

Interspecific variability in leaf morphology between adult trees and seedlings of two species of oak (*Quercus canariensis* Willd.) and (*Quercus suber* L.) and their hybrid (*Quercus afares* Pomel) in NorthWestern Tunisia

Variabilité interspécifique de la morphologie des feuilles entre les arbres adultes et les semis de deux espèces de chêne, (*Quercus canariensis* Willd.) et (*Quercus suber* L.) et leur hybride (*Quercus afares* Pomel) au Nord-Ouest de la Tunisie



S. MHAMDI^{1,2,3*}, K. BEN YAHIA^{1,2}, P. MONTPIED³, O. BRENDÉL³, E. DREYER³, B. HASNAOUI¹

¹ Laboratory of the Sylvo-pastoral resources, ISP Tabarka, Tunisia.

² Laboratory of Ecophysiology and Reforestation (National Institute for Research in Rural Engineering, Water and Forest Research, INRGREF) Ariana, Tunisia.

³ French National Institute for Agricultural Research, INRA, Nancy-Université UMR 1137, 54280 Champenoux. France.

*Corresponding author: samehmhamdi2006@yahoo.fr

Abstract- The variability of the leaves has been studied by many authors for the identification of forest species among themselves as in the genus *Quercus*. In this genus, several taxonomic groups are known by their complex patterns of variation that lead to problems in identifying taxa at the species level. In Tunisia the genus *Quercus* is the major constituent of the forest, represented by five species. In order to characterize the morphology of the hybrid *Quercus afares* Pomel with respect to parental species (*Quercus canariensis* willd and *Quercus suber* L), we studied the morphological variability of leaves in the adult stage and to progress in understanding the differences between the hybrid and parents, it was important to check whether morphological discrimination was still possible at the planting stage. The leaves were sorted by plant and then scanned. The images were thresholded and processed with Image J software (1.43). Morphological variables of size and shape were evaluated, we described the variability using an analysis of variance (ANOVA) and a Multiple Component Analysis (MCA). The results revealed a high level of diversity in both the adult and seedling stages, with a higher overlap between *Q. afares* and *Q. canariensis* than between *Q. afares* and *Q. suber*. The hybrid was different from parents for most traits and positioned intermediate for size traits, whereas it was different for shape traits. *Q. suber* and *Q. canariensis* remained morphologically distinct. The study resulted in interspecific discrimination with three distinct groups corresponding to the species and forming a gradient. They are arranged from small circular and round leaves (*Q. suber*) to elongated, slightly lobed leaves (*Q. afares*) and finally large, lobed leaves corresponding to leaves of *Q. canariensis*.

Keywords: Foliar morphology, variability, *Quercus*, hybrid.

Résumé - La variabilité des feuilles a été étudiée par de nombreux auteurs pour l'identification des espèces forestières entre elles tel que dans le genre *Quercus*. Dans ce genre, plusieurs groupes taxonomiques sont connus par leurs modèles complexes de variations qui conduisent à des problèmes dans l'identification des taxons au niveau des espèces.

En Tunisie le genre *Quercus* est le constituant majeur de la forêt, représenté par cinq espèces. Afin de caractériser la morphologie de l'hybride *Quercus afares* Pomel par rapport aux espèces parentales (*Quercus canariensis* willd et *Quercus suber* L), nous avons étudié la variabilité morphologique des feuilles au stade adulte et pour progresser dans la compréhension des différences entre l'hybride et les parents, il était important de vérifier si la discrimination morphologique était encore possible au stade

semis. Les feuilles ont été triées par plant puis scannées. Les images ont été seuillées et traitées avec le logiciel Image J (1.43). 11 variables morphologiques de taille et de forme ont été évaluées, nous avons décrit la variabilité en utilisant une analyse de la variance (ANOVA) et une Analyse en composante Multiple (ACM). Les résultats ont révélé un niveau élevé de diversité tant au stade adulte qu'au stade semis, avec un seuil de chevauchement plus élevé entre *Q. afares* et *Q. canariensis* qu'entre *Q. afares* et *Q. suber*. L'hybride était différent des parents pour la plupart des traits et s'est positionné en intermédiaire pour les traits liés à la taille, alors qu'il était différent pour les caractères de forme. *Q. suber* et *Q. canariensis* restaient morphologiquement distincts. L'étude a abouti à une discrimination interspécifique présentant trois groupes bien séparés correspondant aux espèces, et formant un gradient. Elles sont ordonnées depuis de petites feuilles circulaires et rondes (*Q. suber*) jusqu'à des feuilles allongées et peu lobées (*Q. afares*) et enfin des feuilles grandes et lobées correspondant aux feuilles de *Q. canariensis*.

