

Analyse de la diversité génétique de cultivars tunisiens de figuier (*Ficus carica* L.) à l'aide de caractères morphologiques

Khaled CHATTI^a, Amel SALHI-HANNACHI^a, Messaoud MARS^b, Mohamed MARRAKCHI^a, Mokhtar TRIFI^{a*}

^a Laboratoire de génétique moléculaire, immunologie et biotechnologie, Faculté des sciences de Tunis, Campus universitaire, 2092 El Manar Tunis, Tunisie
Mokhtar.T@fst.rnu.tn

^b École supérieure d'horticulture et d'élevage, 4042 Chott Mariam, Sousse, Tunisie

Analysis of genetic diversity of Tunisian fig tree cultivars (*Ficus carica* L.) using morphological characteristics.

Abstract — Introduction. A study was carried out to evaluate the genetic variability of a fig tree (*Ficus carica* L.) gene bank established in the Tunisian Sahel area. It was based on the observation of morphological characters relating to the tree's vegetative development. **Materials and methods.** Leaf and branch characteristics of 17 Tunisian fig tree ecotypes were measured with two trees sampled per cultivar. The results were subjected to variance and multivariate analyses which made it possible to obtain a correlation matrix between measured characters and a Mahalanobis' distance table for the ecotypes. **Results and discussion.** The intracultivar variability appeared to be very low. On the other hand, intercultivar diversity appears to be very important, independent of the geographical origin or the plant sex. **Conclusion.** Some morphological parameters allowed a good differentiation of the cultivars studied. They could be used as descriptors for classifying this species.

Tunisia / *Ficus carica* / germplasm collections / genetic variation / dendrometry

Analyse de la diversité génétique de cultivars tunisiens de figuier (*Ficus carica* L.) à l'aide de caractères morphologiques.

Résumé — Introduction. Une étude a été réalisée pour évaluer la variabilité génétique d'une collection d'écotypes de figuier (*Ficus carica* L.) établie dans la région du Sahel, en Tunisie. Elle a été basée sur l'observation de caractères morphologiques relatifs au développement végétatif de l'arbre. **Matériel et méthodes.** Les mensurations de feuilles et rameaux de 17 écotypes de figuiers tunisiens ont été mesurées à raison de deux arbres échantillonnés par cultivar. Les résultats ont été soumis à une analyse de variance et à des analyses multivariées qui ont permis d'obtenir une matrice des corrélations entre caractères mesurés et une table des distances de Mahalanobis entre les écotypes. **Résultats et discussion.** La variabilité intracultivar s'est révélée très faible. En revanche, la diversité intercultivar apparaît très importante et cela indépendamment de l'origine géographique et du sexe de la plante. **Conclusion.** Quelques paramètres morphologiques ont permis de bien différencier les cultivars. Ils pourraient être utilisés comme descripteurs chez cette espèce.

* Correspondance et tirés à part

Reçu le 10 avril 2003
Accepté le 7 août 2003

Fruits, 2004, vol. 59, p. 49–61
© 2004 Cirad/EDP Sciences
All rights reserved
DOI: 10.1051/fruits:2004006

RESUMEN ESPAÑOL, p. 61

Tunisie / *Ficus carica* / collection de matériel génétique / variation génétique / dendrométrie

1. Introduction

Le figuier (*Ficus carica* L.) est une espèce diploïde ($2n = 26$) de la famille des moracées, bien adaptée aux conditions bioclimatiques des pays du Bassin méditerranéen. C'est la seule espèce de cette famille cultivée pour ses fruits comestibles [1, 2].

En Tunisie, *F. carica* est présent dans toutes les régions, dans des conditions environnementales diversifiées. Cependant, sa culture reste sporadique et ce, en dépit de la richesse de ce patrimoine phytogénétique et de son ancienneté [3]. En effet, cet arbre fruitier est considéré comme secondaire et parfois cultivé sur les pourtours des vergers pour les protéger. Les fruits sont essentiellement destinés au marché local et consommés frais ou séchés. Ils font toutefois l'objet d'une utilisation secondaire dans l'industrie agroalimentaire pour la fabrication de confiture, de vinaigre et d'eau-de-vie [4].

La marginalisation de la culture de *F. carica*, allée à une urbanisation intensive des terres agricoles, expose l'espèce à une érosion génétique sévère. Il est donc impératif de mettre en place une stratégie de sauvegarde visant à préserver et à protéger ce patrimoine. Plusieurs prospections ont donc été réalisées à travers le pays afin de dresser un inventaire des écotypes cultivés dans chaque région et d'identifier des cultivars aux caractéristiques agronomiques et écologiques particulières. Ainsi, quatre collections ont été établies :

- trois dans le sud, à l'Institut des régions arides de Médénine (IRA), au Centre de recherches phénicoles de Degâche (CRPh) et au Commissariat régional du développement agricole de Gafsa (CRDA),
- une dans la région du Sahel, à l'École supérieure d'horticulture et d'élevage de Chott Mariam (ESHE) [3, 5].

Si les collections du sud ont fait l'objet de quelques recherches sur la caractérisation morphologique de leurs accessions, ces travaux sont fragmentaires et limités [5–7]. Ainsi, le nombre des cultivars répertoriés, initialement estimé à une cinquantaine, n'a

pu être évalué avec précision du fait de fausses appellations (homonymie et synonymie).

La collection établie à l'ESHE de Chott Mariam reste la moins étudiée et ce, en dépit de l'importance agronomique de ses cultivars. Nos travaux se sont donc particulièrement intéressés aux écotypes de cette collection. Afin d'en évaluer la diversité génétique, nous avons examiné les caractères morphologiques liés au développement végétatif de l'arbre.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel biologique

L'étude a porté sur 17 écotypes de figuier appartenant à la collection maintenue à l'ESHE de Chott Mariam (*tableau I*). Il s'agit de quinze figuiers domestiques, bien répartis dans les vergers du Sahel tunisien, et de deux caprifiguiers, ou pollinisateurs, Assafri et Jrani. Les arbres adultes sont plantés à $8\text{ m} \times 8\text{ m}$ et conduits sans irrigation et sans aucun traitement phytosanitaire.

