. Nous pensons que ce caractère n'est pas en relation avec le climat mais il caractérise plutôt et définit cette plante comme

### Analyse de la surface foliaire par le microscope électronique à balayage (MEB)

L'observation de la surface des folioles des deux provenances nous a permis de mettre en évidence la présence d'une cuticule épaisse formée de cires. C'est une cire qui se dépose en agrégats de bâtonnets et de plaquettes (Planche 1, figures 3,4, 5, 6). Les bâtonnets sont très nombreux et très courts rapprochés et en disposition dendritique. On les a trouvés chez les deux provenances. D'autres structures particulières ont été mises en évidence à la surface des folioles de Gabès se présentant sous forme d'éléments à contours arrondis, d'où la structure granuleuse, un des 6 types de structures définis par AMELUNXEN et al. (1967). Dans ce cas, nous avons aussi supposé l'existence de glandes de sel recouvertes de cire. La cire est d'ailleurs appelée cire épicuticulaire cristalline (HULL et BLECKMANN, 1977). Au niveau des stomates nous remarquons que la cire est légèrement moins épaisse, de même une légère différence est constatée entre l'importance des dépôts au niveau des deux faces supérieures et inférieures. La présence de cire à la surface des folioles des espèces de *Prosopis* a aussi été signalée par quelques auteurs notamment BLECKMANN et HULL en 1975, et MAYEUX et al. en 1984. La cire présente à la surface de la plante permet de retenir les gouttelettes d'eau. Dans le cas de Nabeul les bâtonnets sont apparemment moins épais et plus rapprochés que dans le cas de Gabès, chez qui d'ailleurs les stomates sont moins recouverts par la cire.

### Particularités anatomiques des folioles du *Prosopis farcta*

#### ANATOMIE DES FOLIOLES DES PLANTES *in situ*

Différentes mesures ont été effectuées sur les cellules qui constituent les tissus des folioles afin de mieux les caractériser suivant la provenance et de ressortir les particularités structurales et écologiques. Les données relevées sont reportées au tableau 6.

**Tableau 6 :** Mesures effectuées sur les cellules les plus représentatives des tissus des folioles chez les deux provenances

provenance	H.épi.	Larg.épi.	Epais.cuticule	H.p.p.	Larg.p.p
<b>Gabès</b>					
v.moy.	19,3	24,0	3,8	29,3	10,3
v.min.-nb.max	12,5-25,0	15,0-32,0	2,5-5,0	17,5-42,5	7,5-12,5
<b>Nabeul</b>					
v.moy.	28,5	24,6	2,9	27,1	11,0
v.min.-nb.max.	17,5-37,5	17,5-40,0	2,5-3,8	20,0-37,5	7,5-15,0

L'analyse de la variance (au seuil de 0.01%) montre une différence hautement significative entre les hauteurs des cellules épidermiques (H.épi.) des folioles chez les deux provenances, par contre aucune différence n'est relevée pour les autres caractères analysés.