Mots clés : Morphologie foliaire, variabilité, *Quercus*, hybride.

1. Introduction

Les différences de la morphologie et de l'anatomie des organes reproducteurs, les caractéristiques des feuilles, des bourgeons, des rameaux et des troncs (écorces) sont utilisées pour distinguer les espèces. Elles sont évoquées dans la distinction des espèces forestières entre elles comme dans le genre *Quercus* (Dupouey et Badeau 1993 ; Bacileri et al. 1995 ; Borozan et Bobac 2003 ; Kremer et al. 2002 ; Boratynski et al. 2008 ; Viscosi et al. 2010). Les caractères morphologiques ont été le principal outil pour la classification taxonomique dans le genre *Quercus* dès l'introduction de la taxonomie moderne par Linné au 18^{ème} siècle jusqu'à la récente émergence de la génétique moléculaire.

Comme ils représentent les parties les plus facilement accessibles des arbres et faciles à mesurer avec l'utilisation des accessoires électroniques et des logiciels, les traits foliaires ont été récemment utilisés avec succès dans différentes études biométriques (Dupouey et Badeau 1993 ; Kleinschmit et al. 1995 ; Viscosi et al. 2009, et 2011 ; Neophytou et al. 2011).

L'hybridation et l'introgression génétique produisent à priori des espèces de chênes de morphologie intermédiaire et différentes méthodes existent pour distinguer les espèces parentales et leurs hybrides. Elles reposent sur la description de caractères observables comme la morphologie foliaire qui reste toujours utile pour démontrer les relations entre les hybrides putatifs et les espèces parentales (Bruschi et al. 2000).

L'évaluation de la variabilité morphologique dans un peuplement mixte de chênes a permis la description de leurs phénotypes, y compris les hybrides (Mhamdi et al. 2013).

Les Caractères morphologiques des feuilles ont été utilisés pour distinguer deux espèces de *Quercus* à croissance sympatrique et établir le niveau d'introgression (Boratynski et al. 2008 ; Cristofolini et Crema 2005 ; Bacileri et al. 1995). En effet, la variation de la morphologie foliaire est un important outil pour comprendre la différenciation génotypique entre les espèces, placées dans des conditions particulières excluant les interactions avec la plasticité phénotypique, au sein des complexes particuliers (Kremer et al. 2002 ; Ito 2009), et d'évaluer l'expression des caractères de descendance hybrides sur des croisements contrôlés (Kleinschmit et al. 1995 ; Bacileri et al. 1995 ; Ito 2009)

Les espèces de genre *Quercus* ont longtemps été étudiées de point de vue taxonomique, écologique et leurs caractéristiques biologiques qui influençaient leurs distributions spatiales. D'autres hybrides et endémiques comme le chêne afarès (*Quercus afares* Pomel) qui est une espèce relictuelle cantonnée géographiquement entre le Nord-Ouest Tunisien dans une seule population (environ 750 arbres, observation personnelle) et le Nord-Est Algérien (les deux Kabylies) dans plusieurs populations, en mélange avec le chêne liège et le chêne zeen (Quezel et Santa 1962) restent encore peu connues. L'analyse génétique des deux populations algérienne et tunisienne conduite par Mir et al (2006), en utilisant des allozymes et des marqueurs chloroplastiques, a montré que *Q. afares* (espèce caduque) est issu de l'hybridation entre *Q. suber* (espèce sempervirente) et *Q. canariensis* (espèce semi caduque), deux espèces qui ont des exigences écologiques différentes et phylogénétiquement éloignées.

L'objectif de ce travail est d'étudier la variabilité de la morphologie foliaire de *Q. afares* ; *Q. suber* et *Q. canariensis* pour définir la proximité de la morphologie foliaire de cet hybride par rapport à ses parents aux stades adulte et semis.

2. Matériel et méthodes

2.1. Matériel végétal et échantillonnage

Les feuilles et les glands ont été collectées de la population d'origine existant dans la forêt de Ain Zena (36°43'N et 8°51' E) qui appartient à la grande région de la Kabyle Numidie –Kroumirie (Vela et Benhouhou 2007). C'est une zone de moyenne montagne, constituant la limite Sud de l'ensemble forestier d'Ain Draham, de l'étage bioclimatique humide supérieur à hiver tempéré. Son altitude est comprise entre 870 et 960m. Elle s'agit d'une réserve naturelle qui s'étend sur les deux flans d'un ravin sur flysh numidien et sur sol humifère à mull constitué sous une litière de chêne zeen (Ben Mhamed et al. 2002).