2.2. Caractères morphologiques

Les caractères étudiés ont concerné le développement végétatif de l'arbre et, en particulier, la mesure de certains paramètres caractérisant la croissance des feuilles et des pousses développées au cours des années 2000 et 2001. Pour chaque écotyle, les mesures ont été effectuées sur deux arbres et, pour chaque arbre, sur six rameaux choisis sur les côtés Sud, Nord-Est et Nord-Ouest, à raison de deux rameaux par exposition.

Compte tenu du polymorphisme des feuilles de l'espèce *F. carica*, les mesures ont été effectuées sur un échantillon de 20 feuilles appartenant au type foliaire dominant, que nous avons préalablement déterminé.

Toutes les mesures morphométriques ont été réalisées à l'aide d'une règle plate et d'un pied à coulisse à affichage numérique.

2.3. Analyses statistiques

Les données obtenues ont été soumises à différentes analyses statistiques en utilisant le logiciel SAS (Statistical Analysis System) [8] :

– analyse de variance à un seul facteur de classification portant sur les caractères considérés séparément,

– analyse en composantes principales (ACP) [6] et analyse canonique discriminante, qui fournit les distances phénotypiques de Mahalanobis [7] pour les paramètres pris conjointement.

Un dendrogramme de classification a été établi à partir de ces distances pour traduire les relations phylogéniques existant entre les cultivars étudiés. La comparaison des moyennes a été effectuée par le test de Duncan [9].

3. Résultats

3.1. Détermination du type foliaire dominant

Le type foliaire dominant a été déterminé en prélevant 100 feuilles par arbre. Pour un même arbre, les feuilles ont présenté un nombre de lobes variable selon le cultivar (*tableau II*). Malgré ce fort polymorphisme, quel que soit le cultivar, ce sont les feuilles trilobées qui se sont révélées majoritaires. Ce type de feuille a donc été retenu pour effectuer toutes les mesures foliaires.

3.2. Analyse des caractères pris séparément

L'analyse de variance des caractères pris séparément (*tableau III*) montre que, à l'exception de la « longueur du deuxième entre-nœud des rameaux formés pendant l'année 2000 » (exception qui s'expliquerait notamment du fait des conditions environnementales défavorables qui ont sévi au cours de l'année 2000), tous les caractères ont présenté des différences significatives ou hautement significatives entre les cultivars.

La comparaison des moyennes deux à deux par le test de Duncan a révélé quelques caractères qui permettent de distinguer

Tableau I.

Liste et origine des écotypes de la collection de *Ficus carica* L. maintenue par l'École supérieure d'horticulture et d'élevage à Chott Mariam (Tunisie), utilisés pour une étude de la diversité génétique des figuiers tunisiens.

Numéro	Nom	Origine
1	Soltani 1	Ouardanine
2	Soltani 2	Kalaa Kebira
3	Kahli 1	Kalaa Kebira
4	Kahli 2	Enfidha
5	Hemri 1	Enfidha
6	Hemri 2	Ghadhabna
7	Bither Abiadh 1	Mesjed Aissa
8	Bither Abiadh 2	Chott Mariam
9	Bither Abiadh 3	Khamara
10	Bidhi 1	Kalaa Kebira
11	Bidhi 2	Khamara
12	Baghali	Mesjed Aissa
13	Zidi	Mesjed Aissa
14	Besbessi	Mesjed Aissa
15	Goutti	Chott Mariam
16	Jrani*	Ghadhabna
17	Assafri*	Ghadhabna

* Caprifiguiers, ou pollinisateurs.

Tableau II.

Pourcentage des types de feuille observés sur 17 cultivars analysés dans le cadre d'une étude de la diversité génétique des figuiers tunisiens.

Cultivar	Pourcentage de feuilles à			
	1 lobe	2 lobes	3 lobes	5 lobes
Assafri	25	0	75	0
Baghali	5	0	95	0
Besbessi	0	0	87	13
Bidhi 1	0	0	82	18
Bidhi 2	4	2	88	6
Bither Abiadh 1	1	0	94	5
Bither Abiadh 2	0	0	83	17
Bither Abiadh 3	4	0	70	26
Goutti	5	1	94	0
Hemri 1	0	0	100	0
Hemri 2	0	0	93	7
Jrani	18	1	81	0
Kahli 1	0	0	83	17
Kahli 2	0	0	85	15
Soltani 1	0	0	97	3
Soltani 2	0	0	60	40
Zidi	45	0	55	0

Tableau III.

Analyse de variance à un seul facteur de classification effectuée sur des variables touchant le développement végétatif de figuiers, mesurées sur 17 cultivars d'une collection de *Ficus carica* (Tunisie, deux arbres par cultivars, six rameaux et 20 feuilles par arbre).

Paramètre étudié	Somme des carrés	Carré des moyennes	Moyenne	Test F
Longueur du pétiole	5869,322	366,832	32,108	45,00 **
Diamètre du pétiole	8,297	0,518	3,953	19,58 **
Longueur du limbe	21014,554	1313,409	149,859	17,64 **
Largeur du limbe	15151,606	946,975	138,768	16,94 **
Rapport [longueur / largeur] du limbe	0,089	0,005	1,073	19,24 **
Profondeur du sinus basal	1908,776	119,298	12,407	44,47 **
Profondeur du sinus latéral 1	4603,869	287,741	47,052	11,80 **
Profondeur du sinus latéral 2	5001,422	312,588	47,660	10,84 **
Année 2001				
Longueur du rameau de l'année	55297,128	3456,070	149,673	5,06 **
Longueur du 1 ^{er} entre-nœud	198,116	12,382	8,996	5,61 **
Diamètre du 1 ^{er} entre-nœud	149,013	9,313	11,368	11,79 **
Longueur du 2 ^e entre-nœud	587,354	36,709	14,750	15,78 **
Diamètre du 2 ^e entre-nœud	110,480	6,905	10,426	3,41 **
Année 2000				
Longueur du rameau de l'année	14156	884,750	108,673	3,49 **
Longueur du 1 ^{er} entre-nœud	175,137	10,946	7,280	2,53 *
Diamètre du 1 ^{er} entre-nœud	139,315	8,707	12,211	14,76 **
Longueur du 2 ^e entre-nœud	373,838	23,364	12,142	1,28 ns
Diamètre du 2 ^e entre-nœud	125,204	7,825	11,337	16,62 **
Longueur du bourgeon terminal	70,129	4,383	7,436	5,61 **
Diamètre du bourgeon terminal	22,186	1,386	5,080	3,90 **
Rapport [longueur / diamètre] du bourgeon terminal	1,340	0,083	1,493	4,05 **