L'analyse de la coupe transversale des folioles des plantes développées in situ

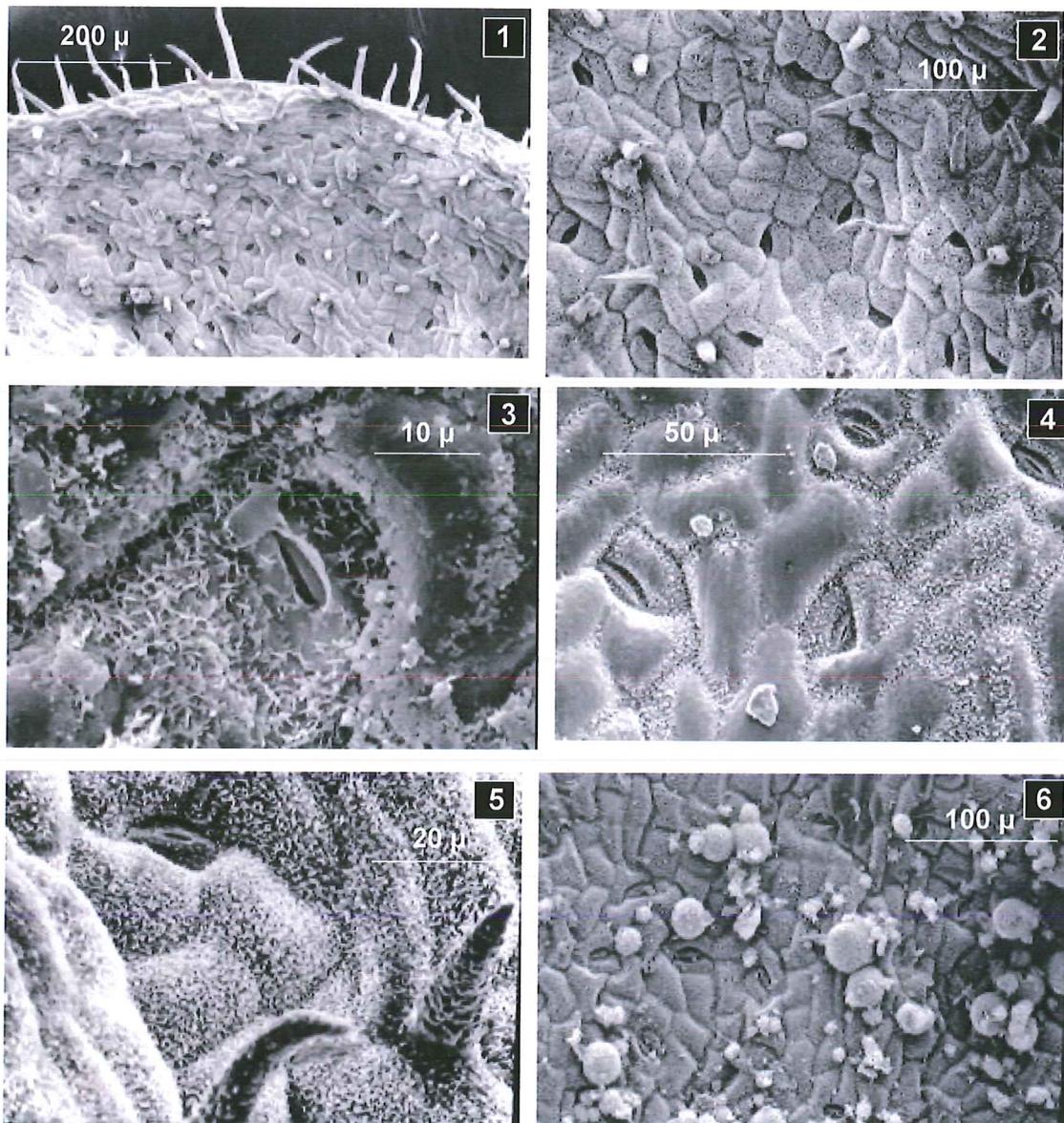


Planche 1: analyse de la surface foliaire (MEB)

Fig. 1: vue générale de la surface foliaire Fig. 2: disposition des stomates Fig. 3: détail d'un stomate et de la cire disposée sous deux formes: bâtonnets et plaques Fig. 4: détail de la cire déposée en plaques Fig. 5: vue détaillée de la cire (face supérieure) Fig. 6: protubérances de cire sur les folioles de la provenance Gabès.