Les mesures ont été réalisées sur des feuilles de lumière, matures, sans dommage. Pour chaque stade les feuilles sont triées par arbre et par plant (à raison de 10 feuilles par arbre et entre 5 à 8 feuilles par plant). Les feuilles ont été numérisées sur la surface supérieure à l'aide d'un Scanner de type HP (Résolution d'image de 380 dpi). La différenciation des espèces sur le terrain a été établie de façon nette d'après la forme générale du tronc et la texture de l'écorce.

2.2. Paramètres mesurés

Les images scannées ont été traitées avec le logiciel Image J (1.43) après seuillage pour déterminer 11 traits morphologiques relatifs à la taille et à la forme mesurés sur chaque feuille. Les données relatives à ces traits figurent dans le tableau (1).

Tableau 1. Liste des traits morphologiques mesurés et calculés.

Variable morphologique	Symbole	Transformation	Unité
Surface foliaire totale	D	Log	cm ²
Longueur du limbe	LL	log	mm
Feret: La distance la plus longue entre deux points le long de la limite sélectionnée	F	log	mm
Largeur maximale de limbe	LW	log	mm
Longueur/Largeur maximale	LL/LW	log	
Aspect ratio: Grand axe /Petit axe dans une ellipse		log	
Distance entre la base du limbe et la plus grande largeur	RHei	log	mm
Solidity: surface / surface convexe (aire du polygone convexe comprenant la feuille)	D/C	exp	
Circularity: $4 \pi (\text{Surface}/\text{périmètre})^2$; 1: perfect circle, 0: straight segment	Circ	exp	
Roundness: $4 \times \text{Surface} / (\pi \times P^2)$	Round	log	
Symétrie	Q/R	asin (sqrt)	

2.3. Analyses statistiques

Une ANOVA avec effet espèce a été utilisée pour déterminer la signification des différences entre espèces pour chacun des traits morphologiques sous R, les fonctions "lm"(modèle d'ANOVA classique) et "lme" ou "gls" (modèles linéaires mixtes) sont utilisées. Des comparaisons multiples de moyennes entre espèces ont été réalisées avec la librairie "multcomp" (Bretz F., Hothorn T. & Westfall P. (2004).

Multcomp : Multiple Tests and Simultaneous Confidence Intervals. Au besoin, les données sont transformées (logarithme, arcsinus (racine carree) ou exponentielle) si nécessaire afin de s'approcher au mieux d'une distribution normale (Sokal et Rohlf, 1995). Les attributs morphologiques des feuilles sont analysés avec une analyse des correspondances multiples (ACM) à l'aide de la fonction `di.acm()` du package `ade-4` afin d'examiner la contribution des paramètres des feuilles dans la discrimination entre les espèces et pour affecter les individus d'une espèce ou d'intermédiaires sans classification à priori. Chaque variable a été divisée en 15 classes de poids à peu près égal (Kremer et al.2002). Les valeurs avec la même lettre ne diffèrent pas significativement au $p < 0.05$.

3. Résultats et Discussion

3.1. Analyse de la variance (ANOVA)

L'analyse de la variance a montré un effet espèce très hautement significatif pour 10 caractères et un effet non significatif pour un seul caractère pour chacun des stades (RHei, $p=0.316$) concernant les feuilles récoltées sur les arbres adultes) (Tableau 2) et la symétrie ($p= 0.7$) pour les feuilles des semis (Tableau 3) traduisant une différence morphologique entre les trois espèces. Dans tous les cas les espèces pourraient être séparées les unes des autres.

Au stade adulte, les espèces parentales (*Q.canariensis* et *Q.suber*) sont différentes pour les caractères morphologiques liés à la taille alors qu'elles ne montrent pas de différences significatives pour les traits de forme. *Q.afaress* est en position intermédiaire pour les traits de taille et est différent des deux autres pour les traits de forme.

Quant aux semis les espèces parentales (*Q. canariensis* et *Q. suber*) sont différentes pour tous les caractères morphologiques liés à la taille et la forme. Pour certains traits, *Q. afaress* est significativement différent des deux autres espèces : Soit de façon intermédiaire entre *Q.suber* et *Q. canariensis* pour les traits morphologiques liés à la taille, soit différent des deux pour les traits de forme. *Q. afaress* est similaire à *Q. canariensis* seulement pour la solidité, la circularité et RHei.

Il n'y'a aucun trait morphologique pour lequel *Q. afaress* est similaire à *Q. suber* et différent de *Q. canariensis* dans les stades semis et adulte.

Tableau 2. Moyennes et intervalles de confiances (IC) pour chacune des variables morphologiques de l'analyse de la variance chez les trois espèces. Pour les intervalles de confiance, le minimum (ligne supérieure) et le maximum (ligne inférieure). Les valeurs avec la même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5%.