** Différences hautement significatives, * significatives, ns : non significatives.

significativement des groupes homogènes (*figure 1*). C'est le cas des paramètres relatifs aux feuilles (longueur du pétiole, diamètre du pétiole, largeur du limbe, profondeur du sinus basal) et de ceux se rapportant aux diamètres des premiers entre-nœuds et à la longueur de la tige des rameaux formés en 2001. Ces résultats montrent que, dans l'ensemble, les caractères utilisés sont très efficaces aussi bien pour estimer la variabilité génétique que pour différencier les génotypes étudiés. Ainsi, le cultivar Kahli 2 se distingue significativement

de tous les autres à partir de l'un des caractères suivants : diamètre du pétiole, profondeur du sinus basal, longueur de la tige des rameaux formés en 2001, diamètres des premiers entre-nœuds. Il présente des caractéristiques morphologiques assez particulières notamment pour les deux premiers entre-nœuds qui ont un diamètre particulièrement important. De même, la longueur du pétiole permet de discriminer le cultivar Bither Abiadh 1 caractérisé par des feuilles à pétioles relativement longs. Le diamètre du pétiole et la profondeur du sinus basal

<i>Longueur du pétiole</i>	Goutti	Bidhi 2	Soltani 1	Khali 2	Bither 1	Hemri 1	Hemri 2	Soltani 2	Bidhi 1	Bither 3	Besbessi	Jrani*	Zidi	Baghali	Khali 1	Bither 2	Assafri*
<i>Diamètre du pétiole</i>	Bidhi 2	Khali 2	Baghali	Goutti	Bither 3	Besbessi	Soltani 1	Bither 2	Bidhi 1	Jrani*	Zidi	Soltani 2	Hemri 1	Assafri*	Bither 1	Khali 1	Hemri 2
<i>Largeur du limbe</i>	Baghali	Goutti	Khali 2	Bidhi 2	Bidhi 1	Zidi	Besbessi	Soltani 1	Bither 3	Soltani 2	Hemri 2	Khali 1	Bither 1	Bither 2	Jrani*	Assafri*	Hemri 1
<i>Profondeur du sinus basal</i>	Baghali	Khali 2	Bidhi 1	Hemri 2	Soltani 2	Khali 1	Goutti	Bidhi 2	Zidi	Bither 1	Bither 2	Bither 3	Hemri 1	Besbessi	Jrani*	Soltani 1	Assafri*
<i>Profondeur du sinus latéral 2</i>	Bidhi 2	Goutti	Bidhi 1	Khali 2	Baghali	Soltani 2	Bither 3	Besbessi	Khali 1	Soltani 1	Hemri 2	Bither 2	Hemri 1	Bither 1	Zidi	Assafri*	Jrani*
<i>Longueur du rameau de l'année 2001</i>	Khali 2	Bidhi 1	Bither 3	Soltani 1	Bidhi 2	Soltani 2	Goutti	Jrani*	Hemri 2	Khali 1	Bither 2	Besbessi	Bither 1	Baghali	Zidi	Assafri*	Hemri 1
<i>Diamètre du premier entre-noeud de l'année 2001</i>	Khali 2	Bither 3	Baghali	Hemri 1	Soltani 1	Besbessi	Goutti	Bidhi 2	Zidi	Bidhi 1	Bither 2	Soltani 2	Bither 1	Khali 1	Jrani*	Hemri 2	Assafri*
<i>Longueur du deuxième entre-noeud de l'année 2001</i>	Khali 2	Baghali	Bither 3	Hemri 1	Zidi	Bidhi 2	Goutti	Soltani 1	Besbessi	Bidhi 1	Jrani*	Bither 2	Soltani 2	Bither 1	Khali 1	Hemri 2	Assafri*
<i>Diamètre du premier entre-noeud de l'année 2000</i>	Khali 2	Baghali	Soltani 1	Bither 3	Bidhi 2	Hemri 1	Besbessi	Bidhi 1	Goutti	Bither 2	Soltani 2	Zidi	Jrani*	Bither 1	Khali 1	Hemri 2	Assafri*
<i>Longueur du deuxième entre-noeud de l'année 2000</i>	Khali 2	Baghali	Soltani 1	Bidhi 2	Bither 3	Hemri 1	Besbessi	Goutti	Bidhi 1	Soltani 2	Zidi	Jrani*	Bither 2	Bither 1	Khali 1	Hemri 2	Assafri*

Figure 1.

Regroupement de cultivars de figuiers tunisiens à partir d'une l'analyse de variance portant sur des caractères morphologiques (* pollinisateurs).

Tableau IV.
Matrice des corrélations issue d'une ACP effectuée sur des paramètres mesurés pour étudier la diversité génétique présente au sein d'une collection de 17 cultivars de figuiers tunisiens.

