

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université de Tizi Ouzou et Université de HUELVA

Faculté des sciences biologiques et des sciences agronomiques  
Département de biologie Animale et végétale



# THESE DE DOCTORAT

Spécialité : Ecologie Végétale et Gestion de L'environnement

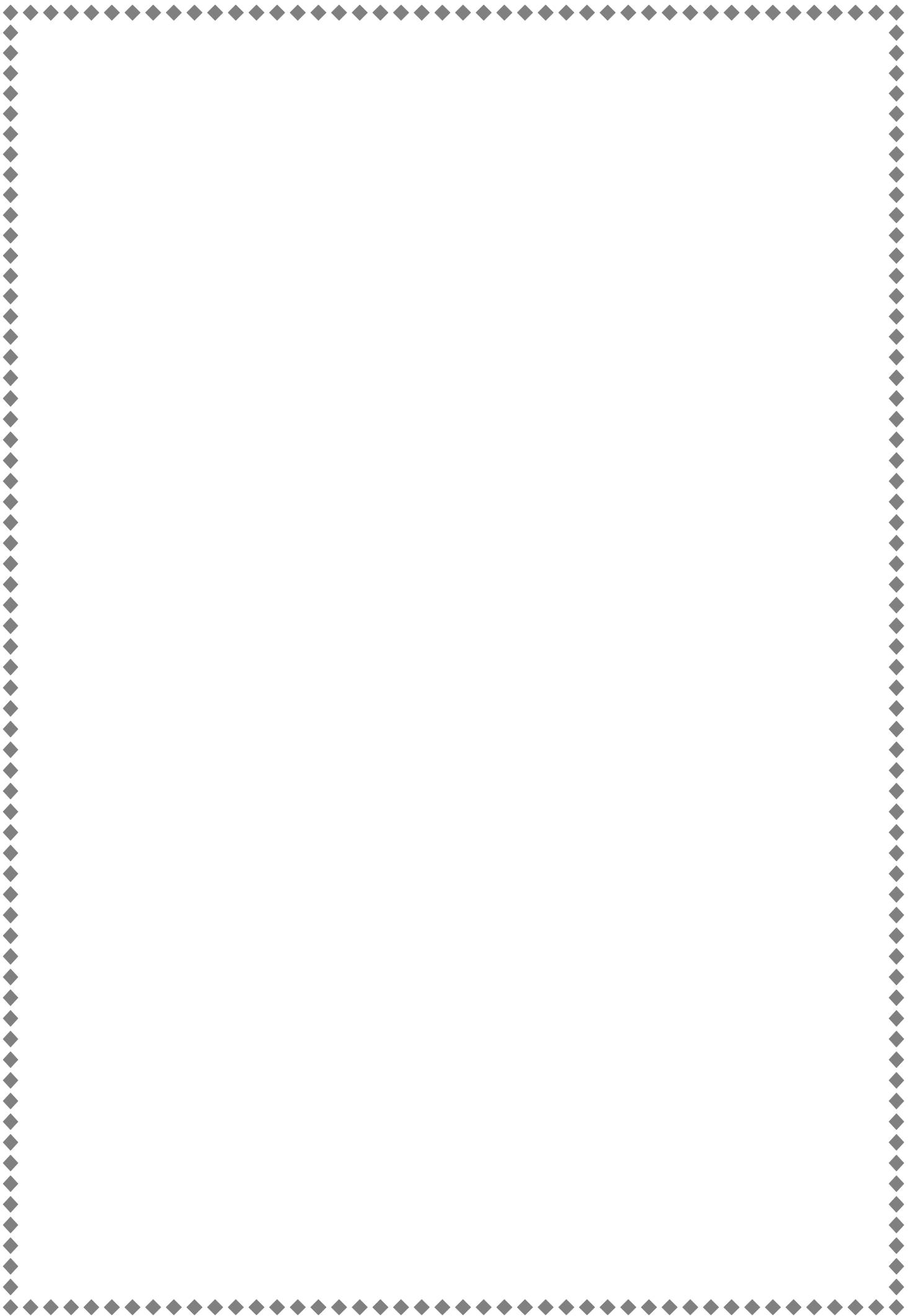
Présentée par  
**AKLI AMEL**  
Sujet

**Dynamique d'hybridation des chênes caducifoliés et sclérophylles de l'Akfadou (*Q. afares* Pomel, *Q. canariensis* Willd, *Q. suber* L., *Q. rotundifolia* L.).**

Soutenue le : 14 juillet 2022

Devant le jury composé de :

Président :	Derridj A.	Professeur	Université Tizi Ouzou.
Directeur de thèse :	Rabehi .K	Professeur	Université Tizi Ouzou.
CO- Directeur de thèse :	Torres.A. E.	Profeseur	Université de Huelva.
Invité :	Alia. M.R.	Directeur de recherche	à INIA de Madrid.
Examineurs :	Yahi N.	Professeure	U.S.T.H.B
	Sahnoune .M	Professeur	U.BEJAIA
	Ait said .S	M.C.A.	UMMTO



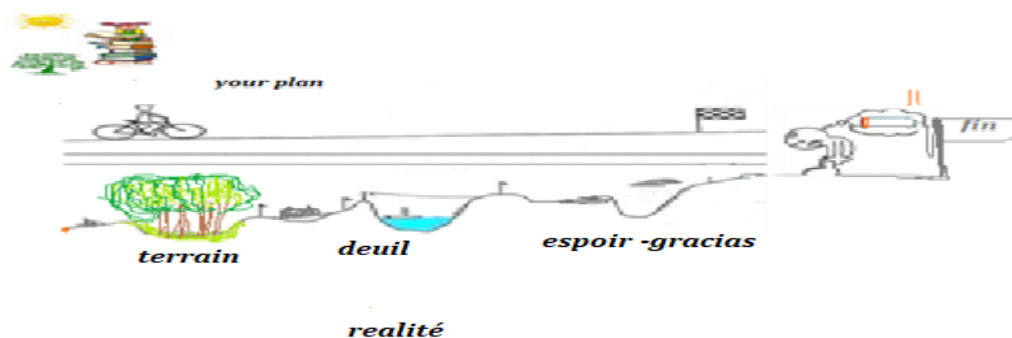
# Dédicaces

*Oui c'était bien différent de ce que je pensais et la réalité*

*Oui c'était dure.....*

*Mais, Oui.....c'est terminé ...c'est bien le bout du chemin*

*De tous cœur **MERCI**... à tous ceux qui m'ont tenu la main et accompagné jusqu'à la fin.*



A la mémoire de mon cher promoteur Messaoudene Mohand (Cette Thèse est un Hommage Pour vous da-Mohand Akyarhem rebi ; Inchlh el Djenneth)

**A mes chers parents**

*Je vous dois ce que je suis aujourd'hui grâce à votre amour, votre patience et vos innombrables sacrifices. Que ce modeste travail, soit pour vous une petite compensation et reconnaissance envers tout ce que vous avez fait pour moi. Que dieu, le tout puissant vous préserve et vos procure santé et longue vie, afin que je puisse à mon tour vous combler.*

**A mon très cher mari Sidali.**

*Ce travail n'aurait jamais pu voir le jour sans l'encouragement que j'ai eu plus particulièrement de ta part Sid, Gracias.*

**A mes deux filles Léa et Cynthia**

**A mes frères et sœur, beau-frère et belles sœurs**

**A toute ma grande famille (Akli-Sahmoune-Mehaddi)**

**A la mémoire de mes grands parents**

**A tous mes amis, Loudmila, Fathma, Nacera, Lynda, Zakia, Lydia, Hanane, Fatima**

**A tous mes cousins et cousines**

**A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études**

**A tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis de citer**

## **REMERCIEMENTS**

*Il m'est très agréable de remercier vivement tous ceux qui m'ont aidé, accueillie, accompagnée et soutenue. C'est grâce à eux que j'ai pu réaliser ce travail.*

Au moment où l'échantillonnage a été achevé ; la mort est venue nous ravir l'ami de toute la famille et directeur de thèse **Mahand Oussalah Messaoudene**, *paix a son âme.*

*Que dire de lui ?*

D'un mot, il était pour moi un grand Monsieur et un Maître de savoir et de l'écoute » Je lui dois tant pour toutes les connaissances que j'ai acquies avec sa compagnie dans le massif de l'Akfadou.

### ***Ce travail est dédié à sa mémoire.***

**E**n premier lieu, je remercie beaucoup l'Ami et promoteur Mr. Rabehi Khellaf pour avoir assuré au pied levé le suivi de l'encadrement suite à la disparition de notre grand maître. Il a su me faire confiance pour mener à bien ce projet, me laissant faire preuve d'initiatives et surtout de découvrir le monde de la recherche par moi-même. Je le remercie très sincèrement pour ses conseils, (son aide précieuse en statistique), ses orientations, la confiance et l'intérêt dont il m'a témoigné tout le long de cette thèse et sans oublier les nombreux encouragements qu'il m'a prodigués sans cesse; qui m'ont été d'une aide inestimable, qu'il retrouve ici toute ma gratitude.

**U**n grand merci à Mr Torres d'avoir accepté la co-direction de cette thèse avec beaucoup de gentillesse. Je suis très honorée. Cela me permettra sans aucun doute d'avoir un regard nouveau et productif sur mon travail. Sa confiance, son enthousiasme mais surtout l'intérêt qu'il m'a accordé, ont été une source d'inspiration. Malgré ses multiples préoccupations, il a contribué amplement à l'amélioration de ce travail. « **Gracias** »

**J**e remercie infiniment Mr Alia ; Directeur à l'INIA de Madrid. Cette thèse est le fruit de d'une collaboration de plus de cinq années avec lui .C 'est à ses côtés que j'ai compris ce que la précision voulait dire et qui m'a fait partager ses brillantes intuitions. Qu'il soit aussi remercié pour son aide inestimable, sa gentillesse, sa disponibilité, son abnégation permanente et pour les nombreux encouragements. « **Gracias** »

**J**e voudrais adresser mes remerciements à Mme Zaida Lorenzo, Assistante de Recherche à Institut National de Recherche et de Technologie Agricoles et Alimentaires à INIA-Madrid, pour m'avoir donné l'opportunité de travailler, analyser,..... Et pour m'avoir facilité le travail à l'INIA. « **Gracias** »

**J'**adresse aussi mes remerciements à Monsieur Derridj. Arezki, professeur à l'université de Tizi Ouzou ; Ami très proche de feu Mr Messaoudene qui m'a honoré en acceptant de présider le jury, Je le remercie pour sa gentillesse. *Qu'il soit assuré de mon profond respect.*

**J**e suis très honoré par la présence de monsieur Ait Saïd Samir, Maitre de conférences « A » à l'UMMTO et Mme Yahi. Nacima, Professeur à USTHB et également le Professeur Sahnoune .Mohamed de l'université de Bejaia , d'avoir accepté d'examiner ce travail, je leurs en suis profondément reconnaissante.

**J**e tiens à exprimer ma reconnaissance au personnel de la station de l'INRF d'Azazga. À tous. (Défunt Arezki ; Lilia, Safia, Ali chef de station .....a tous), et les forestiers du district d'AKFADOU (Idjeur), une pensée particulière pour Da l'Hocine.

**C**es remerciements ne peuvent s'achever, sans une pensée pour mes chers parents : ma mère et mon père. Leur présence et leurs encouragements sont pour moi les piliers fondateurs de ce que je suis et de ce que je fais.

**E**nfin je remercie mon cher époux pour son soutien quotidien indéfectible et son enthousiasme contagieux à l'égard de mes travaux comme dans la vie en général. Notre couple a grandi en même temps que mon projet scientifique, le premier servant de socle solide à l'épanouissement du second.

***U**n énorme merci pour tous mes amis, mes cousins et cousines.*

***Amel***

EN forêt,  
le silence  
*n'existe pas.*  
Les arbres  
*sont bavards.*

“**E**N el bosque el Silencio no existe. **L**os árboles son  
*habladores*”

« *Nature découvertes* »

# Liste des abréviations

**A** : *Afares*.

**AC** : Analyse canonique.

**ACM** : Analyse des correspondances multiples (ACM)

**ACP** : Analyse en composantes principales.

**AD**: Analyse discriminante (AD)

**AD**: Adrar.

**AK**: Akfadou.

**ANOVA** : Analyse de la variance

**ANOVA** : Analyse hiérarchique de la variance (ANOVA),

**AS** : Ait Salah.

**C**: Canariensis.

**CA** : Col Ait Salah.

**CK** : Col Akfadou.

**GPA** : l'analyse procrustéenne généralisée (GPA)

**H**: Hybrids.

**I**: *Ilex*.

**LN**: lac noir.

**M** : Températures moyennes mensuelles maximales.

**M** : Températures moyennes mensuelles minimales.

**MV**: Mehaga village.

**PNDF** : Plan national de développement forestier.

**PR** : **Points repérés.**

**S**: *Suber*.

**SH:** Sidi El Hadi .

**SSR:** Simple Séquence Repeats.

**St:** Station.

**TK:** Tala Kitten

**VM:** Vide Mehaga-

**DA:** Damous .

**SS :** somme des carrés

**MS :** somme moyenne des carrés

**ddl :** degrés de liberté.

**P :** précipitation annuelle (P).

**Phiv :** précipitations hivernales.

**Ppr :** précipitations printanières.

**Pest :** précipitations estivales.

**Paut :** précipitations automnales.

**ISE = PE/M :** L'indice de sécheresse d'Emberger.

**(M) :** La température moyenne maximale du mois le plus chaud.

**(T) :** La température moyenne annuelle.

**(m) :** La température moyenne minimale du mois le plus froid.

**IDM :** L'indice d'aridité de De Martonne (annuel et mensuel).

**Q2:** Le quotient pluviométrique de Stewart (1969).

**AGH :** Aghrib.

**AAI :** Ait aicha .

**AZA :** Azazga.

**TAG :** Tagma.

**PCR :** Polymérisation Reaction Chain

**Lh:** longueur en hauteur.

**Dc** : diamètre au collet.

**Nf** : nombre de feuilles.

**Nr** : nombre de rameaux.

**Log**: longueur du gland.

**Lar**: largeur des glands.

**Pg**: poids des glands.

**LN**: Lac Noir.

**AS**: Ait Salah.

**CY**: Centre Cynégétique.

**Tk** : Tala Kitan .

**AK**: Akfadou.

**VM** : Vide Mehaga.

**Ca**: Col Ait Salah.

**Ho**: Houra.

**Ya** : Yakouren.

**PR**: points repères.

**MG**: Morphométrie géométrique.

# Liste des tableaux

**Tableau.1.** Répartition générale des classes d'altitude à travers le territoire étudié (Matet, 2008).

**Tableau.2.1.** Données réduites relatives aux moyennes mensuelles (mois secs et mois humides), aux pluviométries annuelles et extrêmes et au régime saisonnier (extraites du tableau 13, Meddour, 2010 et Laribi, 2016).

**Tableau.2.2.** Données réduites relatives aux moyennes mensuelles (mois secs et mois humides), aux pluviométries annuelles et extrêmes et au régime saisonnier (extraites du tableau Laribi ; 2016).

**Tableau.3.** Températures moyennes mensuelles minimales et maximales des postes proches retenues. (Laribi, 2016).

**Tableau.4.** Valeurs mensuelles de l'indice d'aridité de De Martonne des postes retenues

**Tableau.5.** Description des stations échantillonnées .X : nombre de chênes échantillonnés.

**Tableau.6.** Description des Points Repères choisis et leur type selon Bookstein.

**Tableau.7.** Résultats de l'analyse hiérarchique de la variance pour la taille du centroïde. (Centroïde size variation).

**Tableau.8.** Résultats de l'analyse hiérarchique de la variance pour la conformation.

**Tableau.9.** Différences entre les moyennes des populations après calcul de la moyenne au sein des arbres.

**Tableau.10.** Statistiques descriptives des paramètres mesurés au niveau des stations inventoriées after averaging within tress /espèce de la taille du centroïde.

**Tableau .11.** Statistiques descriptives des paramètres mesurés au niveau des stations inventoriées. (Lh: longueur en hauteur ;Dc : diamètre au collet ;Nf :nombre de feuilles ; Nf :nombre de rameaux Log :longueur du gland ;Lar :largeur du glands ;Pg :poids du glands.

LN :Lac Noir ;AS :Ait Salah ;CY :Centre Cynégétique ;Tk :Tala Kitan ;AK :Akfadou ;VM :Vide Mehaga ;Ca :Col Ait Salah ;Ho :Houra ;Ya :Yakouren).

**Tableau.12.** Loci de microsatellites caractérisés dans des arbres forestiers

**Tableau.13.** Description et position des stations inventoriées avec leurs coordonnées géographiques.

**Tableau.14.** Nombre individus échantillonnés et les six loci utilisés dans l'analyse des échantillons.

**Tableau.15.** Concentrations de l'ADN dans les différents échantillons.

**Tableau.16.** Récapitulatifs des résultats de la nSSR : La lecture des gels d'amplification des amorces utilisées a montré que *seule l'amorce QpZAG13* Qui a pu donner des résultats à travers nos échantillons.

# Liste des figures

**Figure .1.** Répartition mondiale des Fagacées (**en rouge**) (Zhou, 1992).

**Figure.2 .** Arbres phylogénétique des fagacées (sous genre (**en vert**), la section (**en rouge**) et la sub-section (**en bleu**) selon Camus (1936-1954) in Xu, 2004).

**Figure.3.** Arbres de chêne- liège démasclés. (Photo .Akli.A .prise station Adrar 2018).

**Figure.4.** Aire de distribution du chêne-liège (Quézel et Médail, 2003). Les pointilles représentent la limite de la zone méditerranéenne.

**Figure.5.** Arbre de chêne zéen au cœur de l'Akfadou (*Q .canariensis* Willd.) (Photo .Akli. A .prise à la station Col Akfadou 2018).

**Figure.6.** Aire de répartition naturelle de *Quercus canariensis* dans le monde (Quézel et Médail, 2003).

**Figure.7.** Arbre, tronc de *Quercus afarès* (photo Akli. A. prise à la station sidi el hadi – Akfadou-Algérie).

**Figure.8.** Distribution géographique de *Q. afarès* (**en rouge**) (Quézel et Bonin, 1980).

**Figure.9.** Distribution du *Quercus rotundifolia* et du *Quercus ilex* dans son aire géographique méditerranéenne. Michaud et al. (1995).


**Figure.10.** Arbre, de *Quercus rotundifolia* (photo Amel. A. prise à la station Ait aicha Akfadou-Algérie)


**Figure.11.** Arbres, de *Quercus hybrides* (photo Amel. A. prise à la station Yakouren(*Q.numidica*) et Mehaga village -Akfadou-Algérie)

**Figure.12.** Chaines et massifs montagneux de la kabylie modifiée. (Massif de l'Akfadou) (Source : Microsoft expediamaps, 1997) modifiée.

**Figure .13.A-** Situation de la zone d'étude et localisation des sites prospectés. (Avec les différentes stations inventoriées) **B-** Situation de la zone d'étude et localisation des sites prospectés avec Google earth (avec mention de l'échantillonnage pour l'étude génétique et morphométrique) - Mapa del area de estudio.

**Figure.14 .** Carte pédologique de la Kabylie (d'après Durand, 1954 in Meddour 2010) modifiée .Extrait de la « *carte des sols de l'Algérie* » au 1/500 000e, coupure d'Alger, feuille N.J. 31-SE.

**Figure.15.** Carte des classes d'altitude de la kabylie. (Matet,2008) modifiée. Zone d'étude. 

**Figure.16.** Carte des classes de pentes de la kabylie (Akfadou). (Matet, 2008) modifiée. Zone d'étude. 

**Figure.17.** Carte numérique des pentes de l'Akfadou du projet SGIAR modifiée. (Système de gestion intégrée de l'information agricole et rurale) (Représentation en fausses couleurs) [http://www.sgiar.org/geodataaccess/images/SRTM\\_1.jpg](http://www.sgiar.org/geodataaccess/images/SRTM_1.jpg). (Meddour ; 2010).

**Figure.18.** Projection des postes météorologiques retenus sur le climagramme d'Emberger (in Quézel, 1979).

**Figure.19.** Diagramme Ombrothermique des postes météorologiques retenus.

**Figure.20.** Carte d'occupation des sols de la Kabylie du Djurdjura en noire zone - Akfadou. (Matet, 2008)

**Figure.21.a-** Spectre biologique (Laribi, 2000). Distribution en (%) des taxons de la forêt d'Akfadou selon leurs types biologiques .b- Spectre phytogéographique (Laribi, 2000). Distribution (en %) des taxons de la forêt d'Akfadou selon leurs origines biogéographiques.

**Figure.22.** Analyse des correspondances multiples (ACM) de la répartition des modalités de tous les facteurs sur les deux premiers axes (35.37% pour l'axe 1 et 18.73 pour l'axe2).a : facteur exposition ; b : facteur espèce proche ; c : facteur relief ; d : facteur milieu.

**Figure.23.** Corrélations ratio de la répartition des modalités de tous les facteurs sur les deux premiers axes.

**Figure.24.** Analyse croisée exposition /espèce proche. Le relief: versant, ligne de crête .Le milieu: agricole, forestier, clairière.

**Figure.25 .** Photos des échantillons de feuilles récoltés séchées. (akli.1- photo des échantillons de feuilles des hybrides de la station Tala Kitan.2-photo de l'échantillon d'une feuille de chêne zéen station vide Mehaga).

**Figure.26.** Représentation des quatre étapes de la morphométrie géométrique, source (Adams et al. 2004).A, Enregistrement des PR. B Suppression de la variation qui n'est pas due à la conformation (Superposition Procruste). C, Analyse statistique (analyse canonique) et représentation graphique des résultats (grilles vertes). Les grilles de déformation illustrent les différences de conformation entre deux espèces de poissons

**Figure.27.** Choix des points repères. Position des PR sur les feuilles (Gauche) (1. feuille, représentation schématique permettant de reconnaître la configuration de points (Droite).1.échantillon de feuille d'hybride de la station Yakouren; 2. échantillon de feuille de chêne vert d'Akfadou.3. échantillon de feuille chêne Afares ; 4. échantillon de feuille de chêne liège de station Ait aicha.

**Figure.28.** Courbe de régression entre l'espace morphométrique de Kendall (Kendall shape-space) et l'espace tangent.

**Figure.29.** Diagramme de la distribution cumulative des distances des échantillons individuels de la forme moyenne de l'échantillon (des 13 stations inventoriées).

**Figure.30.** Superposition procrustéenne généralisée de tous les échantillons (gauche) position des points repères sur une seule feuille issue d'un hybride (station Yakouren), (droite) conformation moyenne (consensus) représenté par les points bleu, et PR de l'ensemble des échantillons en noir.

**Figure.31.** Projection des espèces de chênes selon axe 1 et 2 de l'analyse canonique pour les espèces pures (*Q.afares- Q.canariensis-Q.rotundifolia-Q.suber*) / (average station-espèce-arbre).

**Figure.32.** Visualisation du changement de conformation de la feuille des chênes selon le premier et deuxième axe par le mode de visualisation « transformation grid » A et B-C et D.

**Figure.33.** Projection des espèces de chênes selon axe 1 et 2 de l'analyse canonique pour les espèces pures et hybrides (afarès-zéen-vert-liège-hybrides). (CV1=47.08% - CV2= 35.88%)

**Figure.34.** Visualisation du changement de conformation de la feuille des chênes purs et hybrides selon le premier et deuxième axe par le mode de visualisation « transformation grid » A et B pour CV1 et C et D pour CV2.

**Figure.35.** Diagramme en boîte à moustaches de la variation de la taille du centroïde des espèces pures et hybrides. (A : *Q. afarès*-C : *Q.canariensis* -I : *Q.rotundifolia* -S :*Q.suber*-Q. hybride).

**Figure.36.** Projection des individus selon les deux premières composantes principales 1 et 2. (CV1=37.91% -CV2= 67.10%).

**Figure.37.** Pourcentage de variation des axes en composantes principales. Et visualisation du changement de conformation de la feuille des chênes purs et hybrides selon le premier et deuxième axe par le mode de visualisation « transformation grid »

**Figure.38.** Visualisation du changement de conformation de la feuille des chênes purs et hybrides selon le premier et le deuxième axe par le mode de visualisation « transformation grid ».

**Figure.39.** Résultats de l'analyse discriminante (AD) des formes des feuilles de *Q.*

**Figure.40.** Projection et position du chêne hybride AK-H1 ? Résultat génétique

préliminaire (chapitre 4) et résultat morphologique ; identifié selon les deux premières composantes principales (axe 1 et axe2). *afares*, *Q.suber*, *Q.rotundifolia*, *Q.canariensis* et *Q.hybride*.