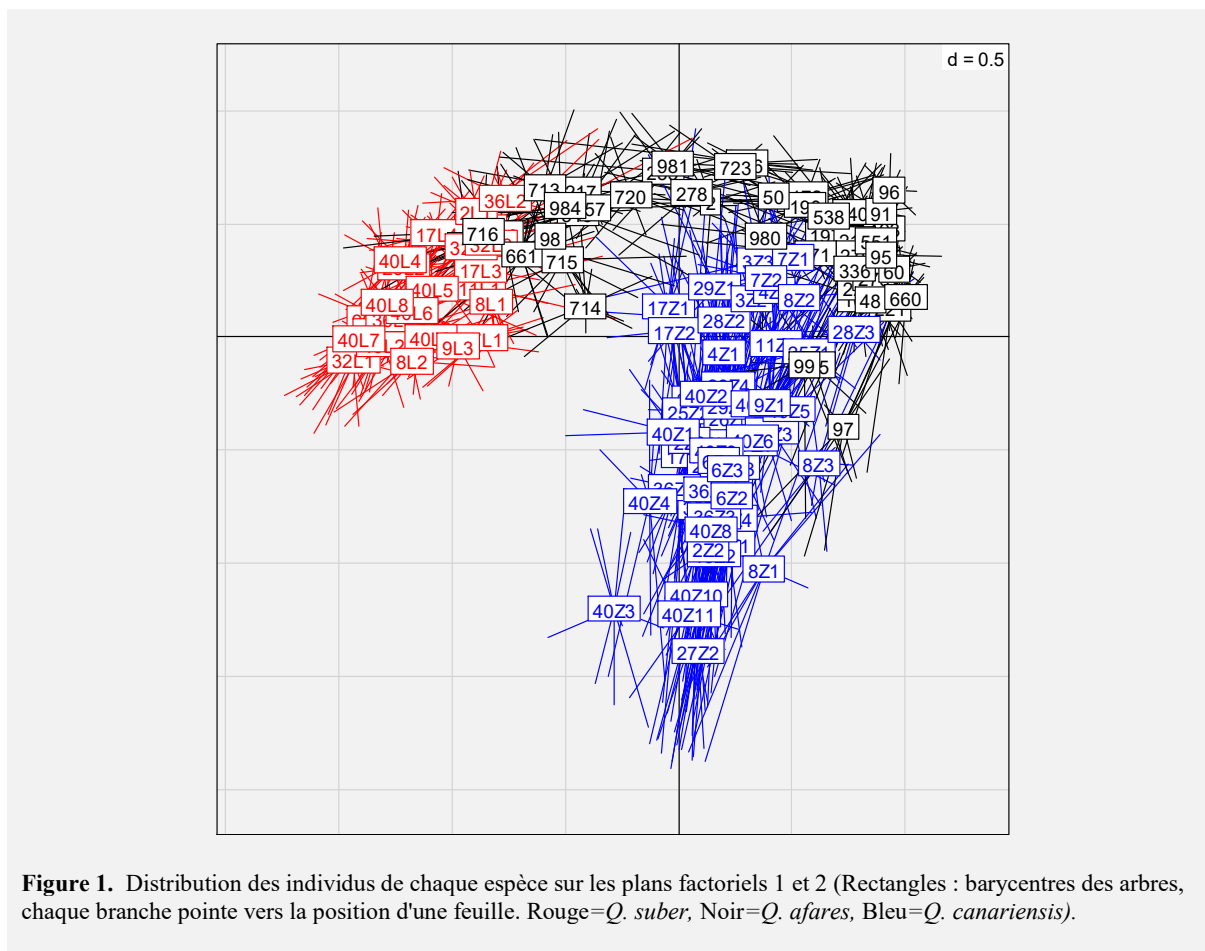
Variables	<i>Q.canariensis</i>		<i>Q.afares</i>		<i>Q.suber</i>		F(1, 116)	p value
surface foliaire (cm²)	33.2 a	31,4	17.7 b	16,40	9.10 c	8,20	264,2	<0.0001
		35,6		19,15		10,10		
Longueur de limbe(mm)	93.47 a	90,1	76.73 b	73,5	47.22 c	44,60	193,3	<0.0001
		97		80,200		50,01		
Feret (mm)	93.56 a	89,8	76.73 b	73,41	47.29 c	44,59	193,1	<0.0001
		96,9		80,20		50,15		
Largeur maximale (mm)	53.2 a	51,3	33.45 b	32,1	27.29 c	25,90	325,2	<0.0001
		55,2		34,8		28,80		
Longueur /Largeur	1.74 b	1,7	2.27 a	2,2	1.72 b	1,64	75,18	<0.0001
		1,8		2,4		1,80		
Aspect Ratio	1.81 b	1,75	2.4 a	2,3	1.73 b	1,64	69,43	<0.0001
		1,90		2,5		1,83		
RHei (mm)	0.50 ns	0,5	0.48 ns	0,46	0.50 ns	0,47	0,78	0,316
		0,5		0,50		0,52		
Solidity	0.92 c	0,92	0.94 b	0,93	0.96 a	0,95	56,1	<0.0001
		0,93		0,94		0,97		
Circularité	0.43 b	0,42	0.44 b	0,42	0.61 a	0,58	64,51	<0.0001
		0,46		0,46		0,63		
Roundness	0.55 a	0,53	0.42 b	0,40	0.57 a	0,54	69,47	<0.0001
		0,57		0,46		0,61		
Symetrie	0.88 a	0,86	0.84 b	0,82	0.87 a	0,85	13,75	<0.0001
		0,89		0,85		0,88		