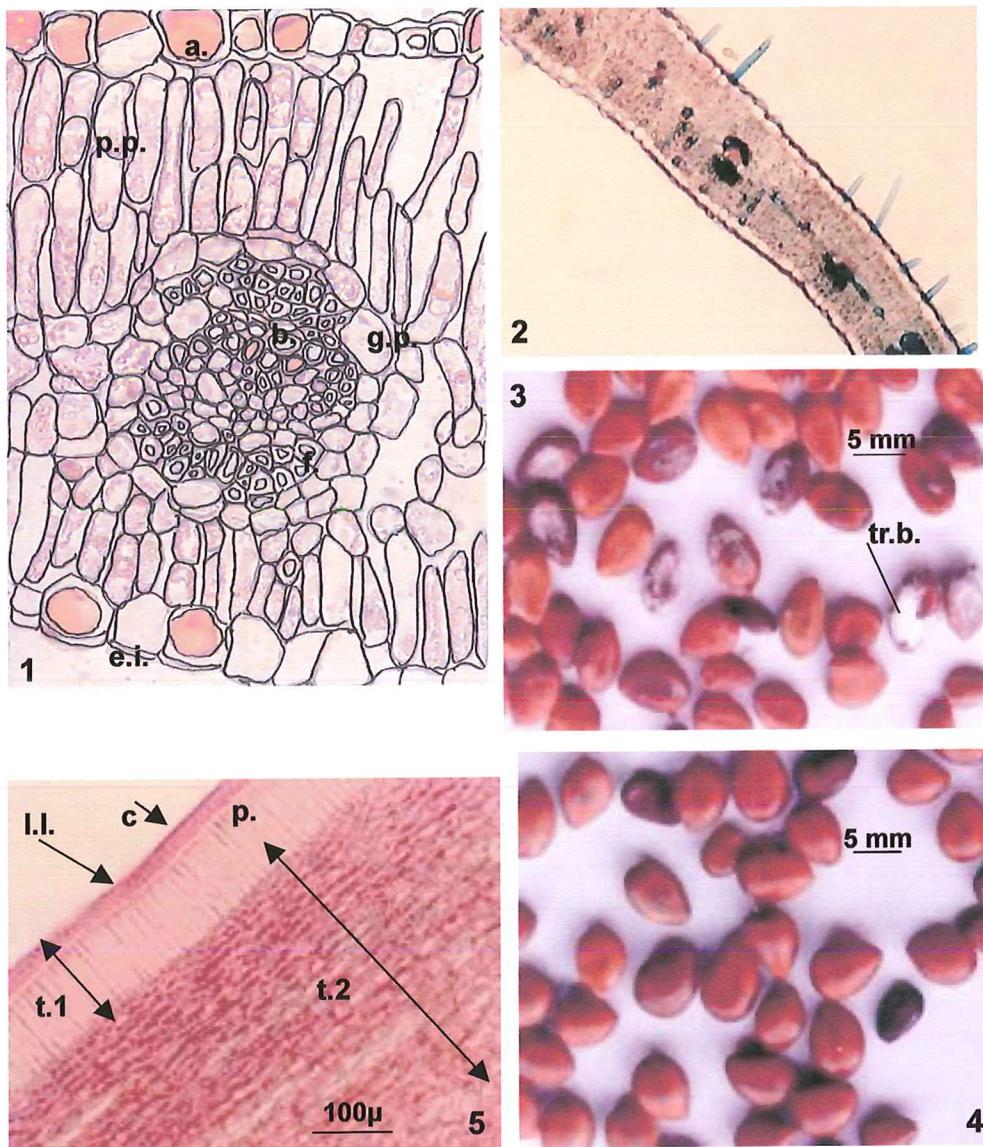


Planche 2: anatomie de la foliole

Fig. 1: C.T.de la foliole Fig. 2: représentation schématique d'une partie de la C.T.de la foliole  
 Fig. 3: graines triées de la provenance Gabès Fig. 4: graines triées de la provenance Nabeul  
 Fig. 5: C.T.des téguments

p.p.: parenchyme palissadique; g.p.: gaine périvasculaire; e.i.: épiderme inférieur; f.: fibres;  
 b.: bois; p.: pleurogram; tr.b.: traînées blanchâtres; c.: cuticule; t.1: tégument 1; l.l.: Ligne  
 lumineuse



montre que :

- l'épiderme est recouvert d'une cuticule d'épaisseur variable suivant la provenance. L'épiderme est formé d'une seule couche de cellules de forme et de taille irrégulières remplies d'alkaloïdes. Certaines sont bien développées et ont une hauteur de 19.3  $\mu\text{m}$  chez la provenance Gabès. Elles atteignent 28.5  $\mu\text{m}$  pour la provenance Nabeul; certaines cellules sont presque arrondies. Chez cette dernière provenance on remarque la présence de cellules bien grandes situées sous quelques cellules épidermiques, caractérisées par la transparence et le manque d'affinité aux colorants. Le mésophylle isobilatéral est formé par un parenchyme palissadique organisé sous les deux épidermes; formé par 3 couches de cellules allongées placées sous l'épiderme supérieur et par 2 ou rarement 3 couches sous l'épiderme inférieur. Les cellules situées au niveau de la face supérieure sont plus longues et plus étroites par opposition à celles situées du côté de la face inférieure qui sont plus larges et moins hautes (Planche 2, figures 1 et 2).

- certaines cellules palissadiques, particulièrement placées sous l'épiderme, fixent et accumulent des minéraux (oxalate de calcium). Leur nombre est variable suivant la face et la provenance. Par contre, nous n'avons pas trouvé les cellules spéciales coniques remplies de mucilage alcaloïdes, ce qui permet de capter l'humidité atmosphérique, comme chez le *P. tamarugo* (SUDZUKI, 1985 ; SERRATO-VALENTI *et al.*, 1989). D'après cet auteur leur absence indique la présence d'eau à côté des plantations à base de *Prosopis*. Le mésophylle est généralement continu et on trouve rarement des lacunes. Quelques cellules de réserve larges isodiamétriques sont localisées particulièrement au centre de la coupe transversale de la feuille entre les deux parenchymes palissadiques supérieur et inférieur ou proches du faisceau conducteur. L'absence de lacunes renseigne sur le régime hydrique de la plante qui est dans notre cas non irriguée.