**Figure.41.** Variation du quotient de robustesse (Lar/Log) des plants de plants de chêne quotient de vigueur (Qv) dans les stations inventoriées. (AS=Ait Salah ; LN=Lac Noir ;CY=Centre Cynégétique ;TK=Tala Kitan ;AK=Akfadou ;VM=Vide Mehaga ;CA=Col Ait Salah ;HO=Houra, YA=Yakouren.

**Figure.42.** Diagrammes en boîtes des traits phénotypiques des glands de chênes putatifs dans les neufs stations étudiées en Algérie (Akfadou) (Pg: poids des glands en g ; Log : longueur des glands en mm ; Lar : largeur des glands en mm ; Les moyennes des stations signalées avec des lettres différentes sont significativement différentes, au seuil

**Figure.43.** Taux de germination des glands dans les stations inventoriées après deux mois de mise en culture dans/ 30 pots semis dans chaque station. (AS=Ait Salah ; LN=Lac Noir ; CY=Centre Cynégétique ;TK=Tala Kitan ;AK=Akfadou ;VM=Vide Mehaga ;CA=Col Ait Salah ;HO=Houra, YA=Yakouren.

**Figure.44.** Diagrammes en boîtes des paramètres morphométrique des glands de chênes putatifs dans les neufs stations étudiées en Algérie (Akfadou) (La :la hauteur ,Dc :diamètre au collet ,Nr :nombre de rameaux , Nf :nombre de feuille au seuil de 5%).

**Figure.45.** Variation du quotient de robustesse (Lh/Dc) des plants de plants de chêne quotient de vigueur (Qv) dans les stations inventoriées. (AS=Ait Salah ; LN=Lac Noir ; CY=Centre Cynégétique ;TK=Tala Kitan ;AK=Akfadou ;VM=Vide Mehaga ;CA=Col Ait Salah ;HO=Houra, YA=Yakouren.

**Figure.46.** Projection des variables sur le plan factoriel retenu. Légende: DC :diamètre au collet ,La :hauteur aérienne ,Lar : largeur du gland ;Log :longueur du glands ;Pg :poids du glands ; Nf :nombre de feuilles ;Nr :nombre de rameaux.(78.91%)

**Figure.47.** Projection des individus (station) sur le plan factoriel retenu .avec la mention de l'espèce pure proche dominante.

**Figure.48.** Carte d'Akfadou montrant la position des arbres échantillonnés pour les analyses génétiques (pour extraction de l'ADN). Qui montre la position des tous les chênes pures et hybrides inventoriées. (Espèces pures et espèces hybrides).

**Figure.49.** Photo d'un chêne hybride au cœur l'Akfadou (hybride génétiquement identifiée entre *Q.suber* et *Q.rotundifolia* (vert).

**Figure.50.** Ségrégation des allèles et identification génétique d'un chêne hybride entre *Q.rotundifolia* et *Q.suber*. ( H3).

# Table des matières

Introduction générale.....	1
<b>Chapitre1 : Revue bibliographique-généralités sur les chênes.....</b>	<b>7</b>
I. Répartition, Taxonomie, Histoire, Ecologie et Biologie des chênes .....	7
▪ Distribution géographique.....	8
▪ Taxonomie.....	8
▪ Aperçu sur l'histoire des chênes.....	10
▪ Biologie des chênes.....	11
II. Ecologie des chênes .....	11
1. Le Chêne Liège: <i>Quercus suber</i> L.....	11
▪ Taxonomie.....	11
▪ Caractéristiques botaniques.....	11
▪ Répartition géographique.....	13
▪ Exigences écologiques.....	14
2-Le chêne zéen: <i>Quercus canariensis</i> Willd.....	15
▪ Taxonomie.....	15
▪ Caractéristiques botaniques.....	15
▪ Répartition géographique .....	16
▪ Exigences écologiques .....	17
3. Le chêne afares : <i>Quercus afarès</i> Pomel.....	18
▪ Taxonomie.....	19
▪ Caractéristiques botaniques .....	19
▪ Répartition géographique.....	20
▪ Exigences écologiques.....	20
4. Chêne vert : <i>Quercus rotundifolia</i> L, <i>Quercus ilex</i> L.....	21
▪ Taxonomie.....	22
▪ Répartition géographique .....	23
▪ Ecologie du chêne vert.....	25
5. Les hybrides.....	27
III. Endémisme et rareté.....	27

IV .Espèce et Hybridation.....	28
▪ Notion d'espèce .....	28
▪ Hybridation et introgression génétique .....	29
▪ Diversité des traits fonctionnels des arbres.....	32
▪ Les hybrides et leurs définition.....	33
▪ Les circonstances favorables pour l'hybridation naturelle .....	36
• Action de l'homme sur l'hybridation naturelle .....	36
• Fertilité des hybrides.....	36
<b>Chapitre 2. Description de La zone d'étude .....</b>	<b>38</b>
2.1. Présentation de la forêt d'Akfadou.....	38
2.2. Localisation de la Forêt d'Akfadou .....	39
2.3. Relief, substrat géologique et pédologie .....	40
2.4. Description du climat et du bioclimat.....	45
2.4.1. Les précipitations.....	47
▪ Précipitations moyennes annuelles .....	48
2.4.2. Les températures .....	49
2.5. Effet de l'ensoleillement.....	52
2.6. La végétation.....	52
• Chênes de l'Akfadou et Présentation du genre <i>Quercus</i> .....	52
• Associations et groupements végétaux (Akfadou).....	55
• Spectre biologique et phytogéographique au niveau de l'Akfadou .....	56
• Etages de végétation .....	57
2.7. Influences des facteurs de milieu sur la répartition des hybrides inventoriés.....	60
<b>Chapitre3. Etude morphométrique des chênes purs et hybrides.....</b>	<b>69</b>
Introduction.....	69
3.1.1. Phénomène d'hybridation chez les chênes.....	71
3.1.2. Variabilité morphologique.....	71
3.1.3. Durée de vie foliaire.....	73
3.1.4. Méthodologie d'étude Morphométrique des chênes.....	74
• Choix de la Feuille comme matériel végétale.....	75

•	Variation morphologique des feuilles des chênes .....	76
•	Concepts de Conformation « Shape » et de Forme « Form ».....	77
•	Méthode des Points-Repères (Landmarks).....	78
•	Types de Points-Repères.....	79
•	Analyse statistique des PR.....	80
3.1.5.	Matériel et méthodes.....	81
3.1.6.	Choix des points-repères selon Bookstein.....	83
3.1.7.	Préparation des examens de données.....	84
3.1.8.	Superposition procrustéenne des feuilles.....	85
3.1.9.	Calcul de la matrice de Covariance.....	86
3.1.10.	Analyse Canonique.....	86
3.2.	Résultats des mesures de morphométrie et discussions .....	87
3.2.1.	Vérification des données .....	87
•	Approximation de l'Espace tangent par « Kendall's shape-space ».....	87
•	Vérification des valeurs aberrantes des chênes inventoriés.....	88
•	Superposition procrustéenne des feuilles des chênes inventoriés .....	89
3.2.2.	Species discrimination and testing population différences.....	90
•	Analyse canonique des espèces pures et hybrides de chêne .....	90
▪	espèces des chênes purs.....	90
▪	espèces pures et hybrides .....	92
•	Résultats De L'ANOVA : partition de variance de forme de feuille [procrustes analyse de variance (ANOVA)].....	94
•	Testing population differences using permutation tests and discriminant analyses.....	96
•	Species discrimination by ACP et AD.....	97
Discussion.....		100

Conclusion .....	101
------------------	-----

#### **Chapitre 4. Biométrie des glands et croissance des plants des chênes hybrides**

Introduction.....	102
4.1. Matériel expérimental-Material experimental.....	104
▪ Récolte.....	104
▪ Paramètres biométriques mesurés sur les glands .....	106
▪ Culture en pots.....	107
▪ Mesures morphologiques des plants .....	108
4.2. Résultats.....	109
▪ Biométrie des glands.....	112
Discussion.....	118
Conclusion.....	122

#### **Chapitre.5. Étude génétique préliminaire des chênes hybrides de l'Akfadou à l'échelle population**

Introduction .....	124
5.1. Différents types d'ADN pour différents usages .....	126
5.2. Extraction de l'ADN végétal.....	127
5.3. Types de marqueurs utilisés pour l'évaluation de la différenciation génétique ...	127
5.3.1. Marqueurs isozymes .....	127
5.3.2. Marqueurs RAPD transformés en SeAR.....	127
5.3.3. Marqueurs microsatellites.....	128
5-3.4. Marqueurs SNP.....	128
5.3.5. Marqueurs AFLP .....	129
5.4. Outils moléculaires: Microsatellites nucléaires .....	129
5.5. Application des microsatellites aux arbres forestiers.....	130
5.6. Détermination des génotypes à l'aide de microsatellites (identification au moyen de l'ADN.....	132
5.7. Structure génétique à l'échelle locale .....	133
5.8. Matériel expérimental et méthodologie : Structure génétique à l'échelle d'une population local.....	134

5.8.1. Lieu d'étude et objectifs.....	134
5.8.2. Outils moléculaires : microsatellites nucléaire.....	136
5.8.2.1. Matériel végétal.....	136
5.8.2.2. Extraction d'ADN.....	137
• Microsatellites nucléaires- Microsatélites nucleares.....	137
5.8 3. Résultats.....	138
Discussion et conclusion.....	146

**Introduction générale**

**Introduccion general**

## ***Introduction-Introduccion***

L'originalité taxonomique du bassin Méditerranéen est très forte (Médail et Quézel, 1999), certains genres ou familles ont connu une histoire intense de diversification et de spéciation dans la région (Thompson, 1999). Le genre *Quercus* est typique d'une telle situation. Les chênes sont des Angiospermes appartenant à la famille des *Fagaceae*. Cette famille se divise en sept genres (Manos *et al.*, 2001). Le genre *Quercus* regroupe plusieurs centaines d'espèces. Selon les auteurs, plusieurs classifications ont été proposées sur la base d'études morphologiques puis moléculaires, mais elles font toujours débat sur le nombre et la notion d'espèce dans ce genre en raison de la présence de formes intermédiaires et d'hybrides (Garant, 1981; Nixon, 1993; Tutin *et al.*, 1993; Manos *et al.*, 1999).

Les chênaies méditerranéennes se caractérisent par la présence de chênes à feuillage caduc dans les étages bioclimatiques humides et de chênes à feuillage persistant dans les bioclimats : humide, subhumide et même semi-aride (Hasnaoui, 1992). Le genre *Quercus* renferme une diversité génétique très élevée. Les forêts algériennes ont été modifiées au cours des derniers millénaires par l'activité humaine, notamment du fait des coupes et des incendies. *Q. afares* et autres *Quercus* hybrides sont des taxons hybrides, relictuelles, représentatives de l'endémisme restreint existant dans le bassin méditerranéen, qui constitue l'un des «hot pots» de la biodiversité planétaire (Myers *et al.*, 2000). Ce sont des arbres montagnards localisés dans des habitats restreints, avec seulement quelques individus reproducteurs, répartis en population algérienne et tunisienne (Nord –Ouest - Nord Est).

La complexité de la systématique et la grande variabilité à l'intérieur du genre *Quercus* sont remarquables tant par l'intensité des flux de gènes entre espèces que par la diversité des situations d'échanges interspécifiques (Burger, 1975). L'hybridation et l'introgession sont à *priori* les sources de diversité génétique et des processus qui contribuent à l'évolution des complexes d'espèces de chênes. En effet, l'hybridation est une caractéristique commune des espèces de chênes, qui sont marquées non seulement par la présence d'hybrides mais aussi par

la complexité des systèmes hybrides, qui pourraient inclure des rétrocroisements et des formes hybrides complexes en fonction des caractéristiques génétiques, physiologiques et environnementales (Howard *et al.*, 2003). Par ailleurs, les chênes font partie des espèces forestières les plus polymorphes au plan génétique (Kremer et Petit., 1993). Ils représentent un groupe taxonomique pour lequel chaque espèce maintient des identités morphologiques et écologiques distinctes en dépit de l'hybridation et de l'introgession (Burger, 1975; Grant, 1981). Dans le genre *Quercus*, les phénomènes d'hybridation interspécifique sont communs entre espèces d'une même section botanique, mais aussi possibles entre des espèces de sections différentes; notamment entre *Q. suber* L (section: *Cerris*; espèce sempervirente) et *Q. canariensis* Willd. (Section: *Quercus*; espèce caducifoliée) qui sont deux chênes dominants de la forêt algérienne. Ces derniers coexistant dans certains peuplements et constituant les mélanges les plus fréquents. Des études antérieures (Boudy, 1950; Maire, 1961; Mir *et al.*, 2006; Welter *et al.*, 2012) ont montré que ces deux espèces, autrement qu'elles soient phylogénitiquement éloignées, peuvent s'hybrider et l'hybride résultant est le chêne afares (*Q. afares* Pomel) qui a été assigné à la Section *Cerris* (Boudy, 1950) algérien; comme en Kabylie (Beni Ghobri, Akfadou), des problèmes de conservation s'y posent et son extension passée était supérieure à celle d'aujourd'hui (Hasnaoui, 1992).

De ce fait, les espèces rares telles que celles vivant en petites populations ou ayant des distributions géographiques restreintes occupent une place centrale en biologie de la conservation car elles courent un grand risque d'extinction (Pimm *et al.*, 1988; Gaston, 1994). Le manque de connaissances générales sur la biologie des espèces rares a été fréquemment souligné (Kunin *et* Gaston, 1993; Murray *et al.*, 2002a). Parfois ces espèces peuvent contribuer de manière significative à la biodiversité des hot-spots et des aires protégées (Myers *et al.*, 2000; Zurlini *et al.*, 2002).

Notons que l'étude des différents caractères morphologiques et biométriques qui permettent aux plantes de survivre dans certains environnements et pas dans d'autres, constitue une étape importante dans la compréhension des modèles de distribution et l'abondance des espèces, un objectif central de l'écologie (Givnish, 1988). Par ailleurs, l'évaluation de la variabilité morphologique dans les peuplements mixtes de chênes a permis la description des phénotypes, y compris les hybrides et l'estimation de leur parenté origine ou descendance génétique (Carlisle *et al.*, 1965; Kremer *et al.*, 2003). Cependant, peu de données sont disponibles sur l'évaluation écophysiologie de la performance des hybrides de chêne en

comparaison avec les espèces parentales (Ehleringer et Smedley. 1989; Williams et Ehleringer . 2000; Himrane, 2002).

Dans la forêt algérienne, les divergences inter spécifiques fonctionnelles ne sont pas encore décrites chez les chênes, notamment dans le peuplement mixte marqué par la présence simultanée de chêne liège (*Q. suber* L), de chêne zéen (*Q. canariensis* Willd.), chêne vert (*Q. rotundifolia* L) et de leurs hybrides dont (*Q. afares* Pomel) (Mir *et al.*, 2006). Toutefois, nous ne disposons pas d'informations suffisantes sur cette diversité. L'identification des espèces de chênes sur la base des caractéristiques morphologiques se fait généralement en utilisant les caractéristiques combinées du gland, du tronc, de la feuille et de l'inflorescence (Debeaux, 1894; Lapie & Maige . 1914; Del Villar, 1937; Quézel & Santa . 1962). Toutefois, la feuille peut suffire pour la discrimination, car bien que simple le chêne varie considérablement d'une espèce à une autre par la forme et la pilosité (Viscosi *et al.*, 2009a). En effet, cette variabilité de la feuille a été étudiée par de nombreux auteurs en utilisant des analyses morphologiques classiques (Viscosi *et al.*, 2009a ; Viscosi *et al.*, 2009b).

Dans diverses espèces de chênes, la différenciation des caractères foliaires se produit entre différentes populations, entre les arbres d'une même population et également entre les branches d'un seul arbre (Blue & Jensen. 1988; Bruschi *et al.*, 2003). En effet, les caractéristiques de forme des feuilles analysées peuvent être indicatives de génotypes spécifiques et être utiles pour la description et l'exploration des modèles de variation morphologiques des espèces pures et leurs hybrides (Viscosi et Fortini .2011). De plus, des variations saisonnières (Blue & Jensen. 1988) et ontogéniques (Bruschi *et al.*, 2003) ont été observées. Ces résultats démontrent le dynamisme du feuillage et sa capacité à s'adapter à des conditions environnementales à travers la plasticité et/ou la différenciation adaptative (González-rodríguez & Oyama. 2004 ). L'étude effectuée par Viscosi *et al.*, 2009 a révélé un fait important ; les hybrides ne présentent pas nécessairement des morphologies intermédiaires et ces derniers ne désignent pas systématiquement l'hybridation, ceci est due à la nature polygénique des différences morphologiques entre les espèces de chêne (Viscosi *et al.*, 2009b).

La morphométrie repose sur l'analyse des variations de formes et de leur covariation avec d'autres variables (Bookstein, 1997; Dryden & Mardia. 1998). On distingue aujourd'hui la morphométrie dite traditionnelle, qui se base sur des mesures de distances entre points plus ou moins homologues sur des organismes ou leurs parties et des mesures de la morphométrie

géométrique, qui considèrent la forme de façon indépendante de la taille en tant que conformation géométrique. Le manque, au niveau mondial, d'experts taxonomistes et l'urgence liée à l'étude de la biodiversité a favorisé l'émergence de ces nouvelles méthodes, qu'elles soient automatiques ou semi-automatiques (Krieger, 2010; 2014). Ainsi, les systèmes robustes d'identification d'espèces permettraient aux personnes ayant une formation botanique limitée ou un manque d'expertise de mener à bien leur travail sur terrain (Cope *et al.*, 2012).

Ce travail de thèse se situe entre l'écologie, la biométrie et la morphologie des glands des chênes issus des hybrides et des feuilles des chênes purs et hybrides inventoriées. Il vise deux objectifs majeurs :

1. Au niveau écologique et morphométrique : il s'agit d'étudier *in situ* (en conditions naturelles) la dynamique de la population de chênes purs et *hybrides* dans le peuplement mixte des chênes.
2. Au niveau génétique, l'objectif consiste à évaluer d'éventuelles différences interspécifiques en termes de biométrie et croissance des glands, de morphologie foliaire, de traits foliaires potentiellement à l'origine de la diversité des espèces étudiées.

Chacun de ces axes repose sur des questions de recherche précises:

- \_ Comment sont distribués les individus de *Quercus et hybrides* dans le peuplement mixte à travers les stations inventoriées ?
- \_ Existe-t-il une diversité interspécifique de la morphologie foliaire entre les espèces de chêne liège, de chêne zéen, de chêne vert, de chêne afares et les hybrides putatifs issus de ces derniers ? Quels sont les caractères les plus discriminants entre les espèces ? -\*Quelle est la proximité de la morphologie foliaire de l'hybride par rapport aux espèces pures parentales au stade adulte ?

La grande diversité du genre *Quercus* ne faisant pas l'exception dans la forêt de l'Akfadou, celui-ci est représenté par quatre espèces connues : *Q. canariensis* Willd, *Q. afares* Pomel, *Q. rotundifolia* L. et *Q. suber* L. et des hybrides *Q. numidica* Trab et *Q. kabylica* Trab. (Vázquez *et al.*, 2018). Néanmoins, sur terrain, il est observé une diversité plus importante que celle citée par les travaux effectués dans cette forêt. Cette problématique nous conduit à l'objectif principal, qui est de chercher la présence d'autres hybrides, en plus de ceux cités dans la littérature. Le second objectif, est d'évaluer l'efficacité des méthodes de Morphométries Géométriques, appliquées à la feuille, sur la systématique des chênes de la forêt de l'Akfadou. L'ensemble de ces informations serait susceptible d'améliorer les connaissances sur la variabilité des hybrides dans l'Akfadou.

La structure de ce présent travail se présente comme suit :

- Le chapitre(1), sera consacré à « la revue bibliographique sur les chênes», à la description de la problématique de classification des chênes, la répartition, la biologie et au phénomène d'hybridation naturelle qui les caractérisent et le polymorphisme ainsi que les différentes méthodes de classification utilisées.
- Le chapitre (2), zone d'étude : description du milieu d'étude.
- Le chapitre (3), sera réservé à la morphométrie géométrique en général et à la méthode des « Points-repères » en particulier. Les principes de base de cette méthode y sont présentés depuis l'acquisition de données jusqu'à leur interprétation en passant par l'analyse statistique. (Chênes et Morphométrie).
- Le chapitre (4), portera sur l'étude de la biométrie des glands récoltés sur divers sujets hybrides dans l'Akfadou et sur la croissance et les comportements des plants des chênes hybrides en pépinière. Les objectifs de cette démarche sont considérés comme complémentaires à l'analyse des plants pour l'établissement de tests provenances – descendances afin de déceler d'éventuels paramètres discriminant les différents hybrides.
- Enfin le chapitre (5), partie nous procéderons à l'étude génétique préliminaire des chênes hybrides de l'Akfadou à l'échelle de la population.

# Chapitre 1 - Capitulo 1

**Revue bibliographique-généralités sur les chênes-  
Reseña bibliográfica-información general sobre robles**



***Q.suber L***

## **Chapitre 1 - Capitulo 1**

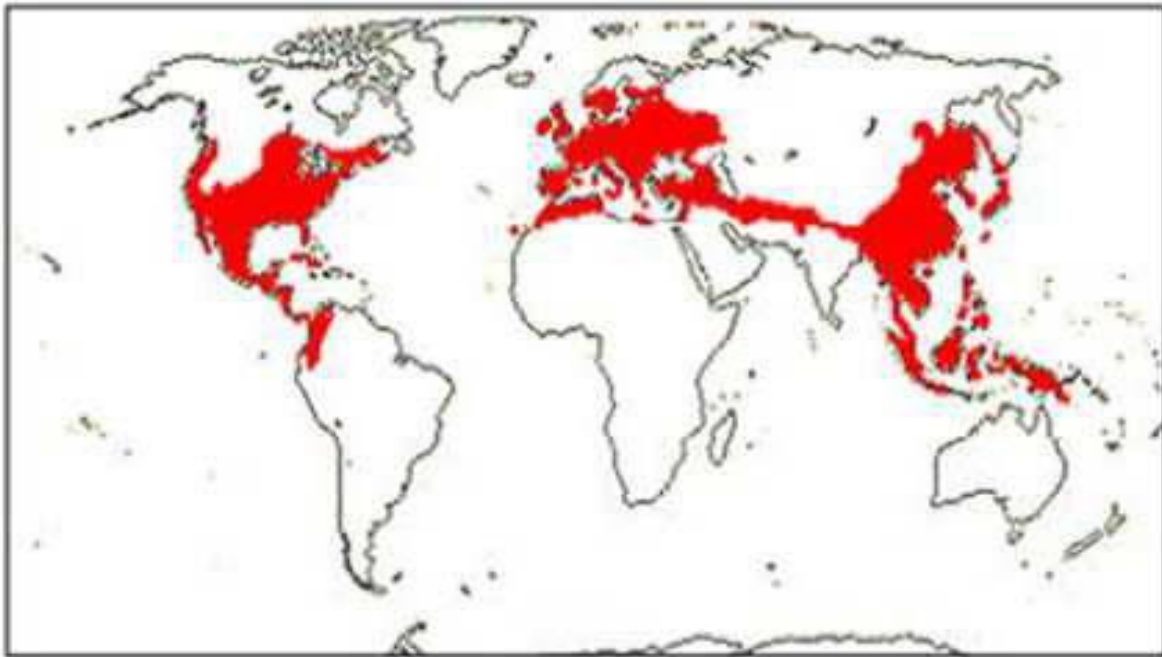
Revue bibliographique - Généralités sur les chênes

**Reseña bibliográfica-información general sobre robles**

### **I. Répartition, Taxonomie, Histoire, Ecologie et Biologie des chênes - Distribucion, Taxonomia, Historia, Ecologia y Biologia de los robles**

#### **▪ Distribution géographique – Distribucion geografica**

Les chênes dominent l'hémisphère Nord, ils sont présents notamment dans les forêts tempérées, méditerranéennes et subtropicales (Manos et Steele. 1997) ; le centre de répartition se situe en Amérique du Nord et au Mexique mais un grand nombre d'espèces peuplent la région méditerranéenne et l'ouest de l'Asie (Fig.1). En direction du Sud, quelques espèces se sont avancées jusqu'à l'Equateur et en Indonésie (Melchior, 1964).



**Fig1.** Répartition mondiale des Fagacées (en rouge) (Zhou, 1992).

#### ▪ Taxonomie -Taxonomia

Les chênes étudiés appartiennent à la famille des Fagacées qui se situe dans le règne végétal relevant de l'ordre des Fagales, cette famille contient sept genres: *Castanea*, *Castanopsis*, *Chrysolepsis*, *Fagus*, *Lithocarpus*, *Quercus* et *Trigonobalanus* (Manos *et al.*, 2001). Cette classification est principalement basée sur des caractères morphologiques des feuilles, de la fleur et du fruit (Manos *et al.*, 2001). Les genres *Quercus* et *Trigonobalanus* sont anémophiles et regroupés dans la sous famille des *Fagoideae*. Par contre, les genres *Castanea*, *Castanopsis*, *Chrysolepsis*, *Fagus*, *Lithocarpus*, sont entomophiles et classés dans la sous-famille des *Castaneoideae* (Nixon, 1989; Manos *et al.*, 2001).