Tableau 3. Moyennes et intervalles de confiances (IC) pour chacune des variables morphologiques de l'analyse de la variance chez les semis de trois espèces. Pour les intervalles de confiance, le minimum (ligne supérieure) et le maximum (ligne inférieure). Les valeurs avec la même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5%.

Variable	<i>Q.canariensis</i>		<i>Q.afares</i>		<i>Q.suber</i>		F(1, 387)	p value
Surface foliaire (cm²)	37.3 a	31,45	20.13 b	17,00	9 c	7,50	61,01	<0.0001
		44,2		24,00		11,00		
Longueur de limbe(mm)	108.7 a	99,00	85.5 b	78,0	46 c	41,30	79,14	<0.0001
		119,40		94,0		51,00		
Feret (mm)	108.7 a	99,00	85.5 b	77,8	45.8 c	41,20	78,96	<0.0001
		119,40		94		50,80		
Largeur maximale(mm)	54.6 a	50,50	36.21 b	33,5	27.5 c	25,20	71.21.2	<0.0001
		59,00		39,0		30,00		
Longueur /Largeur	2 b	1,90	2.35 a	2,2	1.66 c	1,60	97,34	<0.0001
		2,00		2,4		1,70		
Aspect Ratio	2.12 b	2,00	2.54 a	2,5	1.71 c	1,64	99,9	<0.0001
		2,20		2,7		1,78		
RHei (mm)	0.57 a	0,56	0.56 a	0,55	0.48 b	0,47	59,8	<0.0001
		0,58		0,57		0,49		
Solidity	0.91 b	0,90	0.9 b	0,90	0.95 a	0,94	75,4	<0.0001
		0,91		0,91		0,95		
Circularité	0.42 b	0,40	0.39 b	0,37	0.6 a	0,58	105,4	<0.0001
		0,44		0,41		0,62		
Roundness	0.47 b	0,45	0.39 c	0,38	0.58 a	0,56	99,8	<0.0001
		0,49		0,40		0,60		
Symetrie	0.86 ns	0,84	0.86 ns	0,840	0.87 ns	0,85	0,34	0,7
		0,87		0,880		0,89		

3.2. Analyse des Correspondances Multiples (ACM)

Les résultats de l'analyse des correspondances multiples (ACM) ont permis de faire ressortir les deux premières composantes. La projection des espèces dans les deux premiers plans factoriels de l'ACM (Figure 1) a abouti à trois pôles de distribution correspondant aux trois espèces, avec une distinction claire entre les groupes. Les espèces *Q. suber* et *Q. canariensis* sont largement différentes et sont complètement disjointes l'une de l'autre alors que *Q. afares* a fait le pont entre ces dernières, dont certains individus ont été plus proches de *Q. canariensis*, d'autres sont inclus dans *Q. suber* avec une variabilité intraspécifique assez grande.



Chez les semis, la distribution des espèces le long de deux premiers axes de l'ACM est très semblable à celles observée sur les arbres adultes. Elle a montré trois groupes bien séparés correspondant aux trois espèces et formant un gradient. Elles sont ordonnées depuis de petites feuilles circulaires et rondes (*Q. suber*) jusqu'à des feuilles allongées et peu lobées (*Q. afares*) et des feuilles grandes et lobées correspondant aux feuilles de *Q. canariensis*. Les feuilles de *Q. suber* et *Q. canariensis* sont bien séparées l'une de l'autre, tandis que celles de *Q. afares* sont intermédiaires et qui montrent une certaine proximité avec *Q. canariensis* plus qu'avec *Q. suber* ; ce dernier a montré moins de variabilité par rapport aux deux autres espèces (Figure 2) pour les deux stades de croissance.