- les tissus conducteurs sont constitués de faisceaux collatéraux, on en compte suivant les feuilles 2 ou 3 bien développés; d'autres, plus petits, sont disposés entre les grands faisceaux. Souvent, le phloème du faisceau central a une structure primaire; il est plus développé que le xylème et contient des cellules larges transparentes. Des fibres sont placées au dessus et en dessous des tissus conducteurs. Dans le xylème et le phloème il y a des idioblastes contenant des cristaux polygonaux. Une gaine péri-vasculaire est observée autour du faisceau conducteur central dont les cellules apparaissent claires et de forme arrondie bien développées entourant presque tout le faisceau sauf au dessus du xylème où elles ne se forment pas. La présence de cette gaine nous permet de confirmer que cette espèce est du type C4 .

Plusieurs caractères xéromorphiques ont été relevés notamment la taille réduite des folioles, l'épaisseur du mésophylle, le parenchyme palissadique bien développé, le parenchyme lacuneux presque absent, les cellules de réserves isodiamétrique plus grandes que celles du mésophylle dispersées dans celui-ci mais plus abondantes à côté des faisceaux conducteurs, le sclérenchyme développé sous forme de fibres ce qui réduit l'effet du flétrissement des feuilles, les parois cellulaires épaisses, la présence de cuticule et de la cire. Tous ces éléments attestent une adaptation de la plante à un climat xérique caractérisé par des périodes sèches prolongées.

La présence de la gaine périvasculaire nous laisse supposer que la plante a une photosynthèse de type C4; ceci n'a toutefois pas été vérifié et nous n'avons pas trouvé de réponses dans la littérature consultée.

### **Description florale**

Les résultats de l'étude des caractéristiques florales des deux provenances sont répertoriés au tableau 7. Des différences hautement significatives au seuil de 0.01% sont relevées pour les différentes variables étudiées à part les variables relatives aux longueurs de l'ovaire, du pétale et de l'anthere. Les fleurs de Nabeul sont produites en plus grande quantité et le racème qui les porte est plus long.

Toutes les fleurs ne s'épanouissent pas au même moment. Plusieurs fleurs tombent avant la

maturation. On pense que la plante présente d'une part une adaptation à une autofécondation réalisée avant l'ouverture du bouton floral, suivie d'une pollinisation croisée qui augmente les chances de la fécondation de l'ovaire. PALACIOS et BRAVO (1981) pensent plutôt que chez quelques *Prosopis* les fleurs ne sont pas réceptrices à ce stade. On remarque que le nombre des ovaires fécondés est faible, il est de 2 à 4 généralement 1 ou 0.

La plante est mellifère; en effet, quand la plante est en pleine floraison, les abeilles sont abondantes au dessus des arbustes. De plus, plusieurs caractères morphologiques nous font croire à une pollinisation entomophile. En effet, on remarque la présence de glandes au niveau des feuilles et de l'anthere, les fleurs sont petites, nombreuses, groupées en racèmes et le stigmate est concave.

Tableau 7: Caractéristiques morphologiques des fleurs de *Prosopis farcta* (provenances Nabeul et Gabès).

	L.rac.	Nb.fl./rac	L.fl.ouv	L.S.	L.P.	L.E.	L.Fil.	L.ant.	L.stipe	L.gy.	L.ov.	L.stg.
<b>Nabeul</b>												
v.moy.	9,6	43,1	6,8	1,9	4,5	4,8	3,7	1,0	0,8	6,8	2,5	2,6
v.min.-v.max.	8,0-12,6	34,0-52,0	6,3-7,1	1,5-2,0	4,0-5,0	4,0-5,5	3,0-4,5	1,0-1,0	0,5-1,0	6,5-7,0	2,5-2,5	2,0-3,0
<b>Gabès</b>												
v.moy.	6,7	39,3	5,8	1,0	4,8	5,8	4,8	1,0	0,1	6,5	2,5	3,5
v.min.-v.max.	4,2-6,5	26,0-68,0	5,5-6,0	1,0-1,0	4,5-5,0	5,5-6,0	4,5-5,0	1,0-1,0	0,1-0,1	6,5-6,5	2,5-2,5	3,5-3,5