Le genre *Quercus* est considéré comme un des genres dominants de cette famille, comprend approximativement 500 espèces d'arbres et d'arbrisseaux s (selon les auteurs) distribués dans l'ensemble de l'hémisphère nord depuis les régions tropicales jusqu'aux limites septentrionales des zones tempérées (Manos *et al.*, 1999).

Aime (1976) signale que ce genre pose un problème polygénétique qui n'est toujours pas résolu. Pour la systématique, le genre *Quercus* présente une grande complexité du fait de sa diversité morphologique, le grand nombre des espèces, leur dispersion et la facilité avec laquelle ces espèces donnent des hybrides fertiles. Le nombre d'espèces fait l'objet de polémiques; il demeure assez imprécis parce qu'il n'y a pas d'accord entre les taxonomistes

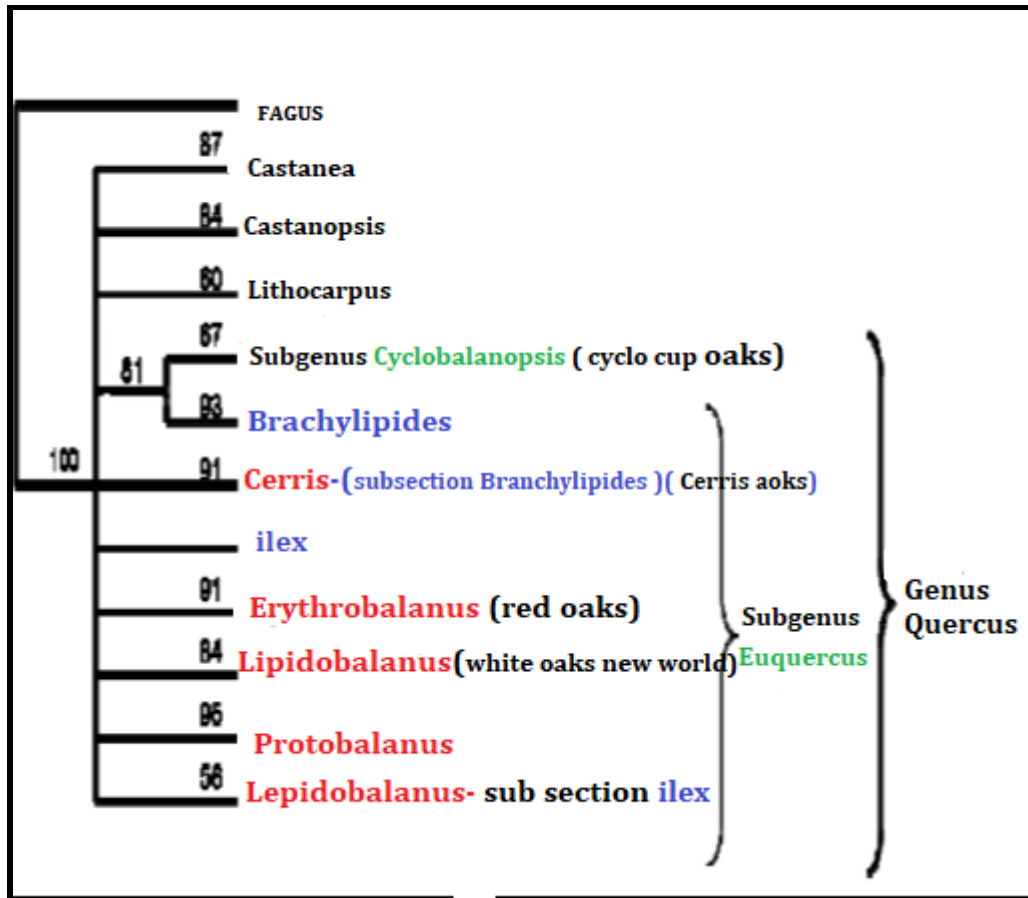
sur la définition des différents taxons. Charles Darwin parlait des chênes comme des espèces suspectes.

La monographie la plus exhaustive est celle proposée par Camus (1936-1954) qui reste encore l'ouvrage de référence malgré son ancienneté. La classification proposée par ce dernier comprend deux sous-genres: les *Euquercus* et les *Cyclobalanopsis*. Ce dernier n'est présent qu'en Asie. Le sous genre *Euquercus* est subdivisé en 5 sections phylogénétiques (Fig.2):

La section *Cerris* comprend les chênes méditerranéens (Europe, Asie, Afrique du Nord). Ils sont soit à feuilles persistantes tel que le chêne-liège, soit à feuilles caduques caducifoliés;

- ✓ La section *Lobatae* (*Erythrobalanus*), regroupe les chênes rouges d'Amérique du Nord, du Centre et du Sud;
- ✓ La section *Quercus* (*Lepidobalanus*), inclut les chênes blancs d'Amérique, d'Asie et d'Europe;
- ✓ La section *Protobalanus*, englobe les chênes intermédiaires de l'Amérique du Nord du Sud-Ouest des USA et du Nord-Ouest du Mexique ;
- ✓ La section *Mesobalanus* comprend les chênes de l'Europe, de l'Asie et de l'Afrique du Nord. Certains auteurs classent dans cette section *Q. canariensis* (Manos *et al.*, 1999).

Les confusions taxonomiques sont particulièrement problématiques dans le cas d'espèces menacées. Si une espèce peut s'hybrider avec des taxons apparents, elle peut quand même être considérée comme une unité de conservation fiable si son particularisme est prouvé (Florence, 2005).



**Fig.2.** Arbre phylogénétique des fagacées (sous genre (en vert), la section (en rouge) et la sub-section (en bleu) selon Camus (1936-1954) in Xu, 2004) (chiffres : nombres d'espèces).

Les caractères permettant de diviser ce genre en sections sont : (selon Camus 1936-1954) :

- \* La forme du style (axe supportant le stigmate, dans lequel se développe le tube pollinique lors de la fécondation) qui peut être de longueur et d'épaisseur différente ;
- \* La localisation des ovules qui peuvent se situer sur la partie inférieure, latérale ou supérieure du fruit ;
- \* L'endocarpe (paroi du fruit) qui peut être ou non duveteux ;
- \* La symétrie ou la non symétrie des cotylédons.

▪ **Aperçu sur l'histoire évolutive des chênes- Resumen de la historia evolutiva de los Robles**

De nombreux restes fossiles ont permis de dater l'apparition des Fagacées à la transition Secondaire-Tertiaire. Le plus ancien témoignage de l'existence de chêne, sont des restes fossiles en Amérique du Nord qui remontent à l'Oligocène (il y a 35 millions d'années)

(Arbez et Lacaze. 1999). Le genre *Quercus* explose littéralement vers la fin du tertiaire et on considère que la plupart des espèces actuelles se seraient différenciées dès le pliocène (il y a 10 millions d'années) (Petit *et al.*, 1993). La distribution actuelle des chênes résulte des alternances climatiques périodiques qui se sont amplifiées au quaternaire. Au total, plus de 17 alternances de périodes glaciaires de durée variant entre 50 et 100 000 ans et interglaciaires (réchauffement accompagné par une montée du niveau des mers) se sont succédées depuis le début du quaternaire, il y a 2 millions d'années (Axelrod, 1983; Kremer *et al.*, 2002). Ces alternances se sont soldées par des cycles de recolonisation-extinction suivies de recolonisations qui ont sélectionné ou éradiqué certaines espèces et ont très largement façonné la diversité actuelle des forêts.

#### ▪ **Biologie et écologie des chênes –Biología del robles**

Les Fagacées sont des angiospermes dicotylédones monoclamydées (seuls les sépales sont présents). Les espèces appartenant au genre *Quercus* sont diploïdes ( $2n=2x=24$ ). Leur longévité varie de quelques dizaines d'années jusqu'au millénaire. Ce sont des plantes ligneuses regroupant des arbres et arbustes allant de 15cm à environ 40m de hauteur, à feuilles simples, à fleurs unisexuées, monoïques, groupées en chatons et les fruits sont des akènes. La pollinisation est anémogame (Nixon, 1989; Arbez et Lacaze. 1999), les espèces de ce genre sont monoïques (présence de fleurs mâles et femelles séparées sur un même arbre), la reproduction végétative est possible pour ces espèces par l'intermédiaire de drageons et de rejets de souches. La dissémination se fait par les glands qui peuvent être transportés sur de longues distances par des geais ou sur de courtes distances par des rongeurs. La floraison a lieu au printemps pour les espèces tempérées et à la saison sèche pour les espèces tropicales. La floraison et la fructification dépendent de l'année, des individus et des populations, souvent on observe des grandes irrégularités de production de glands (Arbez et Lacaze. 1999). Les chênes *sont connus pour leurs fréquentes hybridations*, qui pourraient jouer un rôle important dans l'adaptation locale (Petit et Lambin. 2002 et Petit *et al.*, 2002). Les chênaies forment des écosystèmes très diversifiés hébergeant de nombreuses espèces animales. Cette particularité leur confère une importance capitale, économiquement pour le bois, la chasse et la nourriture, mais également, écologiquement et socialement.

## II. Ecologie des chênes –Ecologia de los robles

### II.1. Le Chêne Liège: *Quercus suber* L.

- **Taxonomie** :(*Q. suber*) se serait différencié à la fin de l'ère Tertiaire (Palemarev, 1989). L'arbre a été décrit pour la première fois par Linne en 1753 (Natividade, 1956).
- **Caractéristiques botaniques**

Le chêne-liège est un arbre de taille moyenne de 10 à 15 mètres, peut atteindre 20 à 25 m, (Fig.3). A l'état isolé, le tronc est couvert de grosses branches étalées, quand il vit en peuplements serrés ou jeunes le tronc est plus droit et plus long. Il peut vivre jusqu'à 250 à 300 ans, mais les levées successives de liège diminuent fortement cette remarquable longévité à environ 150 à 200 ans, les levées successives de liège, avec des rotations de 9 à 11 ans, sont possibles jusqu'à 50 à 200 ans (Vignes, 1990).

Le chêne-liège est fortement enraciné avec une racine pivotante mais elle peut devenir traçante sur des sols superficiels (Natividade, 1956).

Les feuilles de chêne-liège présentent un polymorphisme très marqué, elles sont alternées généralement coriaces, plus ou moins dentées ou pas, ovales assez souvent enflées, vertes foncées et glabres sur leurs parties supérieures, grises blanchâtres et duveteuses sur leurs parties inférieures. Elles sont petites et persistentes vivant de 2 à 3 ans. Elles meurent et tombent généralement au cours de la deuxième année. Cette chute des feuilles ne se fait pas de façon simultanée de sorte que l'arbre n'est jamais dépouillé et porte habituellement des feuilles de un an et d'autres plus jeunes. Cependant après une forte glandée à la suite de conditions atmosphériques défavorables (sécheresse) ou après une récolte exagérée de liège, l'arbre peut perdre la totalité de ses feuilles (Yessad, 2000).

En ce qui concerne les fleurs, le chêne-liège est monoïque et allogame, les fleurs mâles pendent en chatons à l'extrémité des rameaux de l'année précédente, elles sont longues de 4 à 8cm (Fraval, 1991). Les fleurs femelles sont de petits boutons écailleux, poussent isolées ou en groupe de trois au maximum sur les rameaux de l'année en cours. Le climat et l'exposition conditionnent la floraison qui commence dès l'âge de 12 - 15 ans et se déroule entre la fin d'Avril et la fin de Mai (Piazzetta, 2005). Le fruit ou le gland du chêne-liège présente une forme et des dimensions très variables de 2 à 5 cm en longueur et 1 à 2 cm en largeur, de forme ovoïde, surmonté d'une pointe courte et enchâssé dans une forte cupule à écailles. La maturation des glands a lieu dans l'année de floraison (Boudy, 1950; Natividade, 1956).

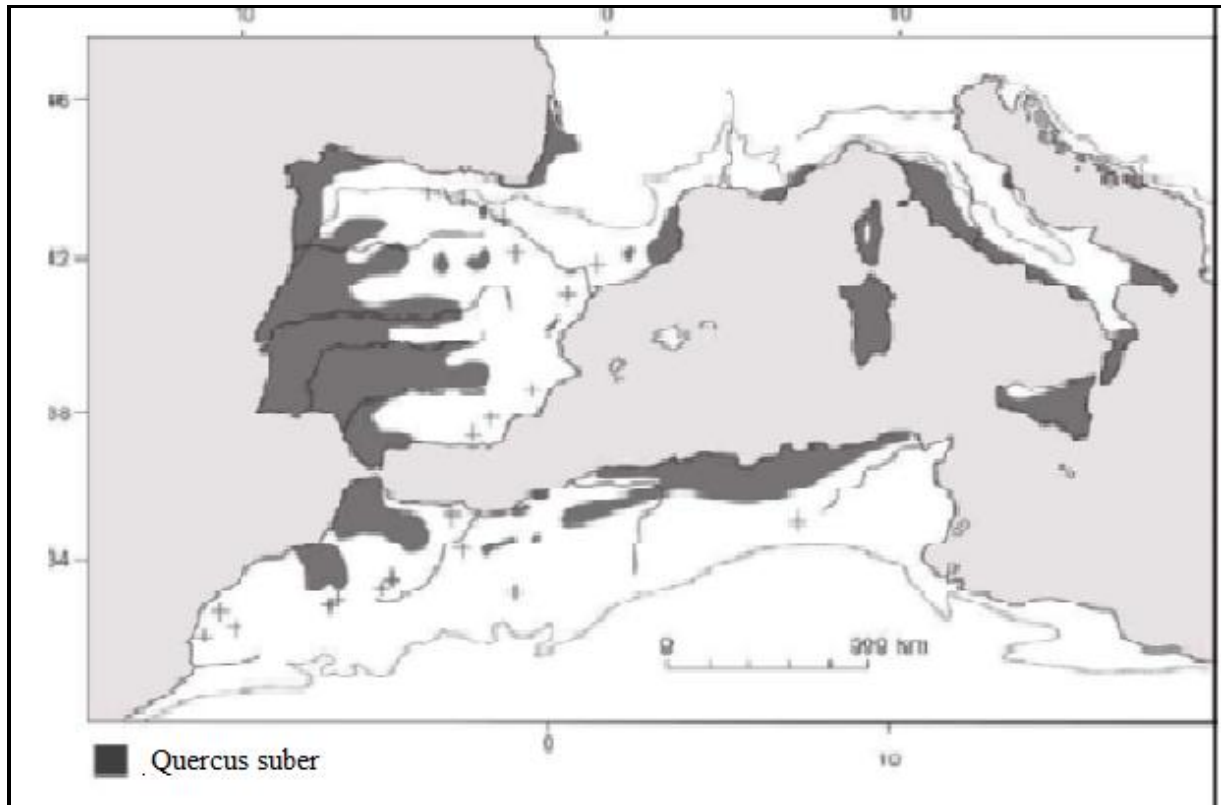
L'écorce du chêne-liège représente la partie la plus singulière de cet arbre (Fig.3). La grande concentration de la subérine dans le liège rend les cellules de ce tissu imperméables aux liquides et aux gaz (Khalla, 2006).



**Fig.3.** Arbres de chêne- liège démasclés. (Photo .Akli. A .prise station Adrar 2018).

#### ▪ Répartition géographique

La distribution naturelle du chêne-liège est assez discontinue ; elle est circonscrite à la région de la Méditerranée occidentale (Zeraia, 1981) et débordée le long du sud de la façade atlantique depuis le Maroc jusqu'au golfe de Gascogne entre les latitudes 31 et 45° Nord, où les influences de la mer et de l'océan permettent de tempérer la grande amplitude des oscillations thermiques et l'aridité de la saison d'été du climat méditerranéen au sens strict (Cantat *et al.*, 2005) (Fig.4).



**Fig.4.** Aire de distribution du chêne-liège (Quézel et Médail. 2003).

En Algérie, la chênaie est très inégalement répartie, les plus belles futaies denses occupent les montagnes de Kabylie et à l'est jusqu'à la frontière tunisienne (Messaoudene, 1997). Au plan de la répartition géographique on peut distinguer trois zones principales:

Le littoral est et les massifs côtiers humides et subhumides ; on y trouve les forêts les plus denses de chênes liège avec 229 000 ha qui se localisent principalement dans le nord-est du pays et les chênes caducifoliés (zéen et afarès) avec 65 000 ha soit 6,9 % de la surface totale boisée (Messaoudene, 1997). Ces peuplements occupent les milieux les plus frais et les altitudes élevées dans la subéraie. Avec sa croissance rapide, le chêne zéen a tendance à recoloniser les subéraies.

#### ▪ Exigences écologiques

Le chêne-liège est une essence nettement calcifuge, appréciant les sols dépourvus de carbonate de calcium, acides, présentant peu de contraintes pour la pénétration des racines, suffisamment drainé et avec un horizon organique bien préservé. Il ne supporte pas la présence de calcaire actif dans le sol et ne tolère le substratum calcaire qu'à condition que la chaux soit sous une forme facilement soluble (Vellon, 1998 ; El Antry Tazi *et al.*, 2008). Il est présent dans l'étage *thermo méditerranéen* de la frange littorale, occupe tout l'étage *méso*

*méditerranéen* et parvient quelquefois à se maintenir dans le *supra méditerranéen* (Amandier, 2002). Il se trouve dans les étages bioclimatiques humide et subhumide. Il exige au minimum 400 mm de pluie par an (mais une tranche de 600 à 800 mm lui convient mieux) et un minimum de 60 % d'humidité de l'air pendant la saison sèche (Boudy, 1952). Pour la température, *Quercus suber* est une espèce relativement thermophile, liée aux variantes non froides des bioclimats humide et subhumide voire semi-aride en cas de compensation hydrique (nappe phréatique ou forte humidité de l'air) (El Antry Tazi *et al.*, 2008). Elle demande une température douce, dont l'optimum se situe entre 13°C et 18°C, et ne supporte pas les gelées de -9°C (1 à 2 jours maximum.) (Boudy, 1952).

## II.2. Le chêne zéen: *Quercus canariensis* Willd

### ▪ Taxonomie

Le chêne zéen est une espèce semi-décidue de la section *Mesobalanus*. Il est appelé *Quercus canariensis* Willd. (Nom scientifique; Zen (nom Berbère); chêne zéen (nom Français); le nom scientifique de cette espèce a changé à plusieurs reprises: c'est appelé successivement: *Quercus lusitanci*.Lam, *Quercus mirbekii*.Lam, *Quercus faginea*.Lam et enfin *Quercus canariensis*.Willd (Hasnaoui, 1992). Les botanistes ne sont toujours pas d'accord à propos de sa position systématique à cause de son polymorphisme foliaire et sa répartition géographique (Hasnaoui, 1992 ; Zine el Abdine, 1995).

### ▪ Caractéristiques botaniques

C'est un arbre de grande taille atteignant 30 à 40 m de hauteur et 3 m et plus de circonférence. La tige est généralement unique et rectiligne (Fig.5). Sa croissance en hauteur est rapide, l'enracinement est très puissant (Boudy, 1952). Sa longévité est élevée et peut dépasser 200 ans (Boudy, 1950 et 1952). Le tronc de l'arbre est couvert d'un rhytidome brun crevassé (Fig.5), la couronne est en dôme puis étalée, les branches sont robustes et bien étalées.

Le chêne zéen est une espèce monoïque à feuilles caduques, marcescentes, c'est-à-dire pouvant persister jusqu'au printemps suivant. La feuille est grande, de 5 à 20 cm à forme ovale (Fig.5). Au stade jeune, les feuilles sont tomenteuses sur les deux faces, par contre à l'état adulte, elles sont vertes brillantes au-dessus et grisâtres au-dessous (Boudy, 1952).

Les fleurs mâles sont groupées en chatons alors que les fleurs femelles sont sessiles, solitaires ou réunies par 2 à 5. La floraison se produit en avril ou en mai. Les fruits de chêne-zéen sont des glands agglomères et presque sessiles qui deviennent murs à la fin d'octobre. Il fructifie

régulièrement chaque année dès l'âge de 15 ans, mais c'est à partir de 30 ans que sa fructification est abondante. Les cupules sont courtes et présentent des écailles pures et saillantes.



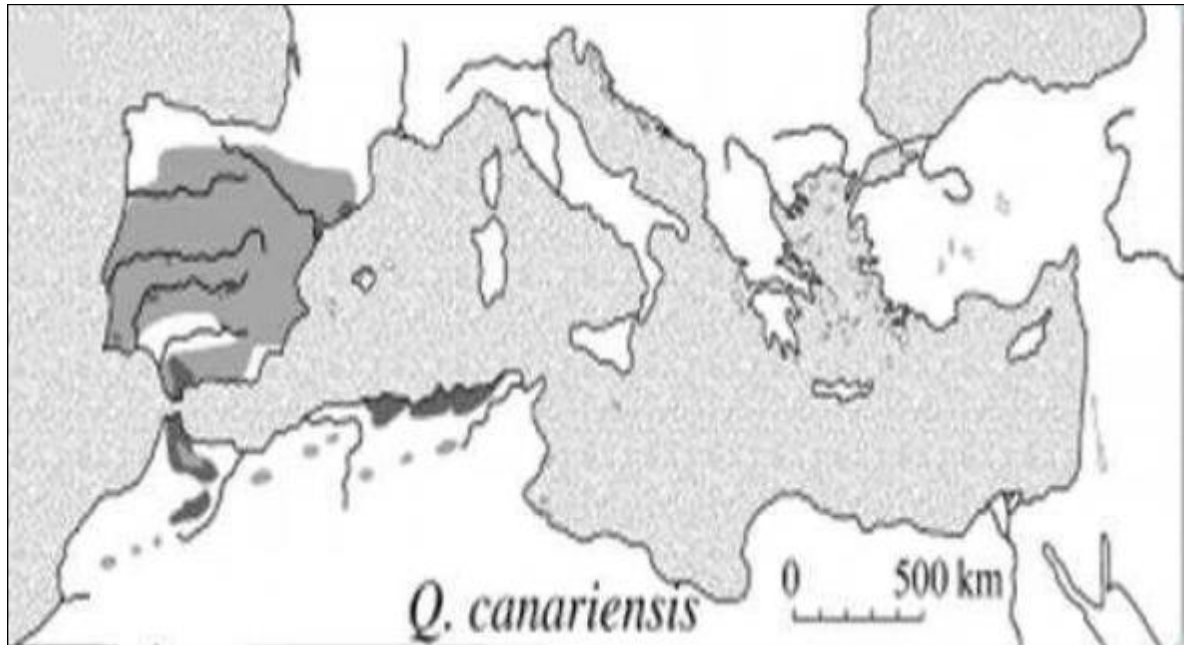
**Fig.5.** Arbre de chêne zéen au cœur de l'Akfadou (*Q. canariensis* Willd.) (Photo .Akli. A prise à la station Col Akfadou 2018).

### ▪ Répartition géographique

Il appartient à l'ensemble Ibéro-maghrébin qui est l'un des trois ensembles géographiques regroupant les chênes à feuilles caduques méditerranéens. Son aire est très limitée: on ne le rencontre ni en France ni en Italie. Il tient une place importante en Espagne et au Portugal et surtout au Maghreb (Fig.6). En Afrique du Nord, il occupe 104000 ha (Boudy, 1950). En Algérie, on le trouve dans des peuplements dispersés ou mélangés avec le chêne-liège.

En Algérie, le chêne zéen couvrait 66 000 ha en 1950 (Boudy, 1955) et 65 000 ha en 1990 (Messaoudene, 1996). La majeure partie de ses peuplements est localisée dans l'est du pays, par contre, il est moins répandu dans l'ouest ; en particulier dans les monts de Tlemcen, il apparaît à l'état disséminé dans différentes formations dégradées de l'étage subhumide. (Latreuche Belaroussi N., 1991). Le chêne zéen serait représenté par deux sous-espèces, selon

Quézel et Santa (1962), nettement différentes : *Quercus faginea* subsp. *baetica*, et *Quercus faginea tlemcenensis*. subsp.



**Fig.6.** Aire de répartition naturelle de *Quercus canariensis* dans le monde (Quézel et Médail, 2003).

#### ▪ Exigences écologiques

Le Chêne zéen est une espèce de l'étage humide, rarement subhumide. L'altitude lui convenant varie de 1000 à 1600 m avec un minimum de l'ordre 700 à 800 m et il descend jusqu'à 400 m (peuplement pur d'exposition nord-ouest). C'est un arbre très exigeant de point de vue climatique, ce qui a fortement réduit son aire botanique. Il est exigeant en eau, demande des précipitations de 800 à 1000 mm et supporte des froids jusqu'à  $-10^{\circ}\text{C}$ . Il est indifférent à la constitution physique du sol, et préfère les sols frais, profonds, pas très filtrants, de sorte qu'il pousse en terrain siliceux et préfère les grès numidiens (Ksontini, 1996).