Paramètre étudié	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
1. Long. pétiole	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2. Diam.pétiole	0,55	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. Long. limbe	0,65	0,75	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. Larg. Limbe	0,51	0,74	0,95	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5. [long./larg.] limbe	0,57	0,20	0,42	0,13	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. Prof. sinus basal	0,10	0,31	0,54	0,71	-0,30	10,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7. Prof. sinus latéral 1	0,64	0,66	0,72	0,73	0,14	00,44	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8. Prof. sinus latéral 2	0,64	0,64	0,73	0,74	0,14	00,44	0,99	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Année 2001																						
9. Long. rameau année	0,35	0,46	0,33	0,37	-0,04	00,30	0,42	0,38	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10. Long. 1 ^{er} entre-nœud	0,36	0,27	0,27	0,30	-0,05	00,14	0,33	0,34	0,53	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11. Diam. 1 ^{er} entre-nœud	0,32	0,56	0,43	0,53	-0,17	00,54	0,42	0,41	0,61	0,30	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12. Long. 2 ^e entre-nœud	0,26	0,41	0,19	0,28	-0,23	00,16	0,37	0,35	0,73	0,76	0,53	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13. Diam. 2 ^e entre-nœud	0,32	0,52	0,43	0,50	-0,05	00,50	0,36	0,34	0,58	0,24	0,94	0,41	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Année 2000																						
14. Long. rameau année	0,57	0,36	0,36	0,35	0,11	00,29	0,51	0,48	0,74	0,62	0,52	0,61	0,51	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
15. Long. 1 ^{er} entre-nœud	0,38	0,30	0,26	0,25	0,04	00,04	0,28	0,30	0,27	0,70	0,29	0,49	0,32	0,56	1,00	-	-	-	-	-	-	-
16. Diam. 1 ^{er} entre-nœud	0,38	0,68	0,51	0,60	-0,09	00,55	0,47	0,45	0,63	0,33	0,93	0,53	0,87	0,54	0,29	1,00	-	-	-	-	-	-
17. Long. 2 ^e entre-nœud	0,31	0,30	0,23	0,26	-0,06	00,18	0,27	0,28	0,47	0,67	0,45	0,59	0,45	0,67	0,88	0,41	1,00	-	-	-	-	-
18. Diam. 2 ^e entre-nœud	0,41	0,68	0,55	0,62	-0,05	00,56	0,45	0,43	0,63	0,34	0,93	0,52	0,88	0,56	0,29	0,98	0,41	1,00	-	-	-	-
19. Long. bourg. terminal	0,31	0,52	0,48	0,45	0,20	00,20	0,13	0,11	0,25	0,37	0,46	0,29	0,54	0,30	0,40	0,47	0,33	0,54	1,00	-	-	-
20. Diam. bourg. terminal	0,28	0,27	0,16	0,18	-0,01	00,03	0,13	0,15	0,21	0,69	0,34	0,43	0,38	0,44	0,73	0,36	0,66	0,38	0,67	1,00	-	-
21. [Long./diam.] bourg. terminal	0,08	0,37	0,45	0,38	0,35	00,20	-0,01	-0,04	0,07	-0,32	0,16	-0,17	0,23	-0,09	-0,02	0,17	-0,26	0,24	0,45	-0,30	1,00	-

Tableau V.

Variabilité intra-population totale existant au sein d'une collection de 17 cultivars de figuiers tunisiens, étudiée par analyse en composantes principales appliquée à des variables touchant le développement végétatif de figuiers. Poids et signification des axes.

a) Contribution des axes

Axe concerné	Valeur propre (%)	Contribution à l'inertie totale (%)	Proportion cumulée (%)
Axe 1	9,48	45,16	45,16
Axe 2	3,25	15,47	60,64
Axe 3	2,30	10,98	71,63

b) Définition des axes

Axe 1		Axe 2		Axe 3	
Paramètre	Corrélation	Paramètre	Corrélation	Paramètre	Corrélation
Diam. pétiole	+0,251	Long. limbe	+0,289	Long. pétiole	+0,375
Larg. limbe	+0,252	Long. 1 ^{er} entre-nœud 2001	-0,330	[Long. / larg.] limbe	+0,436
Diam. 1 ^{er} entre-nœud 2001	+0,264	Long. 2 ^e entre-nœud 2001	-0,259	Prof. sinus latéral 2	+0,250
Diam. 2 ^e entre-nœud 2001	+0,254	Long. 1 ^{er} entre-nœud 2000	-0,322		
Diam. 1 ^{er} entre-nœud 2000	+0,277	Long. 2 ^e entre-nœud 2000	-0,331		
Diam. 2 ^e entre-nœud 2000	+0,281	Diam. bourgeon terminal	-0,326		
		[Long. / diam.] bourgeon terminal	+0,38		

permettent de différencier non seulement le cultivar Kahli 2, mais également Bidhi 2 et Baghali.

3.3. Analyses multivariées

Les données morphologiques obtenues ont été exploitées pour étudier la variabilité génétique au sein de la collection étudiée grâce à une analyse en composantes principales et une analyse canonique discriminante.

3.3.1. Variabilité intracultivar

Les données relatives aux arbres de chaque cultivar ont été soumises à une analyse en composantes principales qui a fourni une matrice des corrélations entre les caractères mesurés (*tableau IV*). L'analyse de cette matrice met en évidence des corrélations positives et négatives.

La plus forte corrélation positive (0,99) a été obtenue entre la profondeur des sinus latéraux foliaires 1 et 2. En revanche, la plus faible corrélation positive (0,03) a été enregistrée entre la profondeur du sinus basal et le diamètre du bourgeon terminal. Il existe

de fortes corrélations positives entre les paramètres relatifs à la feuille et au diamètre des entre-nœuds. Les fortes corrélations positives mesurées sur les rameaux développés au cours des années 2000 et 2001 traduisent des rythmes de croissance végétative comparables au cours de ces deux années.

Les corrélations négatives ont varié de -0,32 observé entre la longueur du premier entre-nœud et le rapport [longueur / diamètre] du bourgeon terminal à -0,01 obtenu entre le rapport [longueur / largeur] du limbe et le diamètre du bourgeon terminal ainsi qu'entre la profondeur du sinus latéral 1 et le rapport [longueur / diamètre] du bourgeon terminal. Ce résultat suggère que plus les tiges de l'arbre sont vigoureuses, plus la surface foliaire est importante et plus les sinus sont profonds.

Les résultats relatifs à la définition des axes de l'ACP (*tableau V*) montrent que les trois premiers axes absorbent 71,63 % de la variabilité totale. La première composante, qui explique à elle seule 45,16 % de la diversité totale, est corrélée positivement avec le diamètre des deux premiers entre-nœuds, le diamètre du pétiole et la largeur du limbe.