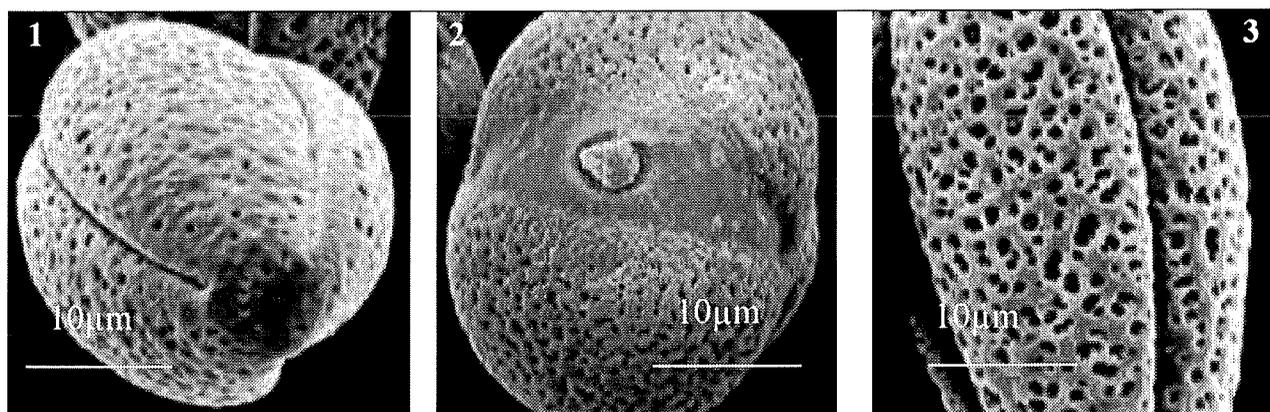
## Le Pollen

Le pollen du *Prosopis farcta* est typique d'une plante Mimosée (GUINET et BESSEDIK, 1984). Il est simple, tricolporé à endoaperture légèrement granuleuse bordée d'un épaissement de l'exine. Les sillons sont à membrane lisse sauf au niveau du côté proche de l'endoaperture. L'exine est à structure columellaire, plus épaisse aux pôles. Le tectum est perforé portant des aréoles éparses plus ou moins arrondies (Planche 3, figures 1,2, 3).

Le pollen de la provenance Gabès est presque arrondi à exine plus épaisse, les endoapertures sont proéminentes au milieu des sillons. Celui de la provenance Nabeul est par contre elliptique à endoapertures plus étroites moins visibles. L'exine est légèrement plus lisse (HARZALLAH-SKHIRI, 2003)

L'étude comparative du pollen des deux provenances réalisée par HARZALLAH-SKHIRI (1999) a montré une différence hautement significative entre les longueurs respectives de l'axe équatorial des grains de pollen de la provenance Nabeul et de la provenance Gabès. Par contre, aucune différence n'est relevée entre les longueurs polaires des pollens de deux provenances.

Planche 3. Le pollen de *P. farcta*. fig.1- vue polaire; fig.2 - pollen vue du côté de l'aperture ; fig.3 - détail de l'exine.



**Tableau 8:** Caractéristiques morphologiques des gousses **Les gousses**  
des deux provenances

Nabeul	L.g.	Larg.g.	Epais.g.	Nb.gr.g.
<b>Nabeul</b>				
v.moy.	2,8	1,6	1,7	5,0
v.min.-v.max	1,5-4,1	1,0-1,9	1,2-2,1	2,0-10,0
<b>Gabès</b>				
v.moy.	2,4	1,3	1,5	1,7
v.min.-v.max	1,4-3,1	0,7-2,1	0,7-2,3	0,0-5,0

Les caractéristiques morphologiques des gousses des deux provenances sont reportées au tableau 8. Des différences hautement significatives sont trouvées entre les deux provenances pour les différentes variables analysées. La longueur, la largeur et l'épaisseur des gousses de Nabeul sont plus élevées que celles mesurées pour les gousses de Gabès.

On note aussi que le nombre moyen des graines par gousse est nettement réduit dans le cas de Gabès, il est égal à 1.7. Le nombre moyen des graines par gousse est déterminé sur un échantillon de 150 gousses. A titre d'exemple, 1 kg de gousses de la provenance Gabès comprend 1290 gousses, une gousse pèse en moyenne 0.77 g et 100 graines pèsent 9.0 g. La coloration et l'aspect extérieur des gousses changent avec la maturation du fruit et suivant la provenance.

Les gousses de la provenance Gabès sont jaune vert, puis beige marron et à la fin de leur maturation marron foncé. Celles de Nabeul sont plutôt jaune ocre, puis jaune rouge-brun et à la fin de la maturation marron noir. L'épicarpe des gousses de Gabès est lisse et brillant celui des gousses de Nabeul est plutôt rugueux et mat.