C'est une essence de moyenne montagne qui ne prospère en plaine que dans des cas exceptionnels. En Tunisie, il ne se rencontre en général que dans les régions peu éloignées de la côte (Boudy, 1952). La plupart des peuplements se trouvent dans des zones à hiver tempéré ou les moyennes des minima du mois le plus froid sont comprises entre 3 et  $4,5^{\circ}\text{C}$ .

Le chêne zéen est plus *exigeant en humidité* que le chêne liège et résiste mieux au froid. Il caractérise les zones recevant plus de 1500 mm d'eau par an (Bentiba *et al.*, 1982). Comme le chêne-liège, la régénération du chêne zéen est abondamment assurée par semis et par rejets

de souche (Boudy, 1952), mais elle finit par échouer, à très jeune âge, pour des raisons climatiques (sécheresse et chaleur estivales) et anthropiques (Hasnaoui, 1992).

### II.3. Le chêne afares : *Quercus afares* Pomel

#### ▪ Taxonomie

Il est appelé *Quercus afarès* (nom scientifique), Zen magloub (nom arabe) et chêne afarès (nom Français). Il a été assigné à la section Cerris du sous-genre *Quercus* à cause de sa ressemblance morphologique avec deux autres espèces de cette section : *Q. cerris* L. (Sud de l'Europe) et *Q. castaneifolia* Mayer (Caucase et Iran) (Boudy, 1959; Maire, 1961).

D'après la proposition de la nomenclature de Vázquez & Márquez, 2018 : *Quercus afares* Pomel, *Nouv. Mat. Fl. Atl.*: 391. 1875. (Syn.: =*Quercus castaneifolia* C.A.Mey. var. *incana* Batt. & Trabut., in Battandier, J.A. & al., *Fl. Algérie, Dicot.*: 822. 1890; =*Quercus castaneifolia* C.A.Mey. var. *virescens* Batt. & Trabut., in Battandier, J.A. & al., *Fl. Algérie, Dicot.*: 822. 1890; =*Quercus castaneifolia* C.A.Mey. var. *algeriensis* Bean, *Trees and Shrubs*, 2: 304. 1914; ≡ *Quercus castaneifolia* C.A.Mey. subsp. *afares* (Pomel) Maire, *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 24: 227. 1933; =*Quercus cerridolepis* O.Schwarz, *Notizbl. Bot. Gart. Berlin-Dahlem*, 12: 468, 1935; =*Quercus afares* Pomel f. *spinosa* H.Villar, *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 28: 440. 1937; *Quercus cerrifolia* H.Villar, *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, 28: 441. 1937; ≡ *Quercus afares* Pomel f. *normalis* Maire & Weiller, *Fl. Afr. Nord*, 7: 119. 1961, *nom inval.* (Art. 24.3 (Turland & al., 2018)); =*Quercus afares* Pomel var. *cerrifolia* (H.Villar) Maire & Weiller, *Fl. Afr. Nord*, 7: 119. 1961; =*Quercus castaneifolia* auct. Pl. non C.A.Meyer, *Verz. Pfl. Casp. Meer.* (C.A. von Meyer). 44. 1831).F.M. (Vázquez & F. Márquez. 2018).

#### ▪ Caractéristiques botaniques

Le chêne afarès se distingue nettement du chêne zéen, avec lequel il est en mélange, par son port plus élancé (Fig.7), son écorce et ses feuilles plus étroites. Il peut atteindre les dimensions maximales du chêne zéen, soit 30 m de hauteur et jusqu'à 1.30 à 3 m de circonférence. Sa tige est généralement rectiligne, à écorce profonde. La cime est fastigiée, parfois pyramidale, atteignant les dimensions du zéen. Les feuilles sont caduques, mais elles tombent plus vite et plus abondamment que celles du zéen, elles ressemblent à des feuilles de châtaignier, largement lancéolées, à larges dents triangulaires, d'abord veloutées sur les deux faces, puis vertes foncées en dessus et grisâtres et tomenteuses en dessous. La longévité du chêne afarès peut atteindre 200 ans (Boudy, 1950 ; Maire, 1961). Les glands sont sub-

cylindriques, bruns roux clair striés longitudinalement, à cupules couvertes d'écailles étalées ou retroussées, groupées par 2 à 5 sur un pédonculé. (Maire, 1961).



**Fig.7.** Arbre, tronc de *Quercus afarès* (photo Akli. A. prise à la station sidi el hadi – Akfadou-Algérie).

#### ▪ Répartition géographique

*Quercus afarès* est une espèce *endémique* en Algérie. Son aire géographique est très limitée et s'étend de la frontière tunisienne jusqu'au méridien de Cherchell en Algérie. (Fig.8). On le trouve dans les deux Kabylies: forêt des Beni Ghorbi, d'Akfadou, des Barbors (Où il est, sur les versants nord, en contact avec le cèdre et le sapin de Numidie). La Calle correspond à sa limite orientale extrême (Boudy, 1950, Quézel et Santa, 1962).

Cependant, *Q. afares* se présente aussi à l'état pur (populations mono-spécifiques) surtout au-dessus de 1000 m à 1300 m d'altitude et sur des sols détériorés par des incendies dans le massif de l'Akfadou en Algérie (Boudy, 1959 ; Meddour, 2010).

#### ▪ Exigences écologiques

Selon Boudy (1950), le chêne -afarès est un arbre montagnard présent jusqu'à 1200 -1600 m (souvent en mélange avec le chêne zéen). Il se développe parfois à des altitudes plus basses à 200 m où il est en mélange avec le chêne liège. L'arbre préfère des tranches pluviométriques annuelles variant entre 800 et 1000 mm voire 1300 mm, il redoute les saisons sèches

prolongées. Il résiste bien à la chaleur et au froid. Du point de vue édaphique, cette espèce exige des sols non calcaires peu colonisés et des sols dégradés par les incendies (Boudy, 1950; Maire, 1961).

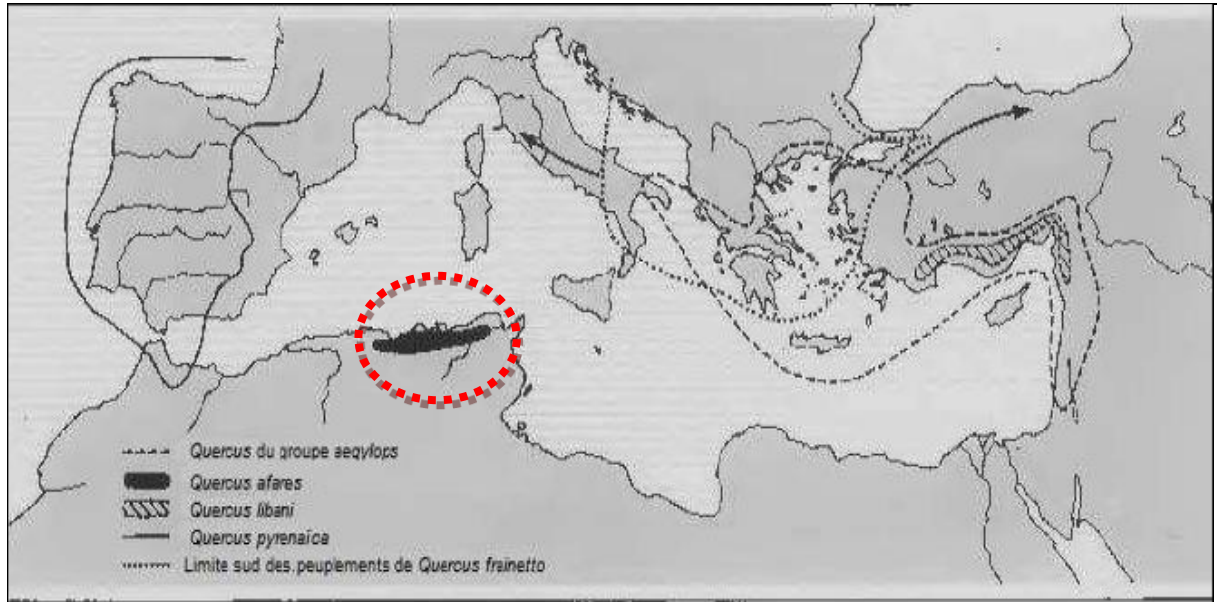


Fig.8. Distribution géographique de *Q. afares* (Quézel et Bonin, 1980).

#### II.4. Chêne vert : *Q. ilex*- *Q. rotundifolia*

Selon, Vázquez & Márquez, 2018; *Quercus ilex* L., *Sp. Pl.*, 2: 995. 1753 [nom. cons. pr.] (Lectotype: LINN (Vázquez & Coombes, 2017)) (Syn.: =*Quercus smilax* L., *Sp. Pl.*, 2: 994. 1753, (Lectotype: "SMILAX DALECH." (Bauhin & Cherlero, 1650: 101) (Iamónico & Peruzii, 2013); =*Quercus sempervirens* Mill., *Gard. Dict.*, ed. 8: n.º 3. 1768; ≡*Quercus ilicifolia* Salisb., *Prodr. Stirp. Chap. Allerton*: 392. 1796, nom. superfl.; =*Quercus ilex* L. var. *angustifolia* Lam. in J.B.A.M.de Lamarck & A.P.de Candolle, *Fl. Franç.*, ed. 3, 3: 313. 1805; =*Quercus ilex* L. var. *oblongifolia* Lam. in J.B.A.M.de Lamarck & A.P.de Candolle, *Fl. Franç.*, ed. 3, 3: 313. 1805; =*Quercus integrifolia* Steud., *Nomencl. Bot.*, 1: 673. 1821; =*Quercus variifolia* Sweet, *Hort. Brit.*, ed. 2: 465. 1830; =*Quercus ilex* L. subvar. *dehnhardtii* Ten., *Syll. Pl. Fl. Neapol.*: 472. 1831; =*Quercus ilex* L. var. 1909, prop. hybr.; =*Quercus ilex* L. subvar. *marginata* Rouy in G.Rouy & J.Foucaud, *Fl. France*, 12: 321. 1910; =*Quercus ilex* L. subvar. *plicata* Rouy in G.Rouy & J.Foucaud, *Fl. France*, 12: 321. 1910; =*Quercus ilex* L. var. *smilax* (L.) Asch. & Graebn., *Syn. Mitteleur. Fl.*, 4: 472. 1911; =*Quercus ilex* L. var. *genabii* Bean, *Trees & Shrubs Brit. Isles*, 2: 312. 1914; =*Quercus laurei* Coutange, *Bull. Bi-mens. Soc. Linn. Lyon*, 7: 157. 1928; =*Quercus ilex* L. var. *plicata* (Rouy) A.Camus, *Chênes*,

*Atlas 2: 9. 1935; =Quercus ilex L. var. Plicata (Rouy) A.Camus, Chênes, Atlas, 2: 9. 1935; =Quercus ilex L. subvar. brevicalyx Trab. ex A.Camus, Chênes, Atlas 2: 88. 1939, nom. inval.; =Quercus ilex L. subvar. cordifolia (Albert) A.Camus, Chênes, Texte, 2: 54. 1939; =Quercus ilex L. subvar. caduca A.Camus, Chênes, Texte, 2: 54. 1939; =Quercus ilex L. subvar. reducta (Albert) A.Camus, Chênes, Texte, 2: 54. 1939; =Quercus ilex L. var. gracilis (Lange) A.Camus, Chênes, Texte, 2: 64. 1939; =Quercus ilex L. var. subrevoluta A.Camus, Chênes, Texte, 2: 57. 1939; =Quercus ilex L. var. subsphaerocarpa Albert, Bull. Assoc. Franç. Étude Sol, 52-53: 104. 1946; =Quercus ilex L. f. ambigua (Albert) C.Vicioso, Rev. Gen. Quercus Esp.: 163. 1950; =Quercus ilex L. subsp. genuina (Cout.) C.Vicioso var. Gracilis (Lange) C.Vicioso, Rev. Gen. Quercus España: 164. 1950; =Quercus ilex L. subsp. genuina (Cout.) C.Vicioso, Rev. Gen. Quercus Esp.: 161. 1950, nom. inval. (Art. 23.4 (McNeill & al., 2012)); =Quercus ilex L. var. Marcetii (Pau) C.Vicioso, Rev. Gen. Quercus Esp.: 166. 1950; =Quercus ilex L. var. vulgaris (Cout.) C.Vicioso, Rev. Gen. Quercus Esp.: 161. 1950, nom. inval. (Melbourne Code, Art. 23); =Quercus ilex L. f. almissana Radic, Acta Biokovica, 2: 24. 1983, nom. inval.; =Quercus ilex L. f. bistonensis Radic, Acta Biokovica, 2: 24. 1983, nom. inval.; =Quercus ilex L. f. conoidea Radic, Acta Biokovica, 2: 22. 1983, nom. inval.; =Quercus ilex L. f. glauca Radic, Acta Biokovica, 2: 26. 1983, nom. inval.; =Quercus ilex L. f. introversa Radic, Acta Biokovica, 2: 25. 1983, nom. inval.; =Quercus ilex L. f. lingulata Radic, Acta Biokovica, 2: 22. 1983, nom. inval.; =Quercus ilex L. f. mucurensis Radic, Acta Biokovica, 2: 26. 1983, nom. inval.; =Quercus ilex L. f. pallida Radic, Acta Vázquez, F.M. & al. Anotaciones a la nomenclatura de Quercus (Fagaceae). Biokovica, 2: 23. 1983, nom. inval.; =Quercus ilex L. f. patula Radic, Acta Biokovica, 2: 22. 1983, nom. inval.; =Quercus ilex L. f. rubella Radic, Acta Biokovica, 2: 22. 1983, nom. inval.; =Quercus ilex L. f. subtilima Radic, Acta Biokovica, 2: 24. 1983, nom. inval.; =Quercus ilex L. f. tristigmata Radic, Acta Biokovica, 2: 23. 1983, nom. inval.; =Quercus ilex L. subsp. refugiorum Radic, Acta Biokovica, 2: 18. 1983; =Quercus ilex L. var. glauca Radic, Acta Biokovica, 2: 26. 1983, nom. inval.; =Quercus ilex L. var. gymnobalanus Radic, Acta Biokovica, 2: 22. 1983, nom. inval.; =Quercus ilex L. var. lingulata Radic, Acta Biokovica, 2: 22. 1983, nom. inval.; =Quercus ilex L. var. refugiorum Radic, Acta Biokovica, 2: 18. 1983; =Quercus ilex L. var. Subtilima Radic, Acta Biokovica, 2: 23. 1983, nom. inval.; =Quercus ilex L. subsp. gracilis Rivas Mart. & Sáenz de Rivas, Itin. Geobot., 15: 705. 2002). F.M. (Vázquez & D. García.2018).*

## ▪ Taxonomie

Le chêne vert, *Quercus ilex* L ou bien *Quercus rotundifolia* Lamark, a interminablement constitué un problème taxonomique. Au XVIIIème siècle une première distinction basée, sur le type de gland (amer ou doux) est tentée par Lamark et Desfontaines. Par la suite, Schwartz et Rothmaler cités par Del Villar (1947) fondent la différence entre les deux espèces sur les caractères morphologiques des feuilles, celles du *Quercus ilex* L, sont plus longues, et rejettent son existence au Maghreb. Del Villar (1947) souligne, qu'au niveau d'un même arbre, peut exister un polymorphisme foliaire d'où la nécessité d'intégrer d'autres éléments plus fiables. Cette ambiguïté a conduit les botanistes à conserver la désignation du *Quercus ilex* L pour toute la méditerranée.

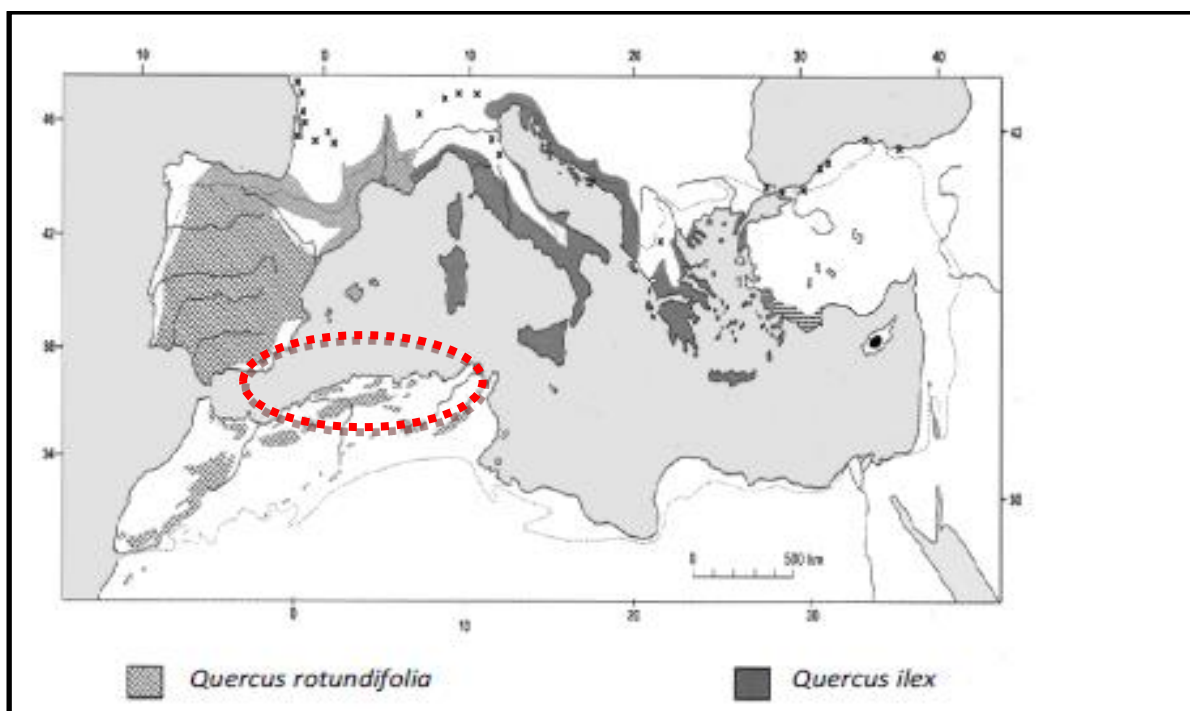
C'est plus tard, que Quézel (1979), puis Babero et Loisel (1980) reprennent la conception de Lamark et distinguent sur la base de caractères morphologiques et surtout bioclimatiques, deux espèces différentes *Q.rotundifolia* Lamark et *Q.ilex* Lamark. C'est ainsi que Dahmani (1984), dans son étude sur les groupements à chêne vert dans les Monts de Tlemcen montre, qu'à travers les mesures effectuées sur les feuilles, qu'il s'agit d'une espèce proche du *Quercus rotundifolia* Lamark. Cependant, les tests statistiques en grande partie non concluants sur les paramètres morphologiques étudiés : longueur du pétiole, longueur du limbe, largeur du limbe, le rapport de la longueur à la largeur du limbe, le nombre de paires de nervures et la présence de la bordure dentée, amènent l'auteur à proposer d'autres critères d'identification au niveau anatomique, physiologique et génétique. En ce qui nous concerne, nous retiendrons:

- *Quercus rotundifolia* Lamark, à rameaux tortueux et à feuilles courtes se localise en Afrique du nord et sur une bonne partie de l'Espagne et la France méditerranéenne, où il occupe les étages semi-aride, sub-humide et humide tempéré, frais, froid et même très froid au Maroc.
- *Quercus ilex* L, caractérisé par des feuilles plus longues avec un plus grand nombre de nervures, colonise toute la méditerranée centrale, dans les variantes fraîches et froides de l'étage bioclimatique humide.

Au-delà des caractères morphologiques analysés par les auteurs cités, qui permettent de distinguer les deux espèces, les aspects morphologiques comme le port droit de *Quercus ilex* L et le port buissonnant de *Quercus rotundifolia* Lamark, ne nous semblent pas être retenus. Le traitement sylvicole étant en effet souvent déterminant dans la variabilité phénotypique des individus.

## ▪ Répartition géographique

L'aire du chêne vert (Fig.9), occupe une grande partie du bassin méditerranéen. Cette espèce constitue, avec son abondance, l'un des arbres les plus importants (Peyerimhof, 1941). Il se trouve, principalement dans la partie occidentale de la région méditerranéenne (Salmon, 2004). En Afrique du Nord, Boudy (1955) et Letreuch (1991) mentionnent que, Le chêne vert figure parmi les essences les plus prépondérantes du patrimoine forestier, où il forme le fond de la forêt de montagne. L'importance du chêne vert au Maroc (1 342 000 hectares) a été soulignée par Emberger (1939) et plus récemment par Achhal (1980). En Tunisie, le chêne vert couvre 83 000 hectares, il se rencontre, en sous étage de la forêt de pin d'Alep et à l'état pur sous forme de médiocres taillis. Il caractérise la continentalité (Shoenenberger, 1967). En Algérie, le chêne vert s'étend sur tout le Nord et couvre 700.000 hectares, du littoral à l'Atlas saharien et de la frontière marocaine à la frontière tunisienne (Letreuch, 1995). A la limite septentrionale (Fig.9) de son aire de distribution, semble résulter de la concurrence avec des espèces mieux adaptées, plutôt que d'une inadaptation écologique qu'édaphique (Barbero et al (1992)). Les Hautes plaines continentales avec les grands massifs de Pin d'Alep et de Chênes verts. Le chêne vert est surtout abondant dans le nord-ouest du pays où l'étage semi-aride il joue avec le thuya et le genévrier un rôle de protection essentiellement, les surfaces auraient t fortement régressées en 30 ans, de 700 000 ha (Boudy, 1955) à 108 200 ha (PNDF, 1984). En milieu steppique, l'alfa prédomine ainsi l'Atlas Saharien avec les maquis de chênes verts et de genévriers.



**Fig.9.** Distribution du *Quercus rotundifolia* et du *Q. ilex* (aire géographique méditerranéenne). (Michaud et *al.*, 1995).

En Algérie, le chêne vert est l'une des essences forestières les plus importantes. Boudy (1950) et Letreuch (1991) ont repris les différents travaux relatifs à la répartition du chêne vert en Algérie. A l'Est, on le trouve dans Djebel Aurès, où il est en mélange avec le pin d'Alep, tel est le cas de de la forêt de Belezma, de Bou-Arif de Sgag et de l'Oued Fedala. Au centre du pays où il est en concurrence avec le pin d'Alep ; il recouvre les versants de l'Atlas Méridien en taillis dégradés. Il forme des taillis médiocres dans les régions de Tablat et Sour-El Ghozlan ; par contre à Tenès, il est possible de trouver de belles futaies qu'il faut bien traiter afin de les conserver. C'est en Oranie que sont localisées les plus importantes séries, dans les régions de Tiaret, Freneda et Saida en forêt de Sdamas et de Hassasna en taillis dégradés. Le chêne vert forme de vieilles futaies dans la région de l'Akfadou.



**Fig.10.** Arbre de *Q. rotundifolia* L (photo Amel. A. prise à la station Ait aicha Akfadou-Algérie).

#### ▪ **Ecologie du chêne vert**

L'une des principales raisons du succès du chêne vert, en zone méditerranéenne, réside dans sa remarquable résistance aux contraintes écologiques et en particulier hydriques. Le chêne vert

présente un certain nombre de traits biologiques lui permettant de survivre et de continuer à fonctionner pendant les périodes de sécheresse. (Fig.13). En plus d'un enracinement profond, le chêne vert peut répondre à une forte sécheresse par le développement d'une surface évapotranspirante limitée qui est en relation avec la faible réserve hydrique des sols sur lesquels il pousse (Barbero *et al.*, 1992). Au cours d'événements climatiques fortement défavorables, le chêne vert maintient l'ouverture des stomates à des potentiels hydriques très négatifs (Acherar *et al.*, 1991). L'ensemble de ces réponses à la sécheresse permet au chêne vert de maintenir une certaine croissance malgré le ralentissement important de l'activité physiologique. (Delillis et Fontanella . 1992).

Le chêne vert, réputé essence plastique, montre une aptitude à s'accommoder aux conditions climatiques variées, lui permettant ainsi de couvrir plusieurs zones à étages bioclimatiques différents. Dans l'étage semi-aride, il représente le type xérophile de la chênaie verte localisée en Algérie, dans les Aurès et les montagnes du Sud-oranais ; mais c'est dans les étages sub-humide et humide qu'il connaît son plein développement en peuplement, surtout dans la partie occidentale de l'Algérie (Dahmani, 1984). Vis-à-vis de la température, le chêne vert supporte une variation de « m » allant de -3°C à +7°C, sa limite inférieure extrême est de - 15° C. Il résiste à des températures maximales «M » pouvant atteindre 42°C (Dahmani, 1997). Une étude de résistance thermique des feuilles de chêne vert effectuée par Trabaud et Methy (1994) montre que l'exposition à des extrêmes thermiques (-20°C durant moins de deux heures et +50°C durant 30 mn) n'altère pas leur capacité photosynthétique. Cette résistance est liée à la sclérification qu'elle acquière après le premier mois.