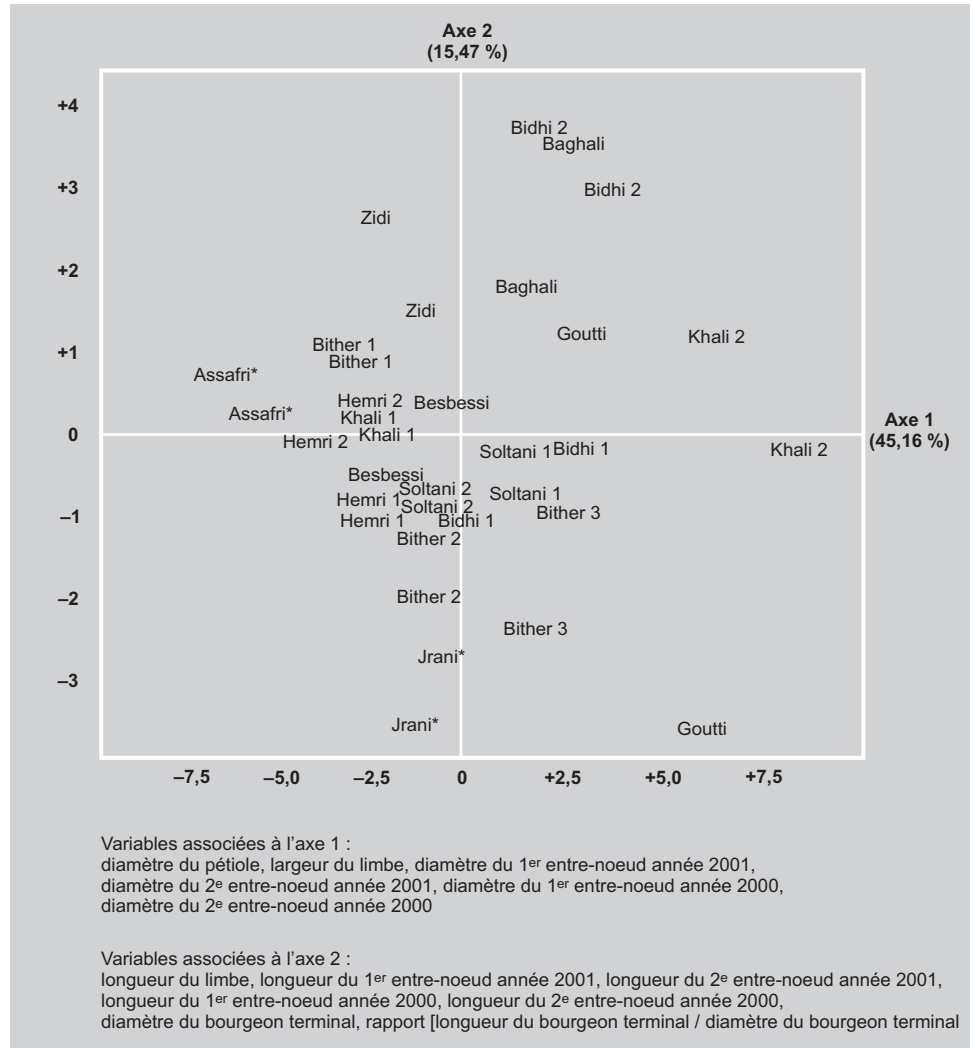


Figure 2. Représentation de la dispersion intra-population de 17 cultivars de figuiers tunisiens dans le plan 1–2 d'une analyse en composantes principales (ACP) effectuée à partir de l'observation de caractères morphologiques (2 arbres analysés par cultivar, * pollinisateurs).

Le deuxième axe, qui absorbe 15,47 % de la variabilité totale, est défini essentiellement par la longueur du limbe, le rapport [longueur / diamètre] du bourgeon terminal, ainsi que la longueur des deux premiers entre-nœuds développés au cours des années 2000 et 2001. Le troisième axe, corrélé positivement avec la longueur du pétiole, la profondeur des sinus latéraux et le rapport [longueur / largeur] du limbe, explique 10,98 % de la variabilité totale. Cette composante est également corrélée négativement à la profondeur du sinus basal et au diamètre des deux premiers entre-nœuds.

La dispersion des individus dans le plan défini par les axes 1 et 2 de l'ACP, qui absor-

bent à eux seuls 60,64 % de la variabilité totale, montre que les deux arbres analysés pour chaque cultivar sont regroupés, à l'exception du cultivar Goutti et, à un degré moindre, de Kahli 2 et Baghali, dont les deux représentants se distinguent significativement les uns des autres (*figure 2*). L'observation de cette très faible variabilité intracultivar au sein de la collection était prévisible compte tenu du mode de multiplication végétative du figuier, effectuée à partir de boutures prélevées sur les pieds mères. Les caractéristiques végétales qui différencient les deux représentants du cultivar Goutti portent essentiellement sur la vigueur des tiges développées au cours des deux années d'observation.

Tableau VI.

Variabilité inter-population totale existant au sein d'une collection de 17 cultivars de figuiers tunisiens, étudiée par analyse en composantes principales effectuée sur la moyenne des valeurs des différents paramètres mesurés sur chacun des cultivars. Poids et signification des axes.

a) Contribution des axes

Axe concerné	Valeur propre (%)	Contribution à l'inertie totale (%)	Proportion cumulée (%)
Axe 1	10,42	49,65	49,65
Axe 2	3,23	15,41	65,06
Axe 3	2,37	11,30	76,36

b) Définition des axes

Axe 1		Axe 2		Axe 3	
Paramètre	Corrélation	Paramètre	Corrélation	Paramètre	Corrélation
Diam. pétiole	+0,242	Long. limbe	+0,282	Long. pétiole	+0,388
Larg. limbe	+0,244	Long. 1 ^{er} entre-nœud 2001	-0,344	[Long. / larg.] limbe	+0,442
Diam. 1 ^{er} entre-nœud 2001	+0,259	Long. 2 ^e entre-nœud 2001	-0,284	Prof. Sinus basal	-0,254
Diam. 2 ^e entre-nœud 2001	+0,252	Long. 1 ^{er} entre-nœud 2000	-0,309	Prof. sinus latéral 1	+0,263
Diam. 1 ^{er} entre-nœud 2000	+0,267	Long. 2 ^e entre-nœud 2000	-0,297	Prof. sinus latéral 2	+0,270
Diam. 2 ^e entre-nœud 2000	+0,269	Diam. bourg. terminal	-0,343	Diam. 1 ^{er} entre-nœud 2001	-0,301
		[Long. / diam.] bourg. terminal	+0,417	Diam. 2 ^e entre-nœud 2001	-0,299
				Diam. 1 ^{er} entre-nœud 2000	-0,249
				Diam. 2 ^e entre-nœud 2000	-0,250

À noter que la dispersion des individus dans les plans définis par les axes 1 et 3 et par les axes 2 et 3 a permis d'aboutir aux mêmes conclusions, à savoir que les arbres d'un même cultivar ont eu un comportement proche sauf ceux du cultivar Goutti.