### Les graines

#### DESCRIPTION ET ETUDE COMPARATIVE

Les graines sont transversales dans la gousse, attachées sur la ligne placentaire par leur funicule allongé. Elles ont une forme sub-sphérique allongée. Une ligne fissurale est imprimée sur le tégument externe ayant la forme d'un fer à cheval avec les deux bords pointant du côté du hile. Cette ligne fissurale est appelée pleurogram ou écusson et caractérise les graines des Mimosées. Les mesures des différentes variables relatives aux graines et la description de celles ci est sont répertoriées au tableau 9. La longueur et la largeur des graines des deux provenances montrent des différences hautement significatives. Par contre, aucune différence significative n'est trouvée pour la variable larg. Fissu. Les graines de Nabeul sont plus longues (7.6 mm) et larges (5.2 mm) que celles de Gabès (respectivement 6.3 et 4.5 mm).

**Tableau 9:** Caractéristiques morphologiques des graines matures du *Prosopis farcta*

provenance	L.gr.	larg.gr.	Larg.fissu.	aspect extérieur	Infection de la surface	coloration
<b>Nabeul</b>						
v.moy.	7,6	5,2	2,8	rugueux et mat	fréquente	beige clair à marron foncé
v.min.-v.max	5,5-9,6	3,4-6,0	1,9-3,3			
<b>Gabès</b>						
v.moy.	6,3	4,5	2,8	lisse luisant	rare	moka à marron
v.min.-v.max	4,1-8,0	3,0-5,9	1,5-3,8			

#### ETAT DES GRAINES RECOLTEES ET DE LEUR TEGUMENTS

##### - Les graines de Gabès

150 gousses donnent 255 graines dont 78% sont apparemment saines et lisses, 4% sont mates et présentent des traînées blanchâtres à la surface, 18% sont rabougries et déformées.

##### - Les graines de Nabeul

Nous avons remarqué que la surface des graines de Nabeul montre fréquemment une attaque fongique plus importante que chez Gabès, visible à l'œil nu sous forme de traînées blanchâtres. 150 gousses donnent 750 graines dont la taille et l'aspect diffèrent par rapport à celles de. 40 % des graines sont apparemment saines, à téguments lisses et brillants, 10% sont mates, 26% présen-

tent des traînées blanchâtres à la surface, 24% sont rabougries. Les graines ont une coloration beige clair à marron. Comparativement chez le *Prosopis alba* 70% des graines sont considérées comme bonnes et 65% dans le cas de l'espèce *P. flexuosa* (CATALAN et MACCHIAVELLI, 1991). Le nombre des graines produites par Nabeul est très élevé par rapport à celui fourni par les gousses de Gabès, seulement ceci est compensé par la présence d'un nombre important de graines apparemment infectées.

#### ANATOMIE STRUCTURALE DES GRAINES

Les résultats des mesures effectuées sur les constituants de la graine observée en coupe longitudinale sont reportés au tableau 10.

**Tableau 10:** Dimensions des différents constituants de la graine de *Prosopis farcta* suivant la provenance

provenance	L.gr.	L.emb.	Epais.tégt.1	Epais.tégt.2	Epais.1/2albumen	Épais.emb.
<b>Nabeul</b>						
v.moy.	9,6	8,1	118,7	247,0	1120,6	1570,0
v.min.-v.max	8,5-10,5	7,0-9,0	100,0-150,0	175,0-325,0	875,0-1425,0	1425,0-1850,0
<b>Gabès</b>						
v.moy.	11,2	9,7	111,5	247,5	937,5	1500,0
v.min.-v.max	10,0-12,5	8,8-11,0	75,0-125,0	212,5-247,5	600,0-1100,0	1050,0-1650,0

La coupe longitudinale de la graine montre de l'extérieur vers l'intérieur et dans le sens de la largeur de la graine :

-Le tégument 1 est formé par la cuticule, très fine, couvrant une couche de cellules palissadiques. En coupe transversale les cellules palissadiques sont allongées et juxtaposées ayant une paroi épaissie particulièrement du côté proche de la surface et du côté qui lui est opposé. L'épaisseur varie entre 100.0 et 150  $\mu\text{m}$  pour une valeur moyenne de 118.7  $\mu\text{m}$  dans le cas de Gabès. L'épaisseur de ce tégument est plus faible pour Nabeul et elle varie entre 75.0 et 125.0  $\mu\text{m}$  avec une moyenne de 111,5  $\mu\text{m}$ .

Une ligne appelée ligne lumineuse (CORNER, 1951) apparaît parallèle à la surface du tégument bien visible dans les cellules palissadiques. Parmi les cellules palissadiques nous n'avons pas pu distinguer des cellules riches en substances sombres comme avaient précisé WERKER et al. (1973).