Quant aux précipitations, il admet une tranche pluviométrique annuelle variant de 384 à 1462 mm (Sauvage , 1969). Selon Barry *et al.*, (1976) le chêne vert peut se contenter d'un minimum de 250 mm. Les auteurs qui se sont intéressés à la répartition du chêne vert, s'accordent tous pour retenir le climat comme facteur déterminant.

Du point de vue édaphique, il paraît également comme essence la plus plastique. Il semble être indifférent à la composition chimique du substrat, car présent sur tous les types de substrat, sauf sur sols compacts, asphyxiants ou saturés, où ses racines ne peuvent pénétrer (Pons et Vernet. 1971 ; Achhal, 1975). Ceci semble résulter de l'absence des espèces plus dynamiques (Migliore, 1986). Dans un sol profond, le chêne vert établit un pivot , par contre dans un sol superficiel ses racines tracent et l'arbre devient buissonnant (Regimbeau, 1879). Les adaptations sont de ce point de vue extraordinaires. La répartition du chêne vert est ainsi

essentiellement tributaire des caractères climatiques (Maire, 1926, Achhal, 1980, Barbero & Loisel, 1980).

En Algérie, et plus précisément dans l'Atlas tellien, le chêne vert apparaît à partir de 400 m d'altitude et monte jusqu'à 1700 m (Maire, 1926 ; Quézel, 1976). Dans les Aurès, ses limites altitudinales oscillent entre 1200 et 1900 m et entre 1500 et 2200 m dans l'Atlas saharien (Letreuch, 1995).

## II.5. Les hybrides

Selon Vázquez & Márquez, 2018 . Trabut pour décrire- *Quercus* × *numidica* Trab., *Bull. Soc. Bot. France*, 36: 58, 61. 1889 *Compte-rendu Assoc. Franc. Adv. Sciences*, 18: 300 n° 2. 1889. (sub *Q. afares* Pomel x *Q. suber* L.); les matériels qu'on a utilisé pour la description - *Quercus* × *kabylica* Trab., *Compte-rendu Assoc. Franc. Adv. Sciences*, 18: 300 n° 3. 1889 & in: Battandier & Trabut, *Fl. Alger.*: 822. 1890. (sub *Q. suber* L. x *Q. afares* Pomel).



**Fig.11.** Arbres de *Quercus hybridus* (photo Amel. A. prise à la station Yakouren (*Q. numidica*) et Mehaga village -Akfadou-Algérie)

## III. Endémisme et rareté :Endemismo y rareza

Un organisme (animal et végétal) est défini comme endémique s'il est confiné à une région particulière impliquant une limitation spatiale. Les endémiques se retrouvent sur toute les masses terrestres du monde, tant sur les continents que sur les îles et dans tous les biotopes majeurs (Babinot *et al.*, 1997). De ce fait, les espèces rares par exemple celles vivantes en petites populations ou ayant des distributions géographiques restreintes occupent une place

centrale en biologie de la conservation car elles courent un grand risque d'extinction à l'échelle spatiale où elles sont rares (Pimm *et al.*, 1988; Gaston, 1994). Cependant, le manque de connaissances générales sur la biologie des espèces rares, en particulier végétales, a été fréquemment souligné (Kunin et Gaston 1993; Murray *et al.*, 2002a).

Trois facteurs principaux décrivent la distribution des espèces endémiques : l'aire géographique, l'amplitude écologique et l'isolement. L'amplitude écologique d'une espèce est mesurée souvent par le nombre d'habitats dans lequel cette espèce est présente (Medail et Verlaque. 1997).

Les espèces endémiques ne sont pas réparties au hasard, leur répartition est en relation étroite avec la géologie de l'endroit (Babinot *et al.*, 1997). Généralement les endémiques se trouvent dans des secteurs à haut niveau d'endémisme régional, qui sont :

- Les zones de collisions de plaques (chaines de montagnes et grandes failles tectoniques) (endémisme montagnard) Les grandes îles actuelles ou les anciennes îles rattachées au bloc continental (endémisme insulaire)
- Les roches sédimentaires (calcaires ou dolomitiques) et ophiolitiques (croûte océanique émergée) (Benhouhou et Vela. 2007).
- Les déserts (endémisme désertique) alors que les régions boréales ou arctiques en sont relativement pauvres (Quilichini, 1999). Medail et Verlaque (1997) ont proposé que les espèces endémiques persistent avec succès dans les habitats rigoureux en présentant une stratégie de résistance au stress. Ceci se traduirait par une faible biomasse individuelle, de faibles capacités d'acquisition de ressources et un faible turn-over des tissus (Poorter et Granier, 1999), leurs modes de reproduction sont plus autogames, et la production de graines par individu est plus réduite bien que la taille et la forme des graines soient semblables (Lavergne, 2003).

A l'échelle locale d'une population, l'abondance d'une espèce est généralement mesurée par son nombre total d'individus (Routley *et al.*, 1999), par sa densité en individus (Bosch et Waser. 1999) ou encore par la pureté de sa population (Kunin, 1997b). La compréhension de la biologie de la rareté nécessite de mettre en évidence des caractéristiques écologiques et biologiques des espèces rares en tenant compte de leur dynamique temporelle, permettant ainsi la différenciation des caractéristiques biologiques qui causent les régressions d'effectifs chez les espèces rares de celles qui leurs permettent au contraire de persister en tant que rares (Lavergne, 2003).

## **IV .Espèce et Hybridation –Especies e hibridacion**

### **▪ Notion d'espèce - Noción de especie**

L'espèce est un concept central car il s'agit à la fois d'une entité taxonomique qui présente un réel sens évolutif et d'une unité pragmatique. Cependant, de nombreuses définitions sur le concept d'espèce ont été données en fonction des perspectives et des problèmes scientifiques (Concept biologique, concept évolutionniste, concept phylogénétique (Fraser et Bernatchez, 2001). Selon le concept morphologique lié à la taxonomie traditionnelle), l'espèce est définie comme un groupe d'individus qui diffère des autres groupes au niveau de caractères diagnostiques constants. C'est sur ces critères que le Suédois Carl Von Linne (1707-1778) élaborera la nomenclature binomiale (genre-espèce) qui permet encore aujourd'hui le classement de tous les végétaux connus. Ce concept présente néanmoins certains problèmes de classification lorsque des phénotypes intermédiaires apparaissent. En effet, avec la complexité des systèmes biologiques, les différences morphologiques peuvent être tellement faibles que les espèces ne sont pas reconnues et par conséquent, la reconnaissance des espèces sur la base morphologique reste parfois difficile (Mayr, 1992). En faisant référence à des processus évolutifs et tentant de s'intégrer à la théorie moderne de l'évolution, les autres concepts se sont développés et la définition de l'espèce la plus communément admise est celle de l'espèce biologique (« Biological Species Concept » : BSC). C'est un concept génétique, énoncée par Mayr (1942) dans son ouvrage «Systematics and the origin of species». Il définit une espèce comme étant «Une communauté de populations d'individus reproducteurs qui sont isolées reproductivement des autres communautés similaires». Cette définition regroupe à la fois deux notions: la première est la continuité de reproduction au sein des populations de l'espèce (parmi les individus appartenant à la même espèce, seuls ceux d'une même population se reproduisent), la seconde est l'isolement reproducteur entre espèces (Beurton, 2002). Cette définition n'est applicable que chez les organismes à reproduction sexuée. En cas de reproduction asexuée stricte chaque individu constituerait une espèce à lui seul (Lepais, 2008).

### **▪ Hybridation et introgression génétique - Hibridación e introgresión genética**

L'hybridation et l'introgression sont deux phénomènes courants chez les plantes. Le terme d'hybridation définit d'une manière générale le croisement entre « des individus issus de

deux populations, ou groupes de populations, qui diffèrent au niveau d'un ou plusieurs caractères héréditaires » (Harrison, 1990). Winge (1917) la définit comme étant un phénomène de création de nouvelles espèces hybrides stables et la population hybride se retrouve isolée reproductivement des espèces parentales et peut constituer une nouvelle espèce. D'autres considèrent l'hybridation comme source de nouveauté évolutive (Rattenbury, 1962). Selon les espèces considérées, l'hybridation peut être préférentiellement unidirectionnelle (un seul sens de croisement interspécifique) ou bidirectionnelle (Un croisement réciproque est possible) reflétant l'existence de barrières reproductives interspécifiques. Selon les auteurs, historiquement, l'hybridation est considérée comme un phénomène important dans le processus de spéciation, conduisant soit au renforcement de l'isolement reproducteur, soit à une convergence des espèces par disparition des barrières reproductives (Harrison, 1993). Elle était donc considérée comme un événement ayant un impact dans les phénomènes évolutifs et a participé, pour beaucoup, au débat sur la définition des espèces (Lepais, 2008).

L'introgession est l'incorporation de gènes d'une espèce dans une autre suite à plusieurs générations d'hybridation, elle permettrait aux espèces d'abriter plus de variation et de s'adapter plus vite à des changements environnementaux. Cependant, les deux espèces peuvent coexister en maintenant un isolement reproductif (Petit *et al.*, 2004). L'introgession génétique a conduit à une prolifération d'hybrides fertiles affichant une large gamme de caractéristiques morphologiques intermédiaires (Gellini et Grossoni, 1997). Viscosi *et al.* (2012) ont signalé que les processus d'introgession pourraient conduire à la disparition ou l'expansion de certaines espèces.

Etant donné leur longue durée de vie, leurs distributions souvent très étendues, les longues distances de dispersion de pollen et les forts taux d'allo fécondation, les arbres forestiers montrent souvent de larges zones de contact entre espèces. Mais peu d'études ont analysé et comparé les caractères micro morphologiques entre espèces parentales putatives et leurs hybrides (Jensen *et al.*, 1993). Le genre *Quercus* se caractérise par des hauts niveaux de variabilité dus au fait que l'hybridation interspécifique et l'introgession génétique se produisent à haute fréquence dans ce genre, et produisent *a priori* des chênes de morphologie intermédiaire, ce qui pose de nombreux problèmes de distinction des espèces sur la base des critères morphologiques ou physiologiques (Kelleher *et al.*, 2005). Des hybrides peuvent également être obtenus en croisement contrôlés (Kleinschmit et Kleinschmit, 2000) d'où la complexité de définition des taxons dans ce genre (Burger, 1975) De nombreuses études ont montré que l'hybridation chez les quercus avait eu lieu à la suite de la migration post glaciaire

(Petit *et al.*, 1997). Les premières identifications de chênes hybrides datent du début de 19e siècle et n'étaient basées que sur des critères morphologiques (Camus, 1938; Morrison Hill et Buck, 1980; Cottam *et al.*, 1982, Rushton, 1993). Le degré d'hybridation entre des espèces dans des populations de chênes nord-américaines était étudié en utilisant des critères morphologiques (Muller, 1952 ; Cottam *et al.*, 1982; Rushton, 1993).

L'un des exemples d'hybridation les plus documentés concerne les chênes blancs européens *Q. robur* et *Q. petraea*: L'analyse morphologique d'un ensemble de populations mixtes européennes révèle une constante différenciation entre les deux espèces et une distribution bimodale des variables morphologiques (Kremer *et al.*, 2002). Par ailleurs, les espèces sont clairement différenciées génétiquement à l'échelle de l'Europe et très peu d'individus ne sont pas assignables à l'une ou l'autre espèce (Muir *et al.*, 2000).

Bien que la morphologie constitue le premier niveau de détection des hybrides en fournissant de précieuses informations d'identification des hybrides au sein du genre *Quercus*, la grande variabilité de la morphologie des feuilles et des glands limite souvent l'utilité des caractères morphologiques pour le diagnostic de l'hybridation (Curtu *et al.*, 2007a). Ce type de détection peut conduire à des erreurs; il faut mentionner que cette approche morphologique n'est efficace que lorsque les espèces s'hybrident sont morphologiquement très distinctes (Rushton, 1993). De plus certains chênes peuvent présenter une variabilité morphologique intra spécifique non négligeable et certains traits peuvent être affectés par des variations environnementales. De ce fait, cette approche seule ne peut pas confirmer l'hybridation (Bacilieri *et al.*, 1995; Manos *et al.*, 1999).

Plus récemment, une grande partie des recherches sur les hybrides donnent la priorité aux marqueurs génétiques qui peuvent être soit :

- Nucléaires : il s'agit d'une hérédité biparentale, tels que les alloenzymes (Samuel, 1999; Gonzalez-Rodriguez *et al.*, 2004 ; Tovar-Sanchez et Oyama, 2004; Mir *et al.*, 2006), et les microsatellites (Viscosi *et al.*, 2009; Neophytes *et al.*, 2010).

- Cytoplasmiques: Il s'agit d'une hérédité monoparentale: Chez les végétaux, l'ADN chloroplastique (ADNcp) dont l'hérédité uni parentale est à transmission exclusivement maternelle chez des Angiospermes (Dumilon *et al.*, 1995; Mir *et al.*, 2006; Belhabib *et al.*, 2001; Lumaret *et al.*, 2005) et parentale chez les Gymnospermes (Dong et wagner, 1994).

Chez les chênes la transmission n'est pas affectée par les recombinaisons ou la disjonction des chromosomes: Elle est transmise en l'état de génération en génération au sein de la lignée femelle et donc disséminée par les glands, à l'exclusion du pollen; les chloroplastes d'une

graine sont en effet ceux de l'arbre-mère ayant donné naissance à cette graine. Or, une espèce végétale ne peut se disperser que par graines et par conséquent la répartition géographique actuelle des différentes variantes de l'ADN chloroplastique devrait témoigner des voies de migration empruntées par l'espèce (Kremer *et al.*, 2002). Cette particularité biologique propre aux Angiospermes a pu être vérifiée expérimentalement par l'analyse de croisements contrôlés chez les Chênes (Dumolin *et al.*, 1995).

▪ **Diversité des traits fonctionnels des arbres- Diversidad de rasgos funcionales del árbol**

La description taxonomique d'une espèce apporte peu d'informations en termes de fonctions et d'interactions avec le milieu comme avec les autres espèces, ce qui a conduit au développement d'une approche fonctionnelle complémentaire pour la description des organismes (Grime, 1979). Cette approche se fonde sur l'utilisation de « traits fonctionnels » définis comme toute caractéristique morphologique, physiologique ou phénologique, mesurable à l'échelle de l'individu, sans référence à l'environnement, et intervenant dans la valeur adaptative, ou fitness, de l'espèce (Violle *et al.*, 2007). Par ailleurs, ces traits pourraient contenir de l'information sur la façon dont différentes espèces interagissent (Stubbs et Wilson, 2004). Vile (2005) définit les traits comme l'ensemble des caractéristiques, qualitatives ou quantitatives, mesurables sur un individu (de la cellule à l'organisme) et il considère que l'environnement fait varier un réseau de traits connectés par des relations causales directes ou indirectes. Le terme fonctionnel, quant à lui, rappelle que le caractère mesuré renseigne plus ou moins directement sur une fonction de la plante. Les traits fonctionnels rendent compte de l'histoire évolutive de l'individu et de son « adéquation » avec le milieu dans lequel il vit (Reich *et al.*, 2003b). Ces traits sont de diverses natures, il peut s'agir de traits relevant de la morphologie générale de la plante (l'allocation de biomasse entre organes), de la structure et de la composition chimique des organes, ou encore de l'acquisition et de la gestion des différentes ressources (carbone, éléments minéraux), mesurables au niveau de l'individu sans tenir compte de l'environnement ou autre niveau d'organisation et qui, *via* ses effets sur la croissance, la reproduction ou la survie, influent indirectement sur la performance de l'individu ou de la population (Gitay et Noble, 1997;Violle *et al.*, 2007). Il existe souvent un lien de causalité ou une coordination entre les différents traits (Reich *et al.*, 2003). Des études ont montré que les plantes pouvaient présenter de la plasticité phénotypique (i.e., indépendantes de la variabilité des génomes) pour un grand nombre de traits, que ce soit des

traits morphologiques, physiologiques, anatomiques ou bien des traits relatifs au développement et la reproduction des individus (Sultan, 2000). Que ce soit à l'échelle de la feuille ou de la plante entière, ces traits fonctionnels varient avec la taille et l'âge des arbres (Mediavilla et Escudero, 2003).

De nombreux auteurs se sont intéressés à la variabilité interspécifique des traits fonctionnels foliaires (Reich *et al.*, 1998; Bonal *et al.*, 2000b; Wright et Westoby, 2002; Coste *et al.*, 2008; Konate, 2010), et les relations observées entre les différents traits mesures sont toutefois plus variables, ainsi, des relations négatives ou positives ont été observées alors que d'autres études n'ont pas pu mettre en évidence de tels liens.

Dans un écosystème, l'ensemble des traits fonctionnels des organismes présents est appelé diversité fonctionnelle (Diaz et Cabido, 2001). En effet, la combinaison de plusieurs traits fonctionnels permet de caractériser de façon plus complète le fonctionnement de la plante et de mettre en relief des stratégies adaptatives de l'espèce (Grime, 2001; Westoby, 1998).

#### ▪ **Les hybrides et leur définition- Híbridos y su definición**

Il n'est pas facile de donner une définition satisfaisante des hybrides. Si on adopte la définition précise proposée par Darlington : (« Zygote formé par l'union de gamètes dissemblables »), on arrive à ce résultat souligné par Heiser (1949b) que presque toutes les plantes et les animaux sont des hybrides. Avec ce dernier auteur, on peut admettre simplement qu'un hybride est le résultat de croisement entre plantes appartenant à des races, variétés ou espèces différentes. L'hybridation est un phénomène courant chez les plantes. Le terme d'hybridation définit d'une manière générale le croisement entre « des individus issus de deux populations, ou groupes de populations, qui diffèrent au niveau d'un ou plusieurs Caractères héritables » (Harrison, 1990). Winge (1917) la définit comme étant un phénomène de création de nouvelles espèces hybrides stables et la population hybride se retrouve isolée reproductivement des espèces parentales et peut constituer une nouvelle espèce. D'autres ont considéré l'hybridation comme source de nouveauté évolutive (Rattenbury, 1962). Selon les espèces considérées, l'hybridation peut être préférentiellement unidirectionnelle (un seul sens de croisement interspécifique) ou bidirectionnelle (Un croisement réciproque est possible) reflétant l'existence de barrières reproductives interspécifiques. Selon les auteurs, historiquement l'hybridation est considérée comme un phénomène important dans le processus de spéciation, conduisant soit au renforcement de l'isolement reproducteur, soit à une convergence des espèces par disparition des barrières reproductives (Harrison, 1993). Elle

était donc considérée comme un évènement ayant un impact dans les phénomènes évolutifs et a participé pour beaucoup au débat sur la définition des espèces (Lepais, 2008).

Dans le cadre de la rareté des hybrides, et malgré des flux de gènes très importants entre les deux espèces par exemple ;*Q. robur* et *Q. petraea* (Bacilieri *et al.*, 1996; Streiff *et al.*, 1999), la faible fréquence d'hybrides détectée en populations naturelles pourrait être expliquée par un fort isolement post-zygotique (Un des mécanismes d'isolements reproducteurs qui empêchent les échanges génétiques entre les espèces particulièrement en empêchant le fonctionnement normal des zygotes après leur formation) (Muir et Schlotterer, 2004). Des résultats similaires ont été obtenus sur des espèces de chênes américains (Howard *et al.*, 1997; Craft *et al.*, 2002; Tovar-Sanchez et Oyama, 2004) et espagnoles (Valbuena-Carabana *et al.*, 2005) ont montré que les hybrides en populations naturelles sont rares et les espèces sont souvent distinctes.

▪ **Les divers aspects des problèmes posés par l'hybridation naturelle-  
Los diversos aspectos de los problemas planteados por la  
hibridación natural**

Ces problèmes peuvent être examinés de deux points de vue différents : du point de vue dynamique du biologiste et du généticien qui s'intéressent à la formation des hybrides dans la nature et à leur descendance : conditions de croisements des espèces, nature des produits de leurs croisements, descendance spontanée, fusion ou conservation des espèces, introgression, création d'espèces nouvelles et relation avec l'évolution etc ... du point de vue statique du floriste et du taxonomiste qui s'occupent des hybrides tels qu'ils les rencontrent dans la nature : critères de l'hybridité, identification des parents, nomenclature et rapport avec la taxonomie. (Dillemann, 1954). On parle indifféremment d'hybridation spontanée ou d'hybridation naturelle. En réalité, il serait préférable de réserver l'expression « hybridation naturelle » aux croisements qui se produisent dans la nature, sans aucune intervention de l'homme, autre que l'introduction involontaire de son fait de plantes adventices ou naturalisées. Dans les jardins botaniques, il se produit souvent des hybridations qui sont bien spontanées, puisque se produisant sans aucune manipulation d'un expérimentateur, mais qui ne sont pas naturelles puisque s'effectuant entre des espèces d'origine géographique différente volontairement rapprochées dans ces jardins, mais dont la rencontre n'a aucune chance de se produire dans la nature.

Ces expressions s'opposent à celles (d'hybridation expérimentale) ou < (d'hybridation artificielle) qui sont en général prises aussi comme synonymes. Mais, ici encore il est regrettable de ne pas distinguer les croisements, dans lesquels l'expérimentateur n'intervient que par des opérations que la nature peut effectuer elle-même de ceux qui ne peuvent réussir que par l'emploi (croisement). Pour que deux plantes appartenant à des espèces différentes puissent s'hybrider, il faut évidemment d'abord qu'elles soient inter-fécondables, c'est-à-dire que le processus complet de la fécondation puisse se dérouler normalement chez l'une quand elle reçoit le pollen de l'autre. Mais, pour que cette hybridation se produise spontanément dans la nature, il faut que leur inter-pollinisation soit possible et que la fécondation illégitime ne soit pas empêchée par la concurrence du pollen spécifique. (Dillemann, 1954).

▪ **Les circonstances favorables pour l'hybridation naturelle -**

**Circunstancias favorables para la hibridación natural**

- **Action de l'homme sur l'hybridation naturelle- Acción humana sobre la hibridación natural**

D'après de nombreux auteurs, le bouleversement de la nature primitive par l'homme est une cause efficace d'hybridation. Ainsi, pour Heiser (1949b), dans la grande majorité des cas, c'est une perturbation des stations naturelles qui a permis aux espèces de se rencontrer. L'homme en est le plus souvent responsable en transformant l'équilibre écologique normal par la création de culture ou de pâtures, ou par la construction de voies de communication. Heiser renvoie à de nombreux travaux qui ont signalé l'action humaine dans l'établissement des conditions favorables pour l'hybridation. (Dillemann, 1954).

- **Fertilité des hybrides - Fertilidad de los híbridos**

Les hybrides de première génération présentent tous les degrés de fertilité depuis la stérilité absolue jusqu'à fertilité complète, le plus grand nombre possédant une fertilité partielle. Nous avons déjà rappelé que pour certains auteurs l'inter fertilité de deux entités systématiques ne permettrait pas de les considérer comme des espèces distinctes; c'est en particulier la position de Clausen (1951). Il est cependant difficile de refuser le statut d'espèce d'après le critère d'inter fertilité à des plantes aussi différentes morphologiquement. Chez de nombreux

hybrides interspécifiques, le pourcentage de fertilité est plus grand chez les ovules que chez le pollen. En général, il s'agit donc d'une stérilité chromosomique qui résulte d'une absence d'homologie entre les chromosomes des parents de l'hybride. L'analyse cytologique a permis d'étudier dans un très grand nombre de cas le comportement des chromosomes au cours de la méiose chez les hybrides et d'en déduire les raisons de leur stérilité ou de leur fertilité réduite. A l'opposé, chez certains hybrides on constate un accouplement apparemment normal des chromosomes parentaux en dépit de leur stérilité partielle ou totale. (Dillemann , 1954).