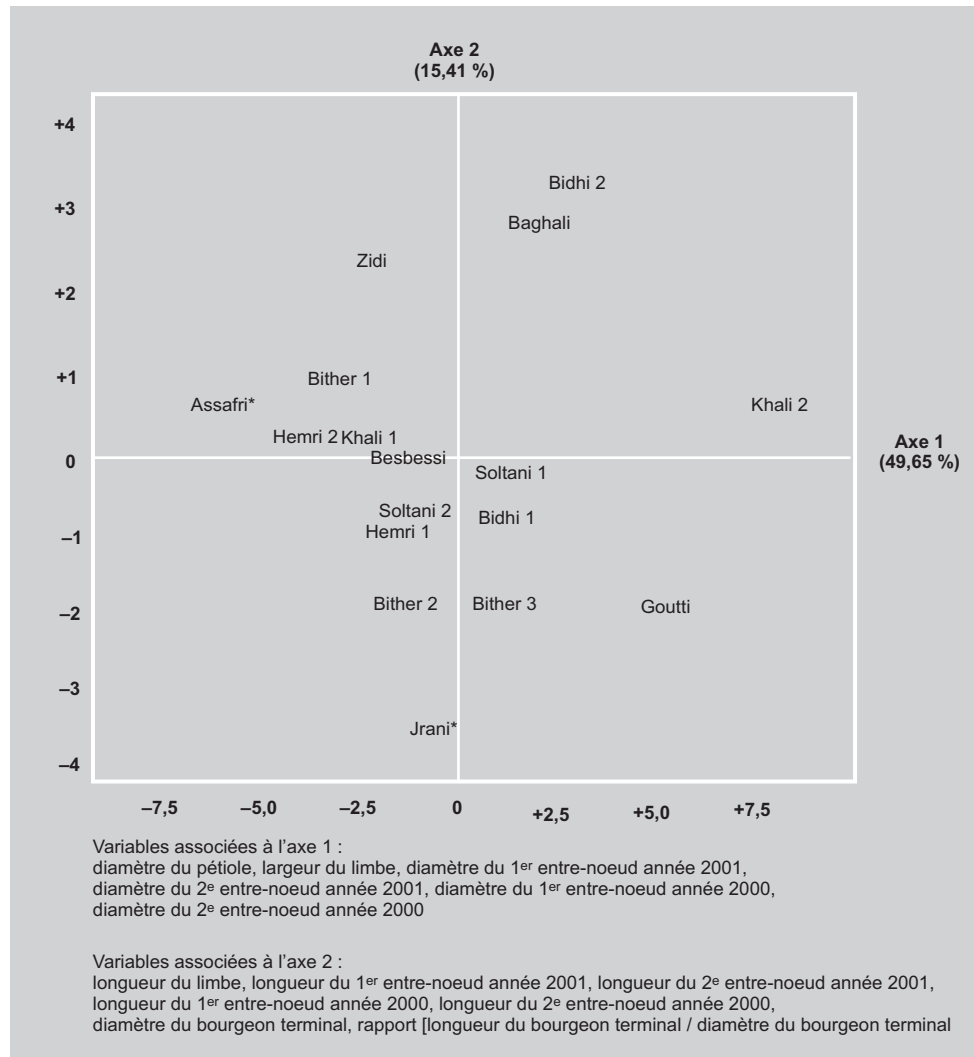
3.3.2. Variabilité intercultivars

Afin d'analyser le polymorphisme génétique de la collection, la diversité entre les cultivars a été étudiée en soumettant les moyennes des valeurs des différents paramètres mesurés à une analyse en composantes principales. Les trois premiers axes ont alors absorbé 76,36 % de la variabilité totale (tableau VI). La première composante a expliqué à elle seule 49,65 % de l'inertie totale. Elle s'est révélée être positivement corrélée au diamètre du pétiole, à la largeur du limbe et au diamètre des entre-nœuds développés au cours des années 2000 et 2001. Le deuxième axe, qui a absorbé 15,41 % de la variabilité totale, est corrélé positivement avec la longueur du limbe et

le rapport [longueur / diamètre] du bourgeon terminal. En revanche, l'axe est lié négativement à la longueur des deux premiers entre-nœuds des tiges. En absorbant 11,30 % de l'ensemble de la variabilité, le troisième axe a été trouvé corrélé positivement avec la longueur du pétiole, la profondeur des sinus latéraux et le rapport [longueur / largeur] de la feuille. Des corrélations négatives rentrent également dans la définition de cette composante, notamment celles enregistrées pour la profondeur du sinus basal des feuilles et pour le diamètre des premiers entre-nœuds formés au cours des années 2000 et 2001.

La dispersion des cultivars dans le plan défini par les deux premières composantes, qui absorbent 65,06 % de l'inertie globale (figure 3), a révélé une forte hétérogénéité entre les cultivars. En effet, en dehors de Bither Abiadh 1, Hemri 2, Kahli 1, Besbessi, Soltani 2, Hemri 1, Soltani1 et Bidhi 1, regroupés au centre de ce plan, les cultivars s'individualisent significativement. Kahli 2 et Goutti s'opposent à Assafri par rapport à

Figure 3.
Représentation de la dispersion inter-population de 17 cultivars de figiers tunisiens dans le plan 1–2 d'une analyse en composantes principales (ACP) effectuée à partir de l'observation de caractères morphologiques (moyenne des valeurs des différents paramètres mesurés sur deux arbres observés sur chacun des cultivars (* pollinisateurs).



la première composante, ce qui suggère que ces variétés divergent pour leurs caractéristiques végétatives : ainsi, les cultivars Kahli 2 et Goutti se distinguent de Assafri par l'importance du diamètre de leurs tiges et pétioles. La deuxième composante permet de séparer Bidhi 2, Baghali et, à un degré moindre, Zidi du cultivar Jrani, cela en particulier du fait de la longueur des premiers entre-nœuds. Par ailleurs, une projection des points dans ce plan défini par les deux premiers axes montre que les coordonnées correspondant aux cultivars Bidhi 1 et Bidhi 2, Kahli 1 et Kahli 2 et, à un degré moindre, Bither Abiadh 1 et Bither Abiadh 2 sont différentes.