-le tégument 2 formé des cellules du parenchyme sclérifié appelé aussi mésophylle (CORNER, 1951 et 1976). Ces cellules constituent la plus grande partie du tégument des graines. L'épaisseur moyenne des couches le constituant est égale à 247.0  $\mu\text{m}$  (Gabès) et 247.5  $\mu\text{m}$  (Nabeul). Elles correspondent en 21 couches à parois épaisses cellulodiques (et non pas sclérifié) par contre nous n'avons pas distingué comme KHUAIRI (1956) la présence de méats ni la forme en citrouille de certaines cellules. Les cellules ont une taille réduite dans la région externe mais deviennent de plus en plus grande vers l'intérieur de la graine, pour redevenir moins grande en contact avec l'endosperme. Leur nombre augmente à 25 sous le micropyle. Elles comprennent uniquement de 6 à 12 rangées de cellules avec des parois non lignifiées chez les téguments des graines de l'espèce *tamarugo* (SERRATO VALENTI et al, 1986). Nous n'avons pas distingué comme CORNER pour le *P. tamarugo* (1951) la présence de cellules internes en forme de sablier. D'ailleurs, WERKER et al. (1973) aussi n'ont pas trouvé de cellules en sablier. Les cellules sont plutôt arrondies, puis plus grandes elliptiques et couchées ou allongées parallèlement à la surface de la graine.

-L'endosperme se détache facilement du tégument interne (t.2); il représente 49% de la graine de Gabès et 45% de la graine de Nabeul. Il en constitue par contre uniquement 25% chez le *P. velutina* (BECKER et GROSJEAN, 1980). SERRATO-VALENTI et al. (1986) trouvent que, pour les graines de *Prosopis tamarugo*, l'albumen est formé de cellules à parois épaisses dont une partie est non cellulaire riche en mucilage.

Nous n'avons pas trouvé ces caractéristiques, toutes les cellules sont identiques, polygonales et à parois minces.

L'endosperme est plus épais au centre de la graine juste sous le pleurogram puis se réduit sous les cotylédons et il disparaît sur les côtés de part et d'autre de la radicule de l'embryon et du côté opposé à celle-ci. L'épaisseur de cet albumen varie suivant la provenance bien qu'on n'ait pas trouvé des différences significatives entre les deux provenances pour la plupart des variables étudiées à part les longueurs respectives de l'embryon et de la graine.

-L'embryon est localisé au centre de la graine, il représente 37 % (Nabeul) ou 35 % (Gabès) de celle-ci. Il est particulièrement caractérisé par une radicule développée, épaisse et courte. Les cotylédons sont droits et assez bien développés, formés de 3 couches de cellules palissadiques et de plusieurs couches de cellules plus ou moins arrondies. La longueur de l'embryon représente 46% de la longueur totale de la graine.

Dans le cas de la provenance Nabeul, les téguments, l'albumen et l'embryon représentent respectivement 18, 45 et 37% de la largeur de la graine, Pour Gabès ils correspondent à 16, 49 et 35%. L'embryon est plus développé chez Gabès par contre les téguments sont moins épais chez Nabeul.

## CONCLUSIONS

Plusieurs différences sont relevées entre les folioles, les fleurs et le pollen, les gousses et les graines des deux populations de *Prosopis farcta* qui ont évolué différemment suivant les conditions climatiques, géographiques et édaphiques propres à chaque station. Les différences qui ont été mises en évidence intéressent particulièrement la taille des feuilles et des folioles, le nombre des poils, aussi bien que la forme, et la couleur, des graines et des gousses. Ce qui nous a permis de supposer l'existence d'écotypes bien adaptés aux conditions climatiques et pédologiques de leurs sites d'évolution. Nous n'avons tout de même pas écarté la possibilité de présence de deux variétés : *Prosopis farcta* variété *farcta* (provenance Nabeul) et *Prosopis farcta* variété *glabra* (provenance Gabès). Une caractérisation de l'ADN de chacun est indispensable.