# Chapitre 2 -Capitulo 2

Description de La zone d'étude

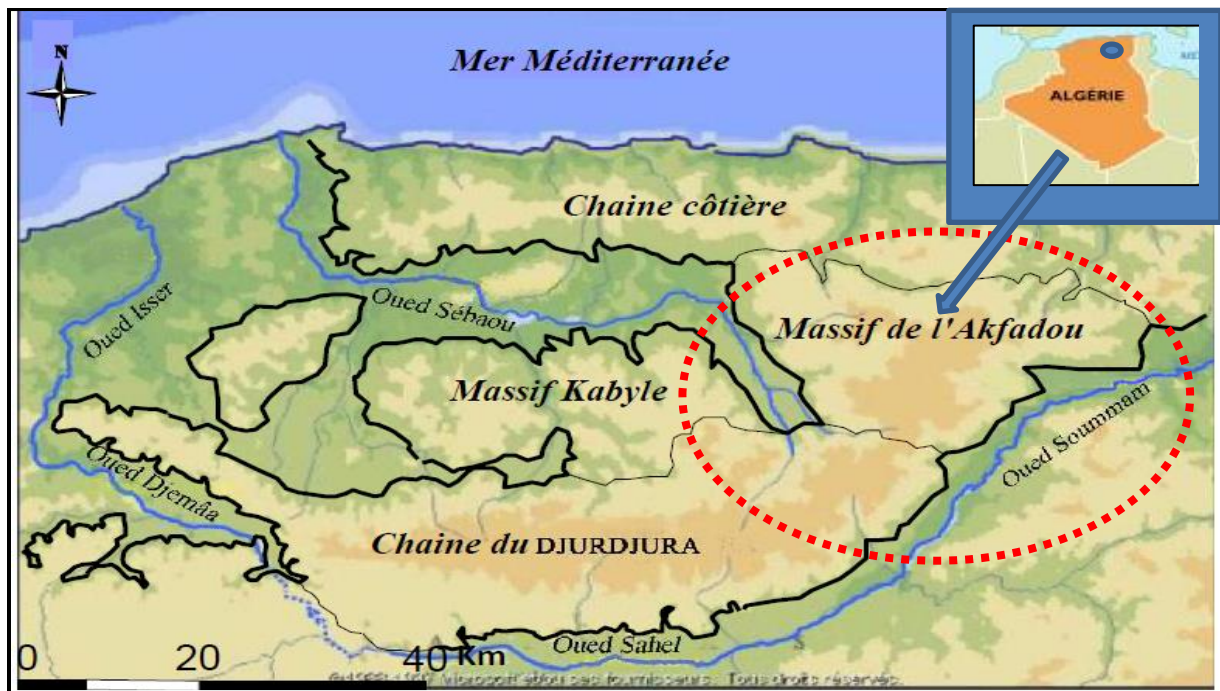
Area de Estudio



Lac noir (akfadou)

## 2.1. Présentation de la forêt d'Akfadou (Area de estudio-Akfadou )

La forêt d'Akfadou est caractérisée par une variabilité topographique, édaphique, géologique et floristique (Fig.12). Cette multitude de facteurs physiques a créé de nombreuses conditions microclimatiques d'où une différence à l'échelle des peuplements. L'hétérogénéité structurale est le résultat des exploitations antérieures (surtout entre 1939 – 1945). Tout en parcourant les différents cantons du peuplement de chêne supposés purs et hybrides de l'Akfadou, nous avons constitué un plan d'échantillonnage dirigé sur le principe de faire varier les peuplements purs. En ce qui concerne les hybrides, ils ont été totalement échantillonnés. Les différentes observations ont permis d'identifier 14 sites. (Fig.12 et plus détaillé dans les chapitres .3 et 4).



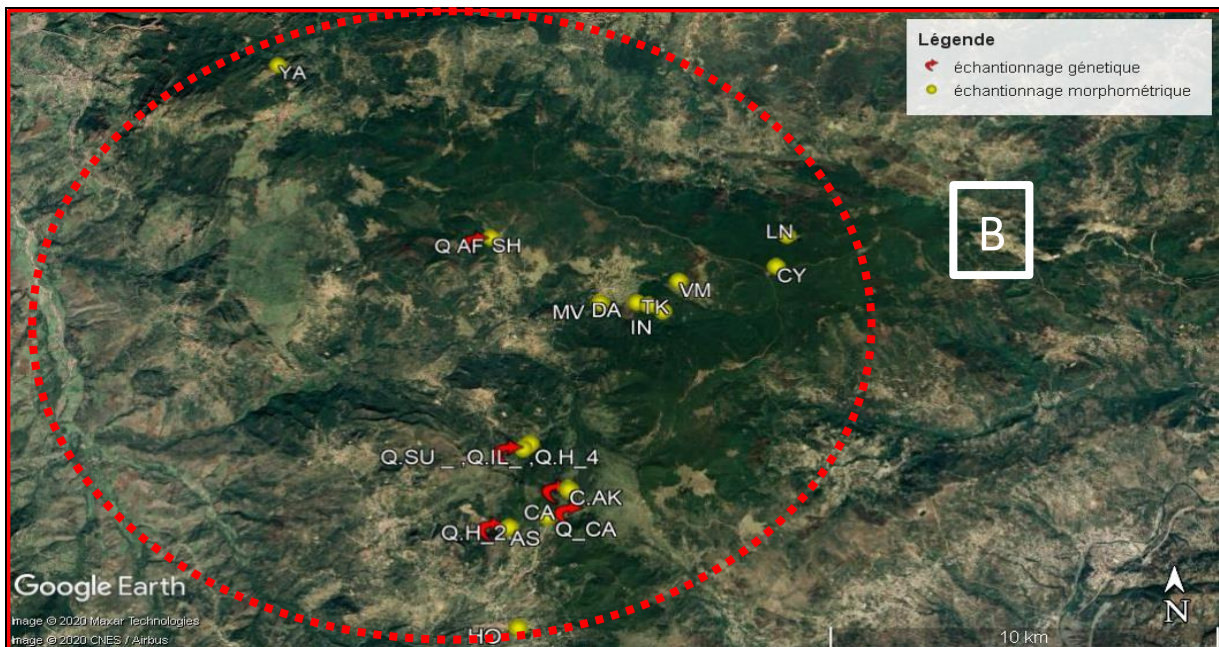
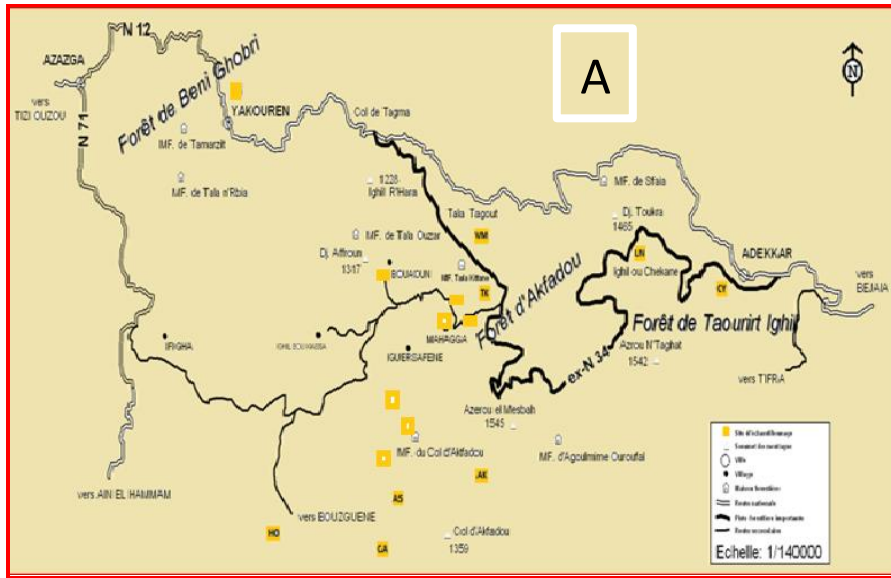
**Fig.12.** Chaines et massifs montagneux de la kabylie modifiée. (Massif de l'Akfadou) (Source : Microsoft expediamaps, 1997) modifiée.

## 2.2. Localisation de la Forêt d'Akfadou - Localizacion geografica de Akfadou

Le massif forestier d'Akfadou est situé en grande partie à l'intersection de deux chaînes montagneuses : la chaîne côtière et celle du Djurdjura. Il est distant du chef-lieu de la wilaya de Tizi Ouzou de quelques 50 km et de la mer méditerranée à moins de 20 km à vol d'oiseau, la forêt d'Akfadou s'étend sur 10000ha, soit 18% de la chênaie caducifoliée

d'Algérie (Messaudene et *al.*, 2007). La forêt d'Akfadou est sous régime domanial, elle est divisée en deux parties : l'Akfadou ouest et est, dépendant respectivement de la wilaya de Tizi Ouzou (4600ha) et de Bejaia (5400ha) (Rabhi , 2011).

Les sites d'étude sont localisés dans les forêts domaniales de de l'Akfadou ouest et de Béni Ghobri, représentant un même massif forestier.



**Fig.13. A-** Situation de la zone d'étude et localisation des sites prospectés. (Avec les différentes stations inventoriées) **B-** Situation de la zone d'étude et localisation des sites prospectés avec google earth (avec mention de l'échantillonnage pour l'étude génétique et morphométrique) - Mapa del area de estudio.

### 2.3. Relief, substrat géologique et pédologie -geologia y pedologica

- **L'Orographie**

L'orographie de la forêt d'Akfadou est assez compliquée : elle s'articule autour d'une succession de lignes de crête globalement orientées nord-est et sud-ouest. Généralement, le relief est assez accidenté (pentes de 15 % à 45 %), notamment dans sa partie sud orientale, l'altitude de l'Akfadou variant de 560m (Assif Ouserdoun) à 1646 m (Djebel El Zeen) (Messaoudene, 1989 ; Messaoudene et *al.*, 2007). Pour l'Altitude ; la répartition générale des classes d'altitude à travers le territoire étudié est présentée dans le Tabl.1 et sur la Fig.14.

**Tabl.1.** Répartition générale des classes d'altitude à travers le territoire étudié (Matet, 2008).

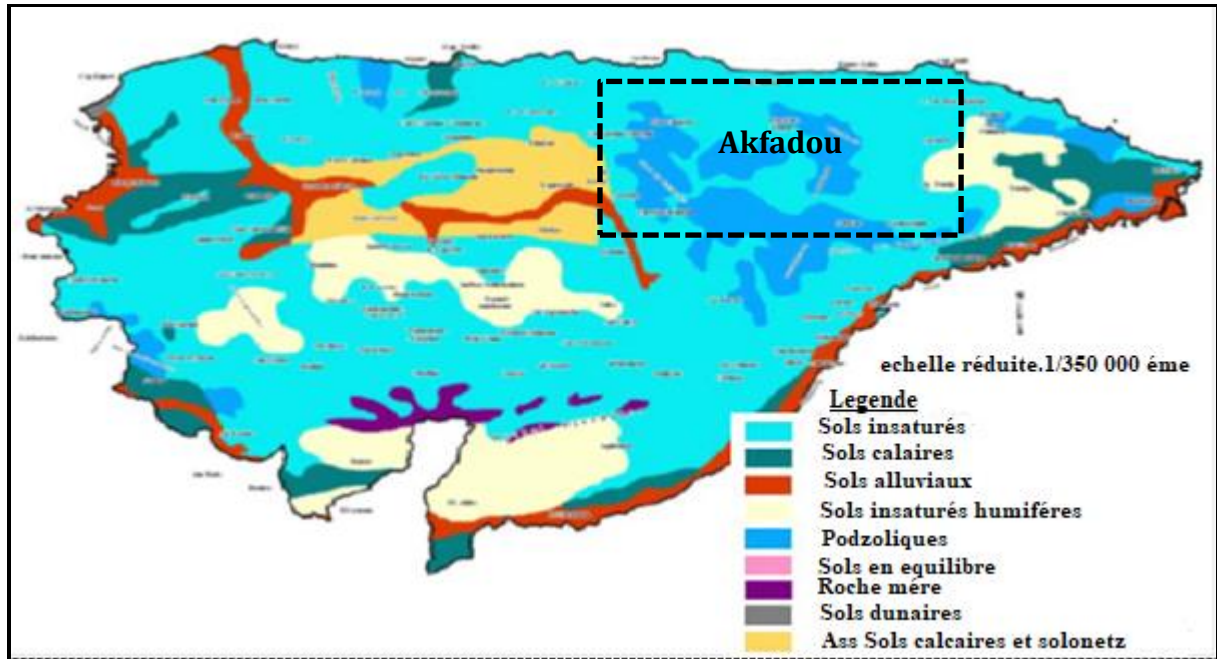
Classes d'altitude (en m)	Superficie totale (ha)	% de la surface du territoire
0-400	186 125	33.66
400-800	268 518	48.55
800-1200	62 643	11.33
> 1200	35 735	6.46
Total	553 021	100


Globalement, les zones montagneuses de la Kabylie présentent des altitudes moyennement élevées, généralement inférieures à 800 m (82,32 % du territoire) où prédomine la classe comprise entre 400 et 800 m (48,55 %). Les plus hautes altitudes (plus de 1200 m) correspondent aux sommets du Djurdjura et de l'Akfadou (6,46 %). (Voir Fig.15).

La carte établie par Gelard (1979), montre que l'Akfadou renferme trois substrats : les grès numidiens, les éboulis et les argiles sous numidiennes de l'oligocène s'intercalant sur les versants, le flysch à microbrèche du sénonien occupe les croupes arrondies. Durand (1951) estime que cette région ne comprend que deux faciès (Fig.14):

- Les grès siliceux du numidien supérieur
- Les argiles du numidien inférieur avec intercalation de bancs gréseux (flysch).

Le même auteur souligne que la plupart des sols du massif d'Akfadou sont brun lessivés, par endroit il existe des sols à hydromorphie temporaire où le sol est humifère et l'humus est de type mull forestier caractérisé par un rapport C/N satisfaisant donnant une bonne minéralisation, le pH est inférieur à 7.

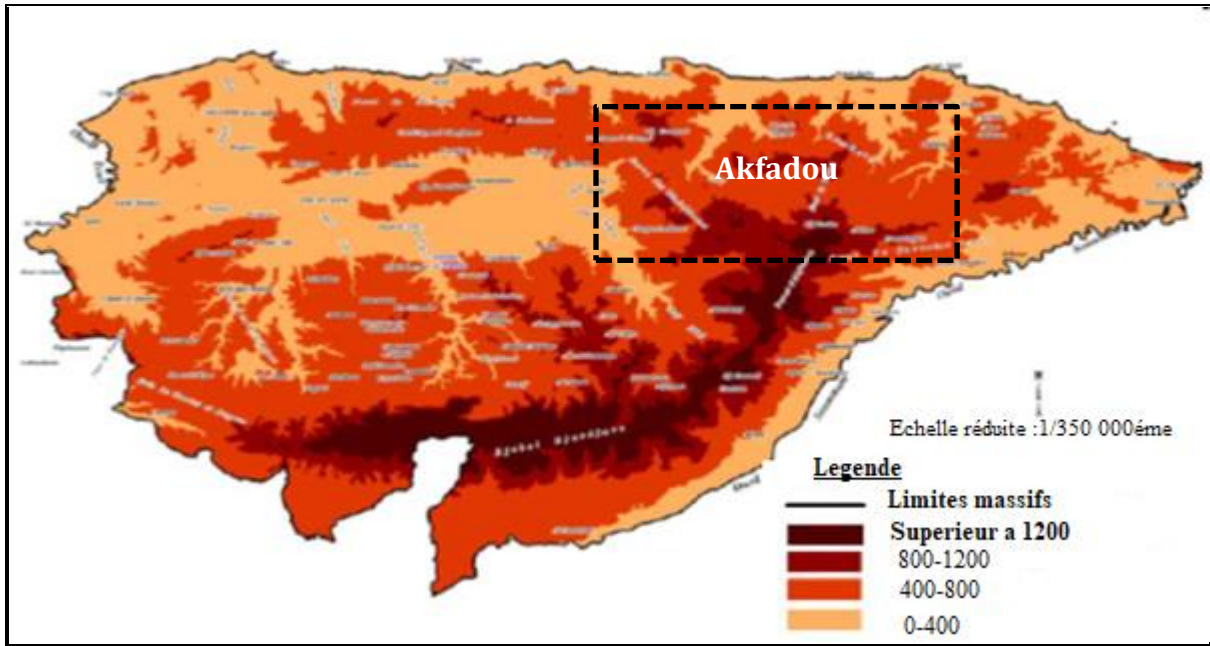



**Fig.14.** Carte pédologique de la Kabylie (d'après Durand, 1954 in Meddour 2010) modifiée .Extrait de la « *carte des sols de l'Algérie* » au 1/500 000e, coupure d'Alger, feuille N.J. 31-SE.  Zone d'étude.

### • Pédologie

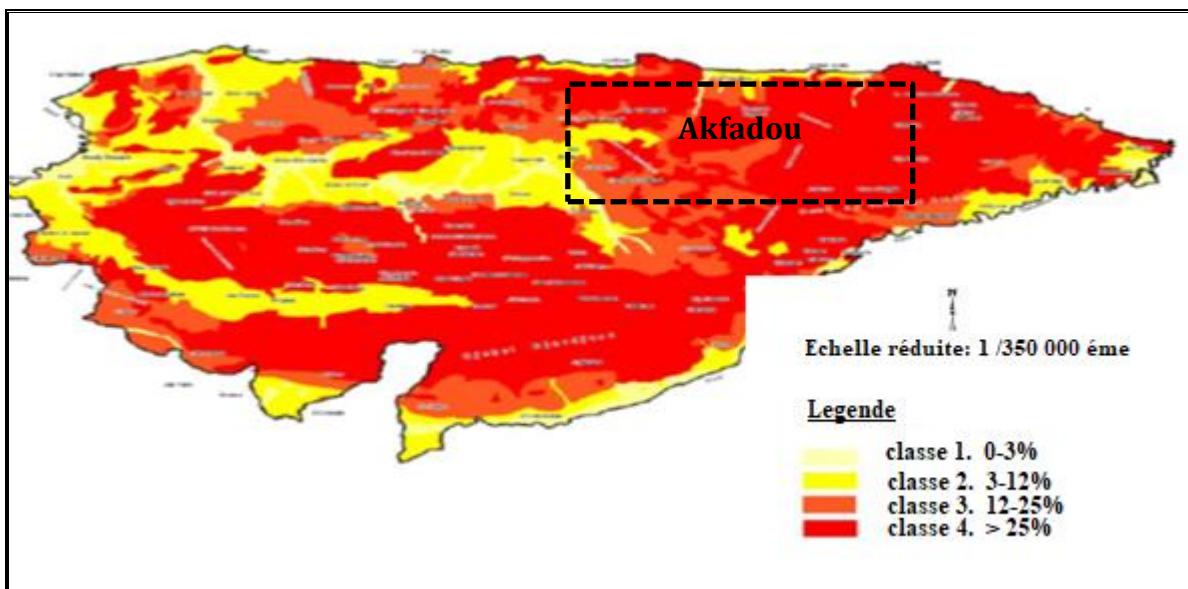
Les données pédologiques que l'on possède sur la Kabylie du Djurdjura qui sont assez maigres et résultent pour leur grande partie d'une « *carte des sols de l'Algérie* » au 1/500 000e, élaborée il y a plus d'un demi-siècle par Durand (1954). Cette carte comprend 24 classes de sols différents selon le système de classification français. Selon cette dernière carte pédologique, et plus précisément la coupure d'Alger (Feuille N.J. 31-SE), 9 classes de sols sont représentées dans la Kabylie. (Laribi, 2016). (Fig. 14).


En Grande Kabylie, où un immense banc gréseux s'étend d'ouest en est, sur une cinquantaine de km, d'Azazga jusqu'aux environs d'El Kseur, le flysh Numidien couvre environ 1/3 du NE du territoire. Du nord au sud, la largeur de son affleurement avoisine les 30 km au méridien de l'Akfadou (Gelard, 1979) (Fig.14).

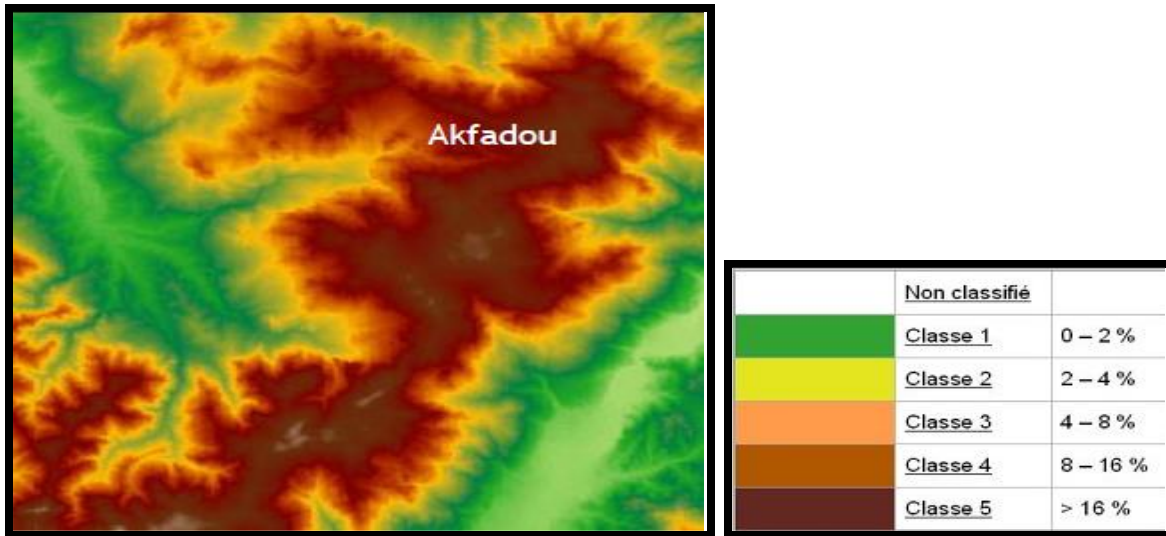


**Fig.15.** Carte des classes d'altitude de la kabylie. (Matet , 2008) modifiée.  Zone d'étude.

Dans les massifs forestiers d'Ath Ghobri et de l'Akfadou, ce flysh est représenté par les grès numidien (Aquitancien), les argiles sous-numidiennes de l'Oligocène et les marnes à intercalations calcaires, «flysh à microbrèches» du Massylien (flysh de Tagtintt). En général, les zones montagneuses de la Kabylie présentent une pente très accentuée. Les deux classes de pente « supérieure à 25 % » et « comprise entre 12,5 et 25. (Fig.16).



**Fig.16.** Carte des classes de pentes de la kabylie (Akfadou). (Matet, 2008) modifiée.  Zone d'étude.



**Fig.17.** Carte numérique des pentes de l’Akfadou du projet SGIAR modifiée. (Système de gestion intégrée de l’information agricole et rurale) (Représentation en fausses couleurs)[http://www.sgiar.org/geodataaccess/images/SRTM\\_1.jpg](http://www.sgiar.org/geodataaccess/images/SRTM_1.jpg). (Meddour ; 2010).

Dans la Fig.17, la valeur de chaque pixel représente la classe de pente correspondante. Une palette de couleurs a été appliquée afin de faciliter l’interprétation de l’image. Par rapport à d’autres régions du pays, cette zone montagneuse de la Kabylie se distingue par la diversité de ses milieux physiques et naturels qui résulte de son relief escarpé fortement disséqué, par un réseau hydrographique important donnant ainsi lieu à une alternance de paysages et de géo systèmes : plaines littorales, massifs côtiers, vallées et dépressions intérieures, basses, moyennes et hautes montagnes (Laribi , 2016).

Les grès numidiens sont essentiellement quartzeux souvent ferrugineux très uniformes. Généralement friables, ils donnent un terrain sableux, jaunâtre et parsemé de blocs rocheux. Les argiles sous-numidiennes feuilletées ont fourni des associations pélagiques de l’Oligocène (Durand-Delga, 1980). Ces argiles qui s’étendent dans les dépressions entre les crêtes boisées, sont souvent recouvertes d’éboulis de grès de Numidie (Fig.16).

L’étude menée par Durand (1951) dans la région montre que : “le facteur essentiel de différenciation des sols est la roche mère, par sa plus ou moins grande perméabilité conditionne la migration des argiles” d’où une différenciation des sols sur substrat gréseux d’une part et sur substrat argileux d’autre part.

## 2.4. Description du climat et du bioclimat- Descripción del clima y bioclima

C'est un fait bien établi que l'Algérie fait partie de « l'aire isoclimatique méditerranéenne », puisque son climat est partout caractérisé par l'existence d'une période de sécheresse axée sur la période chaude et imposant à la végétation en place un stress hydrique de durée variable (Daget & al., 1988 ; Quézel & Médail, 2003 ; Le Houérou, 2004). D'après la récente classification de Rivas-Martinez (2005), elle fait partie intégrante du « macroclimat méditerranéen » (Laribi, 2016).

Sous ce qualificatif général de « méditerranéen », on est cependant appelé à distinguer une grande diversité de « climats régionaux » dans notre pays, fait qui est loin d'être nouveau puisque déjà relevé par Seltzer (1946, 1950). Dans tous les pays du Maghreb, la pluviométrie est le paramètre climatique dominant, étant d'une part généralement insuffisante, et, d'autre part, beaucoup plus variable que la température, tant à l'échelle spatiale que temporelle (répartition mensuelle et saisonnière, irrégularité interannuelle). Il n'est donc pas étonnant de trouver plus d'informations sur les hauteurs de pluie que sur les températures [cf. par ex. Meharzi (1994) aux Aurès, Meddi & Meddi (1998) au Sahara et Meddi & al. (2007) en Algérie Nord-occidentale ; Alifriqui & al. (1995) au Maroc et Douguédroit (1988) en Tunisie]. (Laribi, 2016).