La dispersion des cultivars dans les plans définis par les axes 1 et 3, d'une part, et par les axes 2 et 3, d'autre part, a montré des résultats comparables, notamment en ce qui concerne les divergences morphologiques mises en évidence entre Kahli et Goutti par rapport à Assafri, ainsi que celles notées lors de la projection des différents points correspondant aux cultivars portant des appellations proches.

La matrice des distances obtenues à l'issue de l'analyse canonique discriminante (*tableau VII*) a montré que ces distances pouvaient varier de 17 à 7637, ce qui témoignerait d'une forte diversité phénotypique

Tableau VII.
Distances de Mahalanobis estimées entre 17 écotypes de figuiers tunisiens à partir des données morphologiques touchant le développement végétatif des arbres.

Cultivar	Assafri	Bither 1	Bither 2	Bither 3	Bidhi 1	Bidhi 2	Baghali	Besbessi	Goutti	Hemri 1	Hemri 2	Jrani	Kahli 1	Kahli 2	Soltani 1	Soltani 2	Zidi
Assafri	0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bither 1	0094	0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bither 2	0159	0223	0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bither 3	0210	0253	0093	0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bidhi 1	0344	0139	0207	0225	0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bidhi 2	1579	1417	2412	1870	1999	0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Baghali	4914	4425	3558	3240	3069	7637	0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Besbessi	0133	0198	0034	0019	0213	1989	3530	0000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Goutti	0402	0209	0615	0381	0308	0762	4146	0441	0000	-	-	-	-	-	-	-	-
Hemri 1	0073	0035	0312	0395	0303	1402	5220	0300	0330	0000	-	-	-	-	-	-	-
Hemri 2	0287	0091	0212	0286	0017	1980	3498	0242	0331	0210	0000	-	-	-	-	-	-
Jrani	0435	0567	0156	0077	0436	2565	2846	0107	0753	0750	0537	0000	-	-	-	-	-
Kahli 1	0333	0186	0226	0466	0145	2580	3975	0349	0677	0248	0077	0295	0000	-	-	-	-
Kahli 2	3335	3004	2676	1954	2233	3897	1103	2330	2194	3641	2639	1843	3431	0000	-	-	-
Soltani 1	0173	0179	0622	0574	0611	0825	6064	0512	0287	0104	0515	1005	0662	3823	0000	-	-
Soltani 2	0184	0117	0093	0269	0113	2342	3889	0174	0556	0178	0067	0456	0032	3133	0528	0000	-
Zidi	0574	0560	0224	0113	0292	2567	2221	0175	0643	0813	0417	0065	0630	1426	1119	0447	0000

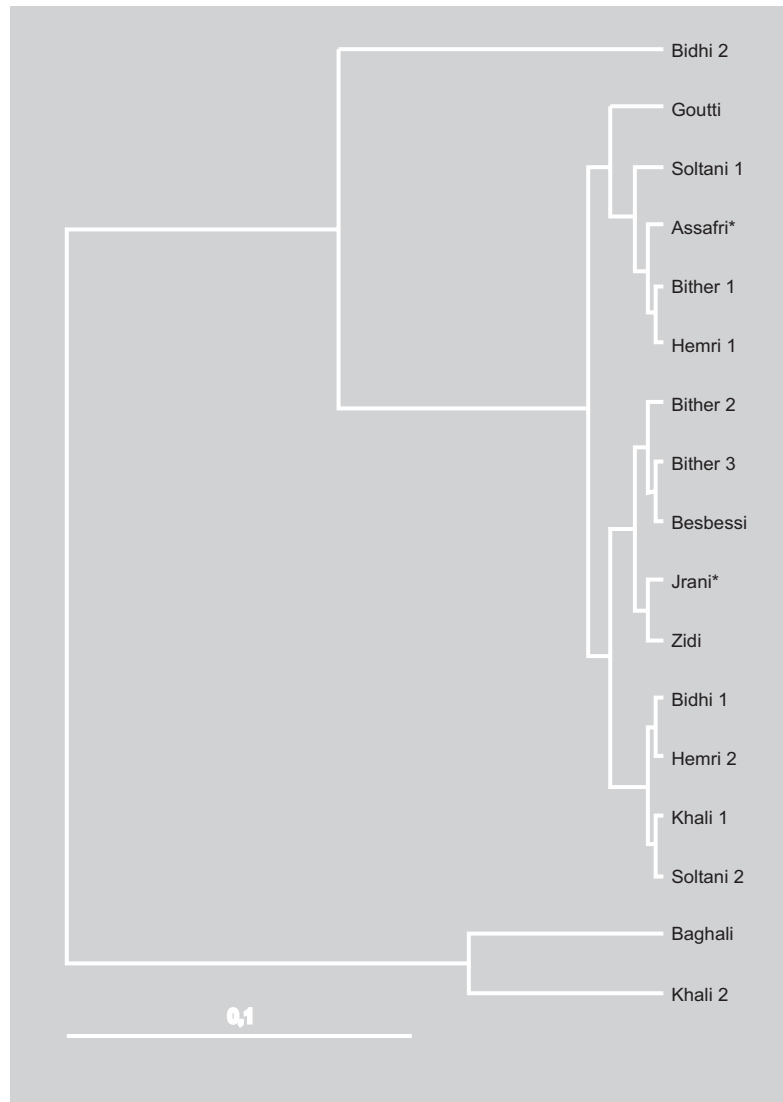


Figure 4. Dendrogramme illustrant les relations existant entre 17 écotypes de figiers tunisiens, construit à partir de données morphologiques acquises par observation des cultivars (* pollinisateurs).

au sein de la collection étudiée. La distance la plus faible a été enregistrée entre les cultivars Hemri 2 et Bidhi 1, alors que la plus élevée a été observée entre Baghali et Bidhi 2 : les cultivars Hemri 2 et Bidhi 1 présenteraient donc le maximum de similitudes morphologiques et les cultivars Baghali et Bidhi 2, le maximum de divergences. En outre, les cultivars Baghali, Kahli 2 et Bidhi 2 ont présenté des distances phénotypiques relativement élevées avec tous les autres cultivars et ils s'individualisent nettement au sein de cette collection.