Cette analyse a montré que le *P. farcta* est bien adapté aux climats secs et désertiques. En effet, la réduction de la taille du système foliaire, le port buissonneux, la présence d'organes souterrains développés riches en substances de réserve, la présence de la cuticule et de la cire à la surface des folioles, l'anatomie du système foliaire, autant de spécificités qui justifient le caractère aussi bien xérophile que mésophyte (VILLAGRA, 1997) de cette espèce.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement le Professeur Monique Simmonds qui nous a permis de travailler dans le laboratoire de Biologie végétale au Jodral laboratory, Royal Botanic Gardens à Kew, et de réaliser nos observations sur le MEB.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AMELUNXEN F., MORGENROTH K. et PICKSAK T., 1967- Untersuchungen an der epidermis mit dem stereo-scan-electronenmikroskop. *Z. Pflanzenphysiol.* 57:79-95.
- BECKER R. et GROSJEAN O.K., 1980- A compositional study of pods of two varieties of mesquite (*Prosopis glandulosa*, *P. velutina*). *J. Agr. Food Chem.*, 28: 22-25.
- BLECKMANN C.A. et HULL H.M., 1975- Leaf and cotyledon surface ultrastructure of five *Prosopis* species. *Journal of Arizona Academy of Science.* 10: 98-105.
- BURKART A., 1976 -A monography of the genus *Prosopis* (Leguminosae Subfam. Mimosoideae). *Journal of the Arnold Arboretum*, 57 (3) : 219-249, 450-525.
- CATALAN L.A. et MACCHIARELLI R.E., 1991- Improving germination in *Prosopis flexuosa* D.C. and *P. alba* Griseb. with hot water treatments and scarification. *Seed science and technology*, 19, 253-262.
- CORNER E. J. H., 1951 - The Leguminous seeds. *Phytomorphology*, Août 1951, 117-150
- CORNER E.J.H., 1976- The seeds of Dicotyledons. University Press, Cambridge. 1: 161-173
- ERDTMAN G., 1960- The acetolysis method. *Svensk Botanisk Tidskrift*, 54, 4 :561-565.
- ESAU K., 1965 - Anatomy of seed plants. John Wiley ed. New York, USA, pp.549

- GUINET Ph. et BESSEDIK M., 1984.- Présence du genre *Prosopis* (Leguminosae-Mimosoideae) à l'aquitainien basal dans l'Aude (Languedoc-France). *Pollen et spores*, Vol. XXVI, N 1 :101-108.
- HARZALLAH-SKHIRI F., 1999- Caractérisation pollinique de deux provenances de *Prosopis farcta* en Tunisie. *Géo-Eco-Trop*, numéro spécial (22), 217-226. Actes du 4ème symposium de palynologie africaine (Sousse, Tunisie) 25-30 avril 1999.
- HARZALLAH-SKHIRI F. (2003) Le *Prosopis* en Tunisie : diversité biologique aptitudes, morphogénétique et adaptations aux conditions édapho-climatiques, Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences de Tunis, Tunisie, 2 juillet 2003, 268 pp.
- HULL H.M., et Bleckmann C.A., 1977- An unusual epicuticular wax ultrastructure on leaves of *Prosopis tamarugo* (Leguminosae) *Am. J. Bot.* 64(9):1083-1091.
- KHUDAIRI A.K. 1956 - Breaking the dormancy of *Prosopis* seeds. *Physiologia Plantarum.* 9 : 452-461.
- MAYEUX H.S., JR., et JORDAN W.R., 1984 - Variation in amounts of epicuticular wax on leaves of *Prosopis glandulosa*. *Bot. Gaz.*, 145 (1) : 26-32.
- PALACIOS R.A. et BRAVO L.D., 1981- Hibridacion natural en *Prosopis* (Leguminosae) en la region chaquena argentina. Evidencias morfológicas y cromatograficas. *Darwiniana* 23 (1) : 3-35.
- POTTIER-ALAPETITE G., 1979 - Flore de la Tunisie: Angiospermes-Dicotylédones, Apétales Dialypétales. Publications Scientifiques tunisiennes. p : 293.
- SERRATO-VALENTI G., Modenesi P., Roti-Michelozzi G., et Bevilacqua L., 1986 -Structural and histochemical characters of the *Prosopis tamarugo* Phil. seed coat, in relation to its hardness. *Acta Bot. Neerl.*, 35 (4): 475-487.
- SERRATO-VALENTI G., MELONE L., MODENESI P. et BOZZINI A., 1989 - Leaflet structure of *Prosopis tamarugo* Phil. (Leguminosae) and its water uptake. *Phytomorphology*, septembre-décembre; 39(2,3) :181-188.
- SUDZUKI F., 1985- Environmental influence on foliar anatomy of *P. tamarugo* Phil. In: the current state of knowledge on *Prosopis tamarugo*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. M.A. Habit
- VILLAGRA P.E., 1997- Germination of *Prosopis argentina* and *P. alpataco* seeds under saline conditions. *Journal of arid environments*, 37(2): 261-267.
- WERKER E., DAFNI A. et NEGBI M., 1973 - Variability in *Prosopis farcta* in Israel: Anatomical features of the seed. *Bot. J. Linn. Soc.*, 66 :223-232.