Ainsi donc, et afin de circonscrire la zone d'étude et caractériser du point de vue bioclimatique les sites prospectés, nous aborderons la caractérisation de son climat par une analyse sommaire des précipitations et des températures.

Le manque ou parfois l'inexistence de station météorologique en montagne pose la difficulté du choix des données climatiques pouvant mieux représenter la zone d'étude. Le manque de données climatiques mène en premier lieu à faire des extrapolations parfois discutables, leurs interprétations sont à prendre avec beaucoup de précautions. La deuxième étape consiste à caractériser un ensemble de climats locaux ou stationnels qui permettra de définir un climat régional (Messaoudène, 1989). Les données disponibles relatives au Djurdjura sont sporadiques et non continues. En se basant sur quelques travaux antérieurs (Messaoudène, 1989; Meddour, 2010), nous avons pu réunir des mesures de précipitations et de températures sur une tranche allant de 1973 à 2000. Pour les extrapolations, deux gradients altitudinaux, pluviométrique et

thermique ont été calculés à l'aide de régression ( $R^2=0,64-0,91$ ) intégrant plusieurs postes météorologiques (Meddour, 2010). En ubac, le gradient pluviométrique est de 39mm/100m ; pour l'adret il est de 64mm/100m. Pour le gradient thermique, on distingue trois modalités : 0,43°/100m pour la température moyenne annuelle (T), 0,41°/100m pour la température moyenne minimale du mois le plus froid et 0,78°/100m pour la température moyenne maximale du mois le plus chaud. Un diagnostic détaillé du climat nécessite l'utilisation de plusieurs paramètres, Le Houerou (1995) et Panini & Amandier (2005) estiment qu'il est suffisant de retenir les suivants :

- Le module de précipitation annuelle (P).
- Les précipitations hivernales (Phiv), printanières (Ppr), estivales (Pest) et automnales (Paut).
- L'indice de sécheresse d'Emberger ( $ISE = PE/M$ ).
- La température moyenne maximale du mois le plus chaud (M).
- La température moyenne annuelle (T)
- La température moyenne minimale du mois le plus froid (m).
- L'indice d'aridité de De Martonne (annuel et mensuel) «  $IDM = P/(T+10)$  »
- Le quotient pluviométrique de Stewart (1969) ( $Q2 = 3,43.P/M-m$ ).

Les cinq postes météo retenus ainsi que les paramètres calculés sont récapitulés dans le (Tabl.2.1).

**Tabl.2.1** : Données réduites relatives aux moyennes mensuelles (mois secs et mois humides), aux pluviométries annuelles et extrêmes et au régime saisonnier (extraites du tableau 13, Meddour, 2010 et Laribi, 2016).

Stations	Code	alt	P	h	p	e	a	T	M	m	Q2	ISE	IDM
Aghrib	Agh	730	1027,3	453	285	19	270	15,20	29,80	4,50	139,23	0,64	40,75
Ait Aicha	Aai	1000	958,1	409	292	30	227	14,04	27,69	3,39	135,22	1,08	39,85
Azazga	Aza	450	888,1	383	253	21	231	16,40	31,98	5,65	115,65	0,66	33,63
Tagma	Tag	1000	1174,4	484	359	33	298	14,04	27,69	3,39	165,71	1,19	48,84
Yakourene	Yak	820	1109,5	483	326	31	270	14,81	29,10	4,13	152,49	1,07	44,73

### 2.4.1. Les précipitations-Las precipitaciones

Les données considérées consistent en des valeurs de certains paramètres qui nous permettent de caractériser le régime des précipitations dans notre zone d'étude. Elles ont été extraites d'un tableau récapitulatif de données réduites dressé par Laribi (2016), soit près de 3 décennies, nous retenons 5 cinq postes pour leur localisation dans le périmètre de la zone d'étude ou dans ses abords surtout par rapport aux stations Yakouren, lac noir et Aït Aïcha dans le massif d'Akfadou. (Tabl. 2.2).

**Tabl.2.2** : Données réduites relatives aux moyennes mensuelles (mois secs et mois humides), aux pluviométries annuelles et extrêmes et au régime saisonnier (extraites du tableau Laribi ; 2016).

Stations	Alt (m)	P (mm)	Cv%	P >100	P < 30	P max	P min	Régime saisonnier
Aghrib	730	1027	25	5	3	185	3.1	HAPAE
Azazga	450	888	22	5	3	155	3.6	HAPAE
Yakouren	820	1110	23	6	3	185	6.4	HAPAE
Tagma	1000	1174		7	3	185	7.9	HAPAE
Ait aïcha	1000	958	27	6	3	163	5.1	HAPAE

Dans le Tabl.2.2, nous récapitulons les valeurs de certains paramètres qui nous permettront une caractérisation du régime des précipitations (annuel, saisonnier, mensuel) et une régionalisation spatiale établie sur une base ombrique.

#### ▪ Précipitations moyennes annuelles

S'il est établi que l'altitude soit le facteur essentiel de la répartition spatiale des Précipitations ; il n'en demeure pas moins que celles-ci sont sous l'influence d'autres facteurs tels que la proximité de la mer, l'orientation des versants et l'encaissement du site (Aissani, 1983 in Meddour, 1994) dont il est difficile de quantifier l'influence à l'état actuel (M'hirit, 1982). C'est ainsi par exemple qu' « il pleut » plus à Yakouren (1110 mm) qu'à Aït aïcha n (1000 mm) alors que cette dernière station est à une altitude supérieure de près de 110 m à celle de la première (voir Tabl.2.2). Les stations étant exposées au Nord, la proximité de la mer semble avoir plus d'influence sur les

précipitations que l'altitude, eu égard à leur distance (à vol d'oiseau) (Yakouren , lac noir). (Laribi , 2006).

Les précipitations sont plus importantes à Tagma (lac noir-centre cynégétique) (1174 mm) qu'à Aït Aïcha (958 mm). Cette dernière, pourtant plus alticole de 50 m, est située à 8 Km au sud de la première, en situation d'abri ou d'"ombre pluviale" (Peguy, 1970) puisqu'elle est protégée des influences du Nord par djebel Affroun qui culmine à 1317 m. Ce phénomène est connu par les climatologues dans la plupart des montagnes méditerranéennes sous le nom d'effet de *foehn* (M'hirit, 1982).

Sur la Fig.19, extraite de Laribi (2016) est visualisée la variation mensuelle moyenne des précipitations pour les postes (stations) retenues pour notre zone d'étude. Globalement, les courbes des précipitations moyennes mensuelles affichent la même allure :

Une période sèche (*sensu* Koppen *in* Daget, 1984) avec une hauteur d'eau inférieure à 30 mm. Cette période est de 3 mois (juin à août) pour toutes les stations.

Une période pluvieuse s'étalant sur 9 mois (septembre à mai) avec une concentration durant le semestre froid, de novembre à avril ; le mois le plus arrosé (P max) étant le mois de décembre. Les plus grandes lames d'eau sont enregistrées pour les stations les plus proches de la mer ou les plus alticoles telles : Yakouren ou encore Tagma (185 mm/an). En définitive, l'aire bioclimatique dans laquelle s'inscrivent l'ensemble de nos sites s'étend du bioclimat subhumide chaud au per humide frais. Toutefois, il y a lieu d'indiquer que la plupart des sites sont cantonnés dans la variante tempérée des bioclimats subhumide et humide. Les sites correspondant au per humide frais et subhumide chaud. Ce qui nous reflète les stations d'étude choisies ; inventoriées dans notre recherche.

#### **2.4.2. Les températures - Las temperaturas**

En absence de nouvelles données thermiques, nous nous contentons d'emprunter à Messaoudene (1989) celles relatives aux stations qui couvrent la période (1918-1951), elles correspondent à la période 1913-1938. Pour Azazga, celles-ci sont fournies par la station (automatique) de l'INRF (537 m d'altitude), elles couvrent une période de 5 années (2000- 2004) (Tabl.3). Les températures moyennes maximales du mois le plus chaud (M) oscillent entre 36.2 °C à Tizi Ouzou et 29.8 °C à Aghribs. Les températures moyennes minimales du mois le plus froid (m) varient quant à elles de 2.6 °C à Aïn El

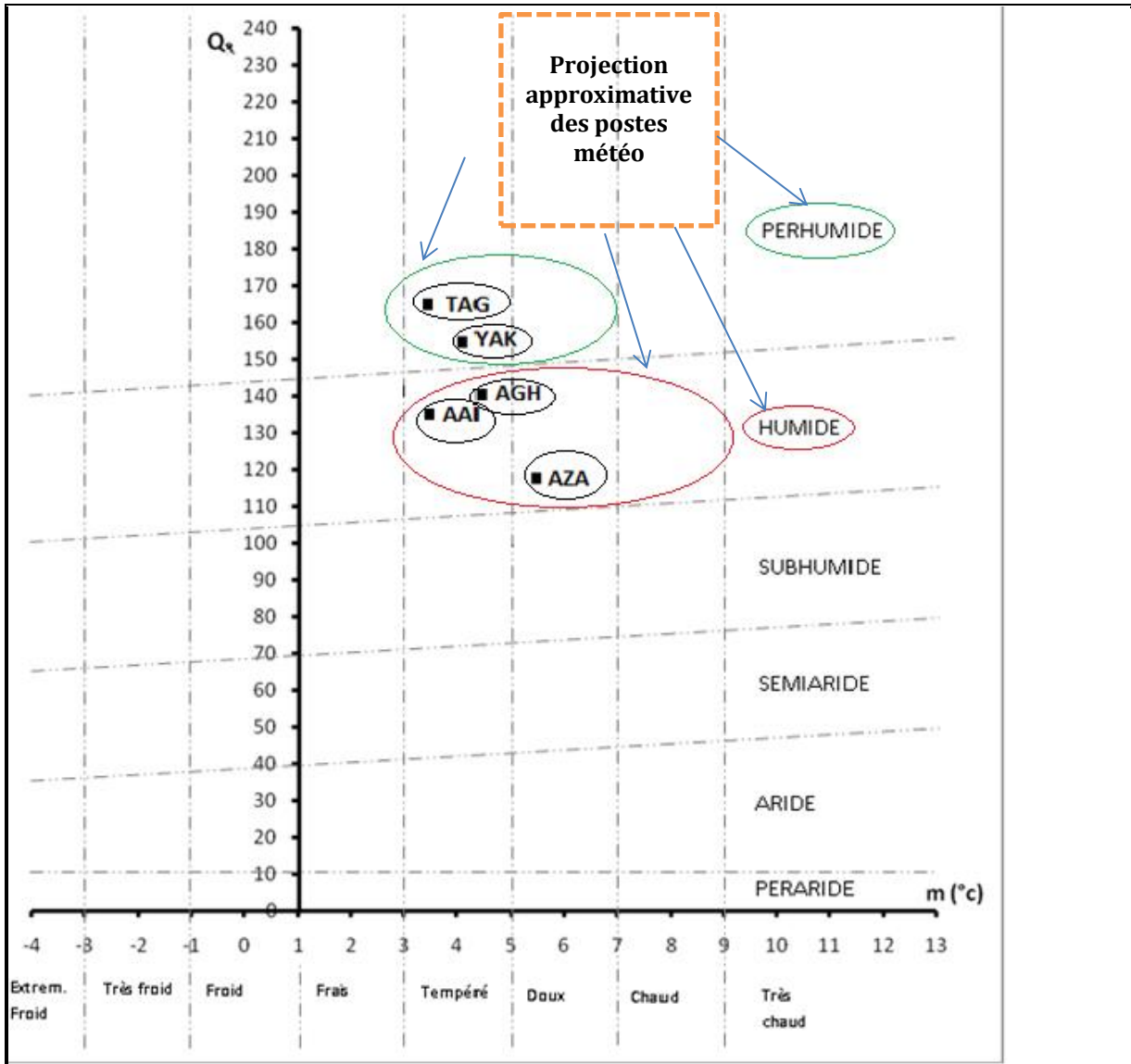
Hamman ; à 5.7 ° C soit la limite de la tranche altitudinale que couvrent les stations retenue. (Yakouren –Lac noir)(Laribi,2016).

**Tabl.3**.Températures moyennes mensuelles minimales et maximales des postes proches retenues. (Laribi, 2016).

Stations retenues	T	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Ain hammam (1100)m	m	2.6	3.2	4.8	7.1	10.2	14.7	18.6	19.1	16	11.3	7	3.4
	M	9	10.2	13.1	16	19.5	25.2	29.8	30.8	26.5	20.4	14.1	9.9
Laabaa nath irathen(942) m	m	3.5	4	5.8	8.2	11.3	16	20	20.1	17	12.2	7.9	4.3
	M	8.9	10.3	13	16.1	19.9	25.4	30	30.5	26.4	19.8	13.7	9.5
Aghribs	m	4.5	4.9	6.5	8.9	11.5	15.7	19.1	19.6	17.2	12.8	8.6	5.3
	M	10.3	11.5	13.8	16.8	20	25.1	29.5	29.8	26.5	20.8	15.3	11

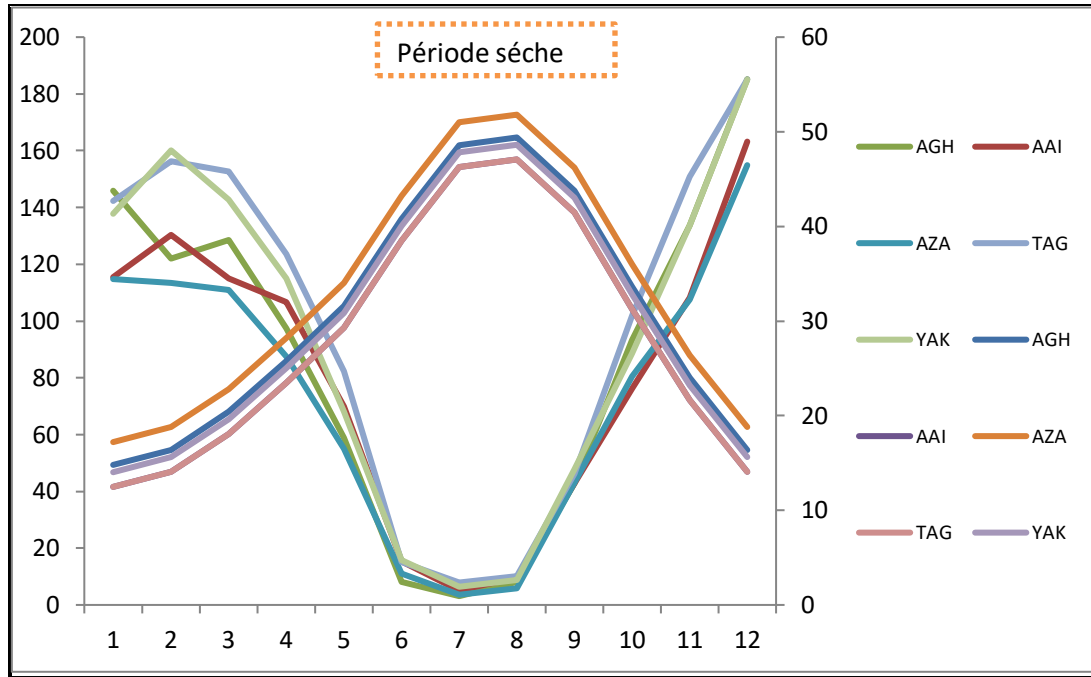
En résumé, Le massif de l'Akfadou, s'étendant sur un territoire qui accuse des dénivellations entre ses points extrêmes est tout naturellement caractérisé par une variabilité du bioclimat. Il se caractérise par les bioclimats subhumide et humide à variante fraîche et tempérée.

En effet l'Akfadou reçoit une précipitation importante variant de 1200 à 2000 mm/année ce qui le place parmi les zones les plus arrosées d'Afrique du Nord, la saison pluvieuse y importante (8 mois) et la période sèche estivale s'étend sur 2,5 mois, le régime saisonnier des précipitations est de type : Hiver – Automne – Printemps – Été (HAPE). (Messaoudene, 1989). La localisation des stations sur le climagramme d'Emberger est possible grâce au calcul du quotient pluviométrique (Q2) et de la valeur de la température minimale du mois le plus froid. La Fig.18 présente la position des postes météorologiques sur le climagramme d'Emberger.



**Fig.18.** Projection des postes météorologiques retenus sur le climagramme d'Emberger (in Quézel, 1979 in Laribi, 2006) modifiée.

Le diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson est une représentation graphique obtenue par la superposition des deux courbes de variation annuelle des précipitations et des températures. Ces dernières sont reliées par la relation :  $P = 2T$ . Sont portées en abscisse les mois de l'année et en ordonnée les précipitations d'un côté et les températures de l'autre côté (Fig. 19).



**Fig.19.** Diagramme Ombrothermique des postes météorologiques retenus.

Le diagramme réalisé (Fig.19) montre que la période sèche s'étale de la mi-juin au début de septembre. Quant à l'indice d'aridité de De Martonne, dans l'ensemble, comme le montre le Tabl.3, la saison sèche s'étale sur trois mois, c'est une des principales caractéristiques du climat méditerranéen. Une parfaite concordance est notée avec les résultats obtenus par le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен. Les mois de juillet et août sont les plus secs pour tous les postes considérés. En altitude, l'augmentation des précipitations ainsi que la diminution des températures donnent des valeurs élevées de l'IDM, ce qui explique la forte sécheresse qui touche le mois de juin, affichées par les postes de Aghrib et Azazga.

**Tabl.4:** Valeurs mensuelles de l'indice d'aridité de De Martonne des postes retenues

Postes retenues	Mois de l'année											
	j	f	m	a	m	j	j	a	s	o	n	D
<b>Agh</b>	100,55	80,51	76,34	51,04	27,35	3,20	1,08	2,84	16,14	41,82	72,98	122,11
<b>Ai</b>	85,28	91,84	72,48	58,90	34,09	6,28	1,85	3,43	16,71	35,71	62,36	114,94
<b>Aza</b>	74,05	70,13	62,18	43,51	24,44	4,21	1,22	1,97	15,59	34,54	55,59	95,79
<b>Tag</b>		110,08	96,18	68,17	40,13	6,24	2,86	3,61	18,04	47,74	86,89	130,36

	105,08											
<b>Ya</b>	97,13	107,85	86,43	61,24	32,11	6,28	2,26	3,11	18,16	40,25	74,29	124,63

Stations (**Agh** : Aghrib , **Ai** :Ait aicha ,**Aza** :Azazga, **Tag** :Tagma ,**Ya** :Yakouren).

## 2.5. Effet de l'ensoleillement- Efecto sol

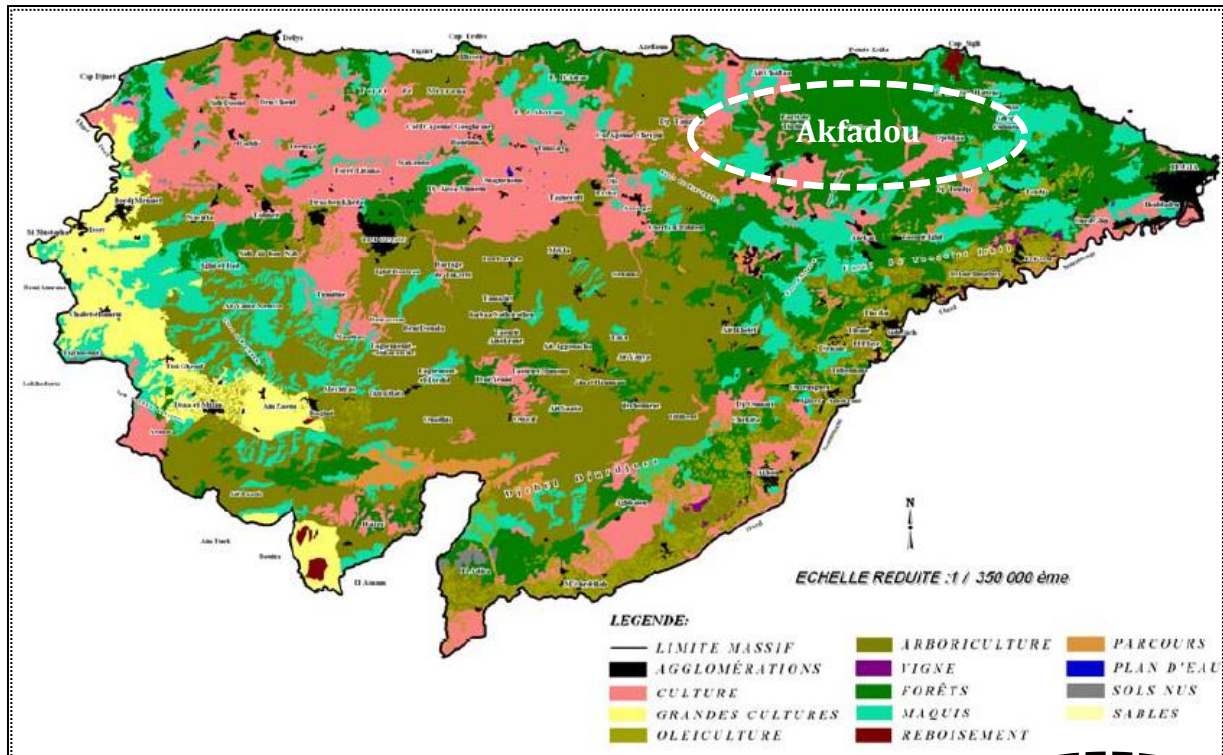
La quantité de chaleur émise par le rayonnement solaire captée à la surface de la terre n'est pas uniformément répartie à cause de l'amorphisme des reliefs qui déterminent le type et la nature des versants, qui sont différemment exposés au soleil. Les versants sud et sud-ouest sont les plus exposés, donc reçoivent une grande quantité de chaleur qui a une incidence directe sur l'évapotranspiration de la végétation, d'où l'appellation de **versant chaud** et de **versant froid**. En Kabylie, les versants sud et sud-ouest plus exposés au soleil, sont généralement caractérisés par des formations basses et moins denses à cause de la sécheresse (Belkaïd, 2016). La durée en heures d'ensoleillement avoisine les 2750 heures par an (station météorologique de Boukhalfa), ce qui représente une part conséquente. Cette donnée montre la contribution importante du rayonnement solaire à l'évaporation de l'eau contenue dans les tissus de la végétation. Selon William (1964) in Trabaud (1992), les versants sud et sud-ouest, par l'ensoleillement direct qu'ils reçoivent, présentent les conditions favorables pour une inflammation et une propagation rapide des feux contrairement à l'exposition nord. En résumé, l'exposition des versants conditionne le type de végétation, l'ensoleillement et l'influence du vent.

## 2.6. Végétation-Flora y vegetacion

- **Chênes de l'Akfadou et Présentation du genre *Quercus* –Robles de Akfadou y presentacion del género *Quercus***

La forêt d'Akfadou est constituée essentiellement de peuplements de chêne zéen (*Q. canariensis* Willd.), de chêne afarès (*Q. afares* Pomel) et de chêne liège (*Q.suber* L.) et chêne vert (*Q.rotundifolia*) et des chênes Hybrides (Fig.20). Ces peuplements présentent une mosaïque d'âges divers. Le chêne zéen est l'essence dominante jusqu'à 1646 m d'altitude où il occupe environ 45 % de la superficie boisée. Le chêne afarès abonde sur quelques lignes de crête accompagnées plus souvent des hybrides aux alentours , les

versants sud et sud-ouest et les terrains caractérisés par des sols plus ou moins argileux. Le plus souvent, il est situé au-dessous de 1250 m d'altitude. Les peuplements purs occupent environ 15 % de la surface boisée. Les peuplements mixtes de chêne zéen et de chêne afarès se retrouvent partout dans les zones de transition. Il en est de même pour les peuplements mixtes de chêne zéen et de chêne liège, limités à une altitude de 1100 m. Ces peuplements mixtes couvrent environ 25 % de la zone boisée. Quant au chêne liège à l'état pur, il occupe 15 % de la zone périphérique de l'Akfadou. De gros chênes zéens et afarès, âgés de plus de 500 ans, sont présents dans de nombreux sites. Ces individus témoignent de l'origine ancestrale de la chênaie de l'Akfadou (Messaoudene, 1989). L'arboretum d'Agoulmine Aberkane, la châtaigneraie de Mehaga et celle de Tala-Kitane, la cédraie d'Adekar, les nombreuses aulnaies, les bouquets d'ifs (*Taxus baccata* L.) et de houx (*Ilex aquifolium* L.) méritent aussi une attention particulière. Bien qu'introduit en 1890 puis en 1948 à Agoulmime Aberkane et aux alentours, à Tala Kittan et à Adekar, plus précisément dans le cadre de programmes d'amélioration forestière, le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) forme actuellement de très belles cédraies perpétuées par une régénération naturelle très importante. Il en est de même pour le châtaignier (*Castanea sativa* Mill.), le pin noir (*Pinus nigra* Ait.), le pin coulter (*Pinus coulteri* D. Don.) et le cyprès (*Cupressus horizontalis* L.), introduits aussi en 1890 et 1948 dans l'arboretum d'Agoulmime Aberkane et à Lazella. *Abies numidica* (De Lann.) est représenté par 75 individus inventoriés au sud de la cédraie d'Agoulmime Aberkane. L'aulne glutineux (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), l'if et le houx colonisent partout les stations les plus humides à tendance marécageuse de l'Akfadou, ainsi que les sources et cours d'eau. Parmi les espèces caducifoliées figurent aussi l'érable (*Acer obtusatum* W. et K.), le sorbier (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz) et le merisier (*Cerasus avium* L.). L'érable peut parfois codominer avec le chêne zéen, voire le dominer pour constituer de véritables érablières occupant des surfaces assez réduites malgré tout. Le sorbier et le merisier, bien qu'assez fréquents sont rarement abondants. Mais leur intérêt écologique est suffisamment important pour que les aires réduites où poussent ces espèces dans l'Akfadou soient protégées. (Messaoudene et al., 2007).