La synthèse des informations issues de la matrice des distances phénotypiques de Mahalanobis a permis de construire un dendrogramme (figure 4). Deux groupes principaux se distinguent : le premier est composé des deux cultivars Baghali et Kahli 2 ; le second regroupe tous les autres cultivars, dont se détache néanmoins Bidhi 2. Cette topologie confirmerait la divergence de Baghali, Kahli 2 et Bidhi 2 avec tous les autres cultivars de la collection.

4. Discussion et conclusion

L'étude de la diversité génétique de la collection de figiers de Chott Mariam à l'aide de paramètres morphologiques se rapportant aux feuilles et aux rameaux a permis d'apprécier la variabilité génétique intra et intercultivar, d'estimer les distances phénotypiques et de dresser un dendrogramme des relations phylogéniques révélées entre ces cultivars. Certains de ces paramètres ont permis de bien différencier des cultivars particuliers. Des résultats analogues ont été obtenus par Hedfi *et al.* [10] sur une collection de variétés oasiennes de figuier. Les caractères que nous avons adoptés pourraient donc être utilisés pour établir un catalogue d'identification des cultivars de figuier.

Les analyses multivariées ont montré une distribution typiquement continue de la diversité génétique au sein de cette collection. En utilisant des marqueurs moléculaires pour examiner la diversité génétique de cultivars tunisiens de figuier, Salhi-Hannachi *et al.* [11] ont rapporté des résultats similaires ; ils ont alors suggéré la possibilité de l'existence d'un flux génique entre les formes spontanées apparentées et les cultivars dans leur milieu d'origine pour expliquer cette non-structuration de la diversité génétique chez l'espèce *F. carica*. La concordance entre les résultats de ces deux études prouve que l'analyse morphologique peut apporter des informations sur la variabilité chez le figuier. Toutefois, d'autres études seront nécessaires pour préciser cette interprétation. Il faudra en particulier élargir l'étude à un plus grand nombre de variétés ou inclure

d'autres paramètres morphologiques, portant notamment sur l'observation des fruits.

Remerciements

Ce travail a bénéficié du soutien du ministère de l'Enseignement supérieur, de la recherche scientifique et de la technologie.

Références

- [1] Vidaud J., Le figuier, Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris, France, 1997, pp. 31–60.
- [2] Weiblen G.D., Phylogenetic relationships of functionally dioecious *Ficus* (Moraceae) based on ribosomal DNA sequences and morphology, *Am. J. Bot.* 87 (9) (2000) 1342–1357.
- [3] Mars M., Carraut A., Marrakchi M., Gouiaa M., Gaaliche F., Ressources génétiques fruitières en Tunisie (poirier, oranger, figuier, grenadier), *Plant Genet. Resour. Newsl.* 100 (1994) 14–17.
- [4] Mars M., La culture du grenadier (*Punica granatum* L.) et du figuier (*Ficus carica* L.) en Tunisie, *Options méditerran.* 13 (1995) 85–95.
- [5] Rhouma A., Les ressources phytogénétiques oasiennes : le figuier (*Ficus carica* L.), Actes des 3^{es} journées nationales sur les acquis de la recherche agronomique, vétérinaire et halieutique, Nabeul, Tunisie, 1996, p. 29.
- [6] Benzecri J.P., L'analyse des correspondances, Dunod, Paris, France, 1973, 619 p.
- [7] Hebert Y., Vincourt P., Mesures de la divergence génétique. 2. Distances calculées sur des critères biométriques, in: Lefort-Buson M., De Vienne D. (Eds.), Les distances génétiques, estimation et applications, Inra, Paris, France, 1985, pp. 23–37.
- [8] Anonymous, SAS user's guide: SAS Stat, SAS Basic, version 6 (IVth ed.), SAS Institute Inc., Cary NC, USA, 1990.
- [9] Dagnelie P., Théorie et méthodes statistiques : Vols. I et II, Presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, 1975.
- [10] Hedfi J., Trifi M., Salhi-Hannachi A., Ould Mohamed Salem A., Rhouma A., Marrakchi M., Morphological and isoenzymatic polymorphisms in Tunisian fig collection, in: Second international symposium on fig, Caceres, Spain, 2001, p. 20.
- [11] Salhi-Hannachi A., Trifi M., Zehdi S., Hedfi J., Mars M., Rhouma A., Marrakchi M., Inter simple sequence repeat fingerprints to assess genetic diversity in Tunisian fig (*Ficus carica* L.) germplasm, *Genet. Resour. Crop Ev.* (2003) (in press).

Análisis de la diversidad genética de cultivares tunecinos de higo (*Ficus carica* L.) mediante caracteres morfológicos.

Resumen — Introducción. Se realizó un estudio para evaluar la variabilidad genética de una colección de ecotipos de higuera (*Ficus carica* L.) establecida en la región del Sahel, en Túnez. Este estudio se basó en la observación de caracteres morfológicos relativos al desarrollo vegetativo del árbol. **Material y métodos.** Se tomaron las medidas de hojas y ramas de 17 ecotipos de higueras tunecinas a razón de dos árboles muestreados por cultivar. Los resultados se sometieron a un análisis de varianza y a análisis multivariados que permitieron obtener una matriz de las correlaciones entre los caracteres medidos y una tabla de distancias de Mahalanobis entre los ecotipos. **Resultados y discusión.** La variabilidad intracultivar se reveló muy baja. En cambio, la diversidad intercultivar se mostró muy alta con independencia del origen geográfico y el sexo de la planta. **Conclusión.** Algunos parámetros morfológicos permitieron diferenciar correctamente los cultivares. Podrían utilizarse como descriptores en esta especie.

Túnez / *Ficus carica* / colecciones de material genético / variación genética / dendrometría