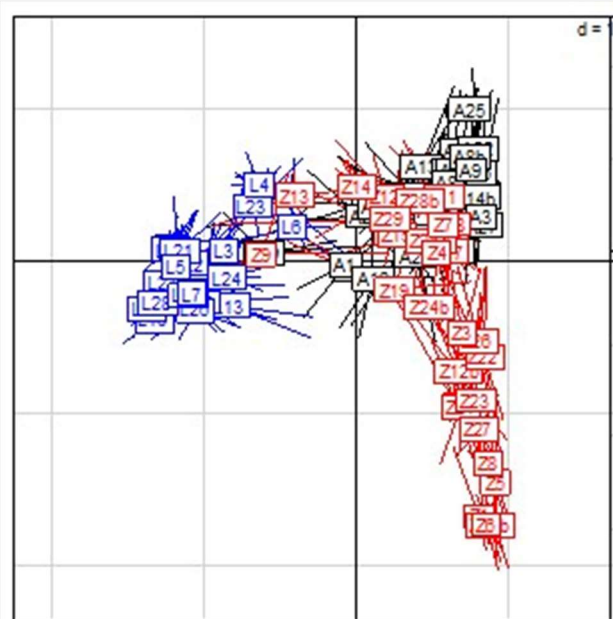


Figure 2. Distribution des individus de chaque espèce sur les plans factoriels 1 et 2 (Rectangles : barycentres des arbres, chaque branche pointe vers la position d'une feuille. Rouge= *Q. canariensis*, Noir=*Q. afares*, Bleu= *Q. suber*)

Les caractères morphologiques de taille et de forme des feuilles examinées dans ces espèces en utilisant une (ACM) et une ANOVA ont clairement révélé que *Q. suber*, *Q. canariensis* et leur hybride restent morphologiquement distincts pour certains traits quantitatifs organisés selon un gradient parabolique (forme de fer à cheval) le long des plans de l'ACM, partant des feuilles petites et rondes (*Q. suber*) aux feuilles grandes et longues (*Q. canariensis*), les feuilles de *Q. afares* étant intermédiaires (ses feuilles sont plus allongées chez les adultes ainsi que les semis).

La discrimination morphologique des feuilles de *Q. suber* de celles de *Q. canariensis* est aisée alors que les feuilles de *Q. afares* peuvent chevaucher avec l'une ou l'autre des deux espèces parentales. Ces résultats sont assez semblables à ceux trouvés par Tovar Sanchez et Oyama (2004). Sur d'autres espèces de chênes au Mexique, ces auteurs ont montré que *Q. dysophylla* est un hybride entre *Q. crassifolia* et *Q. crassipes* et que cet hybride putatif présente des caractères morphologiques de taille et de forme intermédiaires entre les espèces parentales qui sont clairement distinctes. De même, *Q. crenata* Lam. est un hybride putatif entre deux espèces sympatriques *Q. cerris* et *Q. suber*, bien que sa morphologie foliaire soit intermédiaire entre celle des deux parents. Elle est plus proche de celle de *Q. suber*. Notons aussi que les données moléculaires et biochimiques fournies par Bellarosa et al. (2005) ont montré que *Q. crenata* est plus étroitement lié à *Q. suber* (Cristofolini et Crema, 2005).

Q. afares était intermédiaire aux espèces supposées parentales pour les traits liés à la taille des feuilles alors qu'il était différent pour les caractères de forme. Des résultats similaires ont été rapportés par Gailing et al. (2012) dans leur travail d'identification des modèles et de différenciation morphologique de deux espèces de chêne (*Q. rubra* L. et *Q. ellipsoidal* E J Hill), qui s'hybrident en cas de coexistence et ont montré que l'utilisation de traits foliaires de forme a permis une séparation nette des espèces.

En se basant sur des critères morphologiques liés aussi à la taille et à la forme, des résultats similaires aux nôtres sur d'autres espèces de chênes ont permis la distinction entre les feuilles de *Q. pubescens* (à feuilles relativement plus petites, avec un pétiole court et présentant peu de lobes primaires) et *Q. petraea*, *Q. virgiliana* et *Q. robur* (Borazon et Babaç, 2003).

Mir et al. (2006) ont montré, sur la base de morphologie foliaire et de distances génétiques de Nei en utilisant à la fois des marqueurs génétiques nucléaires (allozymes) et chloroplastiques (cp ADN), que *Q. afares* a présenté une distance génétique plus éloignée de *Q. canariensis* que celle de *Q. suber*, identifié comme étant le parent maternel. Notre étude morphologique des feuilles ne concorde pas ce résultat ; ses feuilles présentaient des différences importantes aux éventuels parents. D'autres cas d'hybridations ont été rapportés dont la morphologie de l'hybride est plus proche de l'un des parents, ce qui est montré par Kleinschmit et al. (1995) dans des croisements interspécifiques entre *Q. petraea* et

Q. robur. Pour ces derniers la morphologie des hybrides était beaucoup plus proche de celle du parent maternel. Par ailleurs, les observations révélées par Néophytou et al. (2007) ont montré que les hybrides entre (*Q. alnifolia* Poech) et (*Q. coccifera* L.) ont tendance à être morphologiquement semblables à *Q. alnifolia*, le parent maternel.

Notre étude a montré qu'en se basant sur les traits quantitatifs de taille et de forme des feuilles, la discrimination des espèces est évidente au stade semis : L'hybride (*Q. afares*) était différent des parents (*Q. suber*, *Q. canariensis*) pour la plupart des traits et s'est positionné en intermédiaire pour les traits de taille. L'analyse de la variance a clairement révélé également que *Q. suber* et *Q. canariensis* restaient morphologiquement distincts pour tous les traits quantitatifs mesurés.

La projection des semis sur les plans de l'ACM est identique à celle observée chez les mêmes espèces au stade adulte : des feuilles petites et arrondies caractérisent *Q. suber*, *Q. canariensis* a présenté des feuilles grandes et plus au moins allongées et entre les deux se trouve *Q. afares* avec des feuilles plus allongées tout en montrant plus de continuité avec les feuilles de chêne zeen. Néanmoins, la discrimination de *Q. suber* par rapport aux *Q. canariensis* et *Q. afares* a été observée sans ambiguïté tandis que ces derniers se chevauchaient entre eux. A ce stade de développement, le chevauchement entre individus était beaucoup plus important entre *Q. afares* et *Q. canariensis* que celui entre *Q. afares* et *Q. suber*.

Nos résultats ne corroborent pas ceux obtenus par des études antérieures, notamment ceux de Kleinschmit et al. (1995). Ces derniers ont noté que les hybrides juvéniles d'une famille F1 issus des croisements interspécifiques entre *Q. robur* et *Q. petraea* ont présenté des morphologies foliaires semblables et plus proches du parent femelle plutôt que de phénotypes intermédiaires. Également, des individus de *Q. subpyrenaica* (hybrides issus de croisement entre *Q. faginea* et *Q. pubescens*) ont été plus proches de *Q. faginea*, qui est le parent femelle (Himrane et al. 2004). Cependant, l'examen de la morphologie foliaire au stade semis a abouti à une discrimination interspécifique nette en utilisant des critères quantitatifs simples, ce qui est en accord avec des résultats antérieurs (Ponton et al. 2002) sur d'autres espèces de chênes européens contrairement à d'autres opinions répandues selon lesquelles les semis et les jeunes arbres sont souvent très semblables et tout à fait indistinguables en se basant sur les caractères foliaires (Kremer et al., 2002).

4. Conclusion

L'analyse multivariée des variables morphologiques a mis en évidence une diversité interspécifique significative pour la majorité des traits étudiés et une séparation des caractères de forme et de taille foliaire en trois taxons correspondants chacun à l'une des trois espèces. L'étude a montré qu'en se basant sur les traits quantitatifs des feuilles, la discrimination des espèces est également possible au stade semis placés en conditions homogènes, et que l'hybride (*Q. afares*) était différent des parents (*Q. suber*, *Q. canariensis*). Il était en position intermédiaire sur les premiers axes de l'ACM et sa proximité avec les feuilles de *Q. canariensis* était plus marquée au stade semis. Il existe chez ces deux derniers une importante diversité intra-spécifique similaire à celle des arbres adultes, alors que la variabilité intraspécifique de *Q. suber* est moins marquée que celle des deux autres espèces. La distribution des espèces est similaire aux deux stades de développement.

5. Références

- Bacilieri R, Ducouso A, Kremer A (1995)** Genetic, morphological, ecological and phenological differentiation between *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L. in a mixed stand of Northwest France. *Silvae Genetica* 44(1) :1-10
- Ben M'Hamed M, Abid H, Ben Jamaa L H (2002)** La Subéraie Tunisienne : Importance et orientations pour une gestion durable. In: Subéraie : Biodiversité et Paysage. Colloque Vivexpo, 32p.
- Borazan A, Babac M T (2003)** Morphometric leaf variation in oaks (*Quercus*) of Bulu, Turkey. *Annales Botanici Fennici* 40: 233-242.
- Boratynski A, Marcysiak K, Lewandowska A, Jasinska A, Iszkulo G, Burczyk J (2008)** Differences in leaf morphology between *Quercus petraea* and *Q. robur* adult and young individuals. *Silva Fennica* 42 (1): 115-124.

- Bruschi P, Vendramin G G, Bussotti F, Grossoni P (2000)** Morphological and molecular differentiation between *Quercus petraea* (Matt.) and *Quercus pubescens* Willd. (Fagaceae) in Northern and Central Italy. *Annals of Botany* 85: 325–333.
- Cristofolini G, Crema S (2005)** A morphometric study of the *Quercus crenata* species complex (Fagaceae). *Botanica Helvetica* 115: 115-167
- Dupouey J L, Badeau V (1993)** Morphological variability of oaks (*Q. robur* L., *Q. petraea* (Matt) Liebl., *Q. pubescens* Willd.) in northeastern France: Preliminary results. *Annals of Forest Science* 50: 35 40.
- Gailing O, Lind J, Lilleskov E (2012)** Leaf morphological and genetic differentiation between *Quercus rubra* L. and *Q. ellipsoidalis* E.J.Hill populations in contrasting environments. *Plant Systematics and Evolution* 298:1533-1545.
- Himrane H, Camarero J J, Gil- Pelegrin E (2004)** Morphological and ecophysiological variation of the hybrid oak *Quercus subpyrenaica* (*Q. faginea* × *Q. pubescens*). *Trees* 18: 566–575.
- Ito M (2009)** Variation in leaf morphology of *Quercus crispula* and *Quercus dentate* assemblages among contact zones: methods of detection of probable hybridization. *Journal Forest Research* 14:240-244.
- Kleinschmit J R, Bacilieri G R, Kremer A, Roloff A (1995)** Comparison of morphological and genetic traits of pedunculate oak (*Q. robur* L.) and sessile oak (*Q. petraea* (Matt.) Liebl). *Silvae Genetica* 44: 256-269.
- Kremer A, Dupouey J L, Deans J D, Cottrell J, Csaikl U, Finkeldey R, Espinel S, Jensen J, Kleinschmit J, Van Dam B, Ducouso A, Forrest I, Heredia U L, Lowe A J, Tutkova M, Munro R C, Steinhoff S, Badeau V (2002a)** Leaf morphological differentiation between *Quercus robur* and *Quercus petraea* is stable across western European mixed stands. *Annals of Forest Science* 59: 777–787.
- Mhamdi S, Brendel O, Montpied P, Ghouil-Amimi H, Hasnaoui I, Dreyer E (2013)** Leaf morphology displays no detectable spatial organisation in the relict *Quercus afares* Pomel compared to the co-occurring parental species *Q. canariensis* Willd. and *Q. suber* L. *Annals of Forest Science* DOI 10.1007/s13595-013-0312-x
- Mir C, Toumi L, Jarne P, Sarda V, Giusto F Di, Lumaret R (2006)** Endemic North African *Quercus afares* Pomel originates from hybridisation between two genetically very distant oak species (*Q. suber* L. and *Q. canariensis* Willd.): Evidence from nuclear and cytoplasmic markers. *Heredity* 96, 175–184.
- Neophytou C, Palli G, Dounavi A, Aravanopoulos F (2007)** Morphological differentiation and hybridization between *Quercus alnifolia* Poech. and *Quercus coccifera* L. (Fagaceae) in Cyprus. *Silvae Genetica* 56: 271-277.
- Neophytou C, Aravanopoulos F, Fink S, Dounavi A (2011)** Interfertile oaks in an island environment. II. Limited hybridization between *Quercus alnifolia* Poech and *Q. coccifera* L. in a mixed stand. *European Journal Forest Res* 130:623–635.
- Ponton S, Dupouey J L, Dreyer E (2002)** Leaf morphology as species indicator in seedlings of *Quercus robur* L. and *Q. petraea* (Matt.) Liebl. : Modulation by irradiance and growth flush. *Ann. For. Sci.* 61 (2004) 73–80 DOI : 10.1051/forest :2003086
- Quezel P, Santa S (1962)** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. *Editions du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)*: Paris. Vol, 1, pp 264–266.
- Tovar-Sánchez E, Oyama K (2004)** Natural hybridization and hybrid zones between *Quercus crassifolia* and *Quercus crassipes* (Fagaceae) in Mexico: morphological and molecular evidence. *American Journal of Botany* 91: 1352-1363.
- Véla E, Benhouhou S (2007)** Évaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le Bassin méditerranéen (Afrique du Nord). *Compte Rendus Biologies* 330: 589-605.
- Viscosi V, Fortini P, Slice D E, Loy A, Blasi C (2010)** Geometric morphometric analyses of leaf variation in four oak species of the subgenus *Quercus* (Fagaceae). *Plant Biosystems* Vol. 143, No. 3, pp. 575–587.
- Viscosi V, P Fortini (2011)** Leaf shape variation and differentiation in three sympatric white oak species revealed by elliptic Fourier analysis. *Nordic Journal of Botany* 29:632–640.