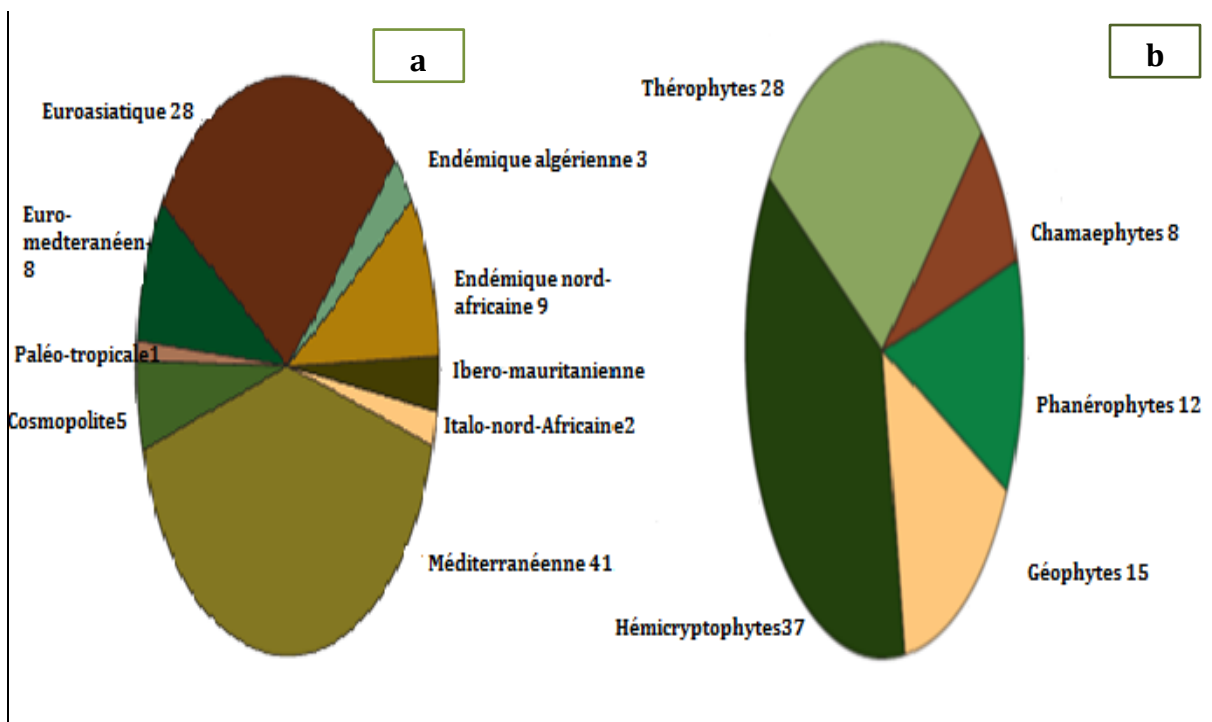
**Fig.20.** Carte d'occupation des sols de la Kabylie du Djurdjura en blanc (zone -Akkfadou (Matet, 2008 ) modifiée ).

- **Spectre biologique et phytogéographique au niveau de l'Akkfadou -Espectro biológico y fitogeografico a nivel de Akfadou**

Le spectre biologique de la forêt d'Akkfadou révèle une prédominance des hémicryptophytes et des thérophytes qui représentent respectivement 37 % et 28 % de la flore de la forêt étudiée (Fig.21.a) (Laribi,2006). Les premiers caractérisent les zones fraîches et les seconds sont favorisés par le faible recouvrement de la strate arborescente (moins de 50 %) du chêne zéen et du chêne afarès, voire leur destruction totale par endroits. Dans certains sites, la dominance des thérophytes révèle l'aridité et le surpâturage du milieu. Par rapport aux peuplements à faible recouvrement, les espèces relevées sont *Aira tenorii* Guss., *Alchemilla arvensis* (L.) Scop., *Brachypodium distichum* Huds., *Gastridium scabrum* Presl., *Gaudinia fragilis* (L.) P. B., *Rumex bucephalophorus* L. et *Tuberraria guttata* (L.) Fourreau, etc. Les espèces liées au surpâturage sont *Cerastium glomeratum* Thuil., *Cynosurus elegans* Desf., *Lens lenticula* (Schreb.) Alef et *Torilis arvensis* (Huds.) Link. *Lens lenticula* est très répandue dans les

stations fréquentées par les bovins. De manière générale, la codominance des thérophytes et des hémicryptophytes dans le spectre biologique brut pourrait s'expliquer par l'importance de l'action anthropique. Au total, 435 espèces ont été inventoriées dans la forêt d'Akfadou (Messaoudene et *al.*, 2008). Les espèces rares représentent environ 9 % du cortège floristique de la forêt, soit 40 espèces (Laribi, 2006).

D'après la classification phytogéographique des éléments floristiques de l'Algérie (Maire, 1926 ; Quézel et Santa, 1962 ; Quézel, 1964) l'examen du spectre phytogéographique de la flore de la chênaie caducifoliée de la forêt de l'Akfadou (Fig.21-b) montre que celle-ci est constituée à 41 % par des espèces méditerranéennes, tandis que, totalisant près de 36 %, les éléments eurasiatiques et euro-méditerranéens sont loin d'être négligeables. Une trentaine d'espèces de la flore de l'Akfadou (9 %) sont des espèces endémiques d'Afrique du Nord et 3 % seulement sont des endémiques d'Algérie. Ces dernières regroupent les espèces suivantes : *Carum montanum* Coss.et Dur., *Genista numidica* Spach., *Genista vepres* Pomel, *Nepeta algeriensis* De Noé, *Phlomis bovei* De Noé et *Scrophularia tenuipes* (Coss et Dur. Quant à ***Quercus afares* Pomel, très répondu en Kabylie**, il est considéré par Quézel (1964) comme une espèce endémique numidienne. Les espèces ibéro-mauritanienne, italo-nord- africaine, cosmopolite et paléo-tropicale représentent 11 % de la flore de l'Akfadou.



**Fig.21. a-** Spectre biologique (Laribi, 2000). Distribution en (%) des taxons de la forêt d'Akfadou selon leurs types biologiques .**b-** Spectre phytogéographique (Laribi, 2000). Distribution (en %) des taxons de la forêt d'Akfadou selon leurs origines biogéographiques.

### • Etages de végétation -Zonation altitudinale de la végétation

Les zones ou ceintures de végétation qui se succèdent en altitude sont appelées étages de végétation (Emberger, 1971). Afin d'éviter des ambiguïtés, souvent sources de confusion, Ozenda (1975 b) et Achhal & al. (1980) insistent sur l'intérêt qu'il y a à réserver le terme "étage" pour des tranches altitudinales de végétation et celui de "zone" ou "ambiance" pour des tranches bioclimatiques. Pour Ozenda (1975 a et b), l'étage de végétation correspond nécessairement à un certain climat et non à une certaine altitude ; le même climat pouvant se présenter à des altitudes différentes selon la latitude du massif considéré. Pour mieux affranchir la notion d'étage de végétation du facteur altitudinal<sup>1</sup>, anciennement corrélé, cet auteur voit en la végétation elle-même un autre critère de définition, à condition de "s'entourer des précautions nécessaires pour établir des comparaisons valables". Il rappelle, à ce propos, que seul le groupement végétal doit être pris en considération ; sa valeur indicatrice étant plus grande que celle des espèces qui le constituent. (Laribi , 2016)

L'utilisation du critère phytocoenotique est suggérée aussi par Achhal & al. (1980) pour définir l'étage de végétation. Dans leur nouvelle nomenclature, valable pour le Maghreb, ces auteurs proposent le concept d'étage méditerranéen supérieur pour réunir les formations dominées par les chênes sclérophylles d'altitude mais qui relèvent encore des *Quercetea ilicis* (*Balanseo glaberrimae-Quercion rotundifoliae*). Le supraméditerranéen est, par contre, réservé aux forêts caducifoliées se rattachant aux *Quercetea pubescentis* (*Querco-Cedretalia atlanticae*).

Les importants travaux de phytogéographie et de phytosociologie entrepris par QUEZEL et ses collaborateurs ont permis l'interprétation globale de la montagne méditerranéenne (cf. Quézel, 1976; Meddour, 2010). Cet auteur (Quézel, 1976) distingue en fonction des altitudes croissantes et dans un schéma simplifié à l'extrême, 5 étages fondamentaux de végétation :

-l'étage thermoméditerranéen qui correspond aux forêts de conifères (*Pinus halepensis*, *Tetraclinis articulata*) et aux formations à *Olea europaea*, *Ceratonia siliqua* et *Pistacia lentiscus* ;

-l'étage mésoméditerranéen, constitué essentiellement par des chênes sclérophylles (*Quercus ilex*, *Q. rotundifolia*, *Q. suber* et *Q. coccifera*) ;

-l'étage supraméditerranéen, domaine électif des chênes caducifoliés (*Quercus faginea*, *Q. canariensis* et *Q. afares*) au Rif, en Kabylies et Kroumirie ;

-l'étage montagnard méditerranéen, qui regroupe les forêts à conifères montagnards (*Cedrus atlantica*, *Abies numidica*, *A. marocana*, *Pinus nigra / mauretanica*) au Rif et en Kabylies ;

-l'étage oroméditerranéen, occupé en partie par les forêts clairsemées à *Juniperus thurifera* (Haut Atlas et Aurès) et par des xérophytes épineux.

En 1979, Quézel établit des correspondances entre les étages de végétation et les variantes thermiques d'hiver (m) en ambiances humide et subhumide en précisant, néanmoins, que "si ces équivalences sont significatives en Méditerranée.

Dans une mise au point sur les étages de végétation et étages bioclimatiques, Meddour (2010) brosse un aperçu de l'évolution des 2 concepts jusqu'à la levée de l'ambiguïté, introduite par le fait altitudinal, que l'on doit à Rivas-Martinez (1996, notamment) qui désigne les étages bioclimatiques par «Ombroclimats» et les étages de végétation par «Thermoclimats» ; ces derniers étant définis plutôt par des paramètres thermiques, réunis en un indice de thermicité, que par le contenu Phytocoenotique forcément variable. Septentrionale, elles doivent être manipulées avec précautions sur son revers méridional" :

Etage Oroméditerranéen variante extrêmement froide  $m < -7^{\circ} C$

Etage Montagnard variante très froide  $-7^{\circ} C < m < -3^{\circ} C$

Etage Supraméditerranéen variante froide  $3^{\circ} C < m < 0^{\circ} C$

Etage Mésoméditerranéen variante fraîche  $0^{\circ} C < m < +3^{\circ} C$

Etage Thermoméditerranéen variantes tempérée et chaude  $M > +3^{\circ} C$

En effet, l'application, au Maroc, de ces équivalences thermiques a révélé d'importantes distorsions entre les valeurs de m et les étages de végétation (Achhal & al., 1980 ; M'hirit, 1982). Ces auteurs font remarquer qu'une humidité importante détermine une inflexion des limites des étages de végétation vers les valeurs élevées de m, et qu'au

contraire, l'augmentation de la xéricité entraîne leur décrochage vers des températures plus faibles. Aussi, concluent ces auteurs, c'est seulement au subhumide que ces équivalences se révèlent-elles satisfaisantes. Pour une zone particulièrement pluvieuse du Maroc (Rif), M'hirit (1982) relève les valeurs de m de certains étages de végétation pour les ambiances Humide et Perhumide en proposant de nouvelles correspondances valables dans les pays du Maghreb : Quant aux contenus phytocoenotiques des étages de végétation reconnus dans la zone d'étude, les différentes analyses phytosociologiques (Quézel, 1956 ; Wojterski, 1988 ; Aime & al., 1986 ; Meddour, 1993, 2010 ; Laribi, 2000, Laribi & al., 2008) ont permis l'individualisation de 7 groupements forestiers zonaux correspondants :

**I-Etage Supraméditerranéen** : Zénaie Supraméditerranéenne Bioclimat perhumide frais ; 1300-1646 m.

**1-Rubo incanescens-Quercetum canariensis** Quézel 1956 em. Aimé, Bonin, Chabane, Loisel

A Saoudi 1986 *cytisetosum villosi* Quézel em. Aimé & al. 1986

**2-Rubo incanescens-Quercetum canariensis** Quézel 1956 em. Aimé, Bonin, Chabane, Loisel

A Saoudi 1986 *aceretosum obtusati* Laribi (2000) Laribi & al., 2009 ; Laribi ; 2016:

**II-Etage mésoméditerranéen** : Zénaie et afarésaie mésoméditerranéennes Bioclimat humide, localement perhumide, à variantes tempérée et fraîche ; 700-1300 m.

**3-Cynosuro peltieri-Quercetum afaredis** Laribi 2000

**4-Chrysanthemo fontanesii-Quercetum canariensis** Laribi (2000) Laribi & al., 2008  
Chênaie mixte mésoméditerranéenne à chêne liège-chêne zéen bioclimat humide tempéré ; 650-900 m.

**5-Cytiso villosi-Quercetum suberis** Br.-Bl. 1953 corr. Serra, Loddo & Bacchetta 2002  
*quercetosum canariensis* El Hafsa 1978 Suberaie mésoméditerranéenne bioclimats subhumide à humide tempérés ; 550-950 m.

**6. Cytiso villosi-Quercetum suberis** Br.-Bl. 1953 corr. Serra, Loddo & Bacchetta .2002  
*arbutetosum unedonis* (Meddour, 2010).

**II-Etage Thermoméditerranéen** : Maquis littoraux Bioclimat subhumide chaud à doux ; 50-400 m.

**7. Erico arborea-Myrtetum communis** Quézel, Barbero, Loisel & Rivas Martinez.

1988 ; Il y a lieu d'indiquer que ces contenus phytocoenotiques des 3 étages de végétations correspondent globalement aux 5 thermotypes (étages de végétation *sensu* Rivas martinez (1996) définis par Meddour (2010) pour la Grande Kabylie ; le supra-méditerranéen n'étant représenté que par son horizon inférieur qui se manifeste à partir de 1400 m d'altitude.

## **2.7. Influences des facteurs de milieu sur la répartition des hybrides inventoriés-Influencias de los factores ambientales en la distribución de los híbridos inventariados**

L'étude de la structure actuelle et de la répartition des hybrides à travers l'écosystème des chênes purs dans le massif de l'Akfadou permet de conclure à une grande diversité et une différence dans la répartition ou distribution d'une station à une autre. Ces conditions climatiques favorables auxquelles s'ajoutent la nature du sol et les facteurs du milieu altitude et exposition (facteurs orographiques, effet versant) auraient une influence sur la répartition et l'épanouissement d'une végétation naturelle et riche en taxons arborescents du genre *Quercus*. (Jdaidi et al., 2017).

Les données récoltées sont traitées en utilisant des calculs de statistiques descriptives, qui permettent de décrire la structure actuelle de la distribution des hybrides inventoriés, pour déceler l'effet des facteurs environnementaux agissant sur cette dernière.

Les facteurs pris en considération sont:

- L'exposition: nord, est, ouest et sud
- L'espèce pure proche et/association d'espèces: les différents cas constatés sont les suivants:

a: *Quercus afares*

ac : *Quercus afares* + *Quercus canariensis*

ai : *Quercus afares* + *Quercus rotundifolia*

c : *Quercus canariensis*

s : *Quercus suber*

sa : *Quercus suber*+ *Quercus afares*

sac : *Quercus suber*+ *Quercus afares*+ *Quercus canariensis*

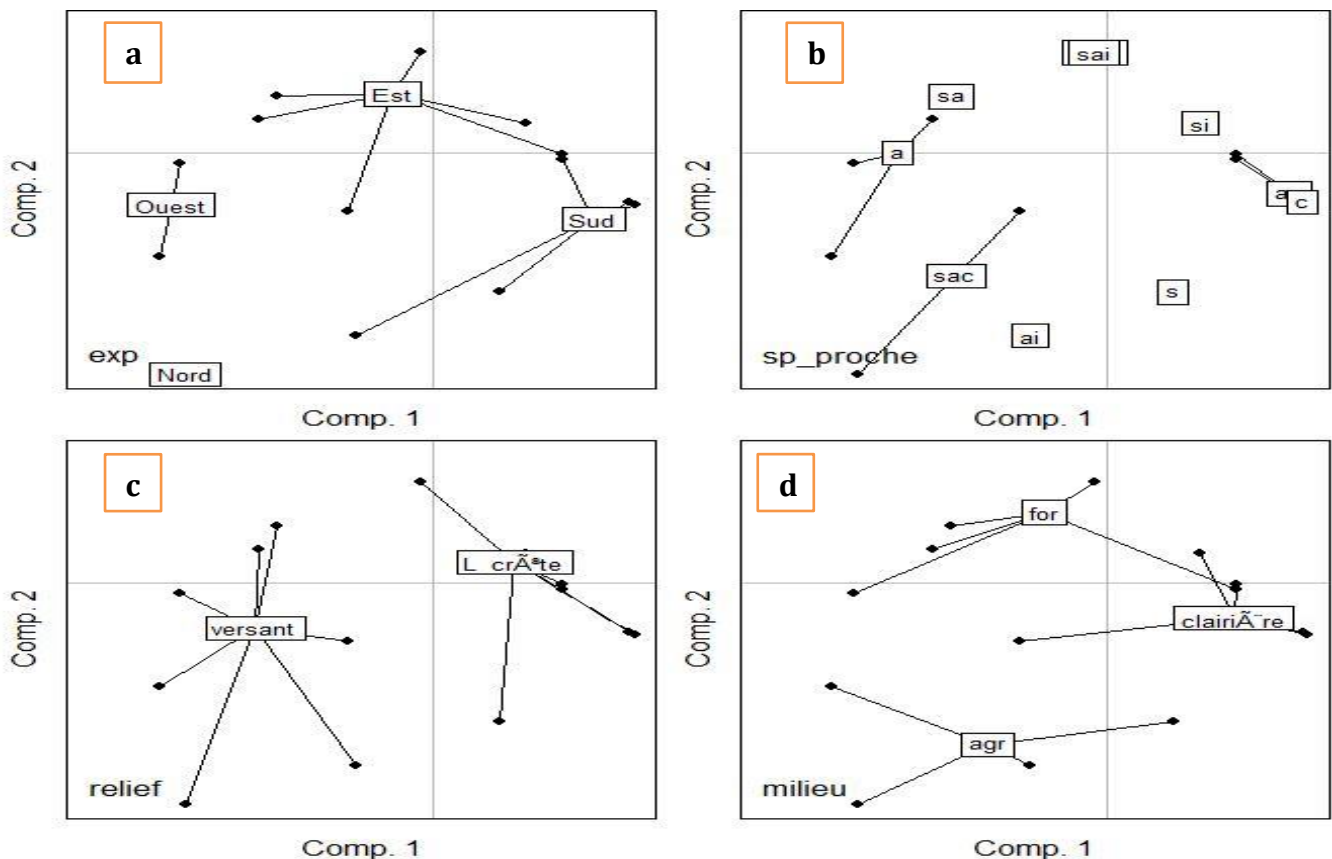
saci : *Quercus suber*+ *Quercus afares*+ *Quercus rotundifolia*+*Quercus canariensis*

sai : *Quercus suber*+ *Quercus afares*+ *Quercus rotundifolia*  
 si: *Quercus suber*+ *Quercus rotundifolia*

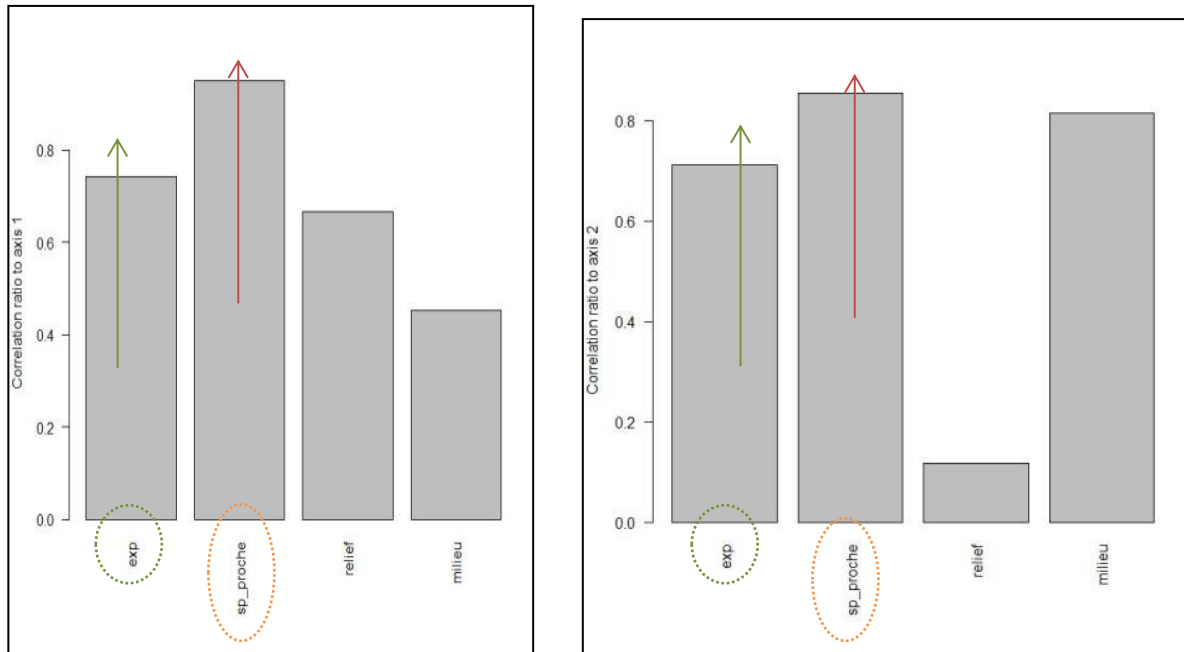
- Le relief: versant, ligne de crête.
- Le milieu: agricole, forestier, clairière.

Une analyse des correspondances multiples (ACM) a été mise en œuvre dans le but de déterminer les facteurs influençant les répartitions des effectifs d'hybrides inventoriés. Les résultats affichent des taux d'inertie acceptables des deux axes (35.37% pour l'axe 1 et 18.73 pour l'axe2). La Fig.22 présente la répartition des modalités de tous les facteurs. L'interprétation se base sur le fait que plus deux modalités de variables différentes sont proches, plus elles sont associées dans le jeu de données. Les Fig.22 (A-b-c-d)-23. indiquent les facteurs les plus contributifs en termes de poids.

La projection des facteurs-effet (exposition, espèce pure proche ; milieu, relief) variables sur le plan factoriel et l'analyse des contributions des individus permettent de dégager des divergences et des analogies (Fig.22). Par rapport à l'axe 1 et 2 ; l'exposition et l'espèce pure présente sont les facteurs pertinent qui déterminent la distribution des hybrides, ensuite les facteurs milieu et relief.



**Fig.22.** Analyse des correspondances multiples (ACM) de la répartition des modalités de tous les facteurs sur les deux premiers axes (35.37% pour l'axe 1 et 18.73 pour l'axe2). **a** : facteur exposition ; **b** : facteur espèce proche ; **c** : facteur relief ; **d** : facteur milieu.



**Fig.23.** Corrélations ratio de la répartition des modalités de tous les facteurs sur les deux premiers axes.

A travers la Fig.23 ; il apparait que pour l'axe 1, c'est **l'exposition et l'espèce proche** qui déterminent la répartition des hybrides. Pour l'axe2 c'est plutôt **l'espèce proche et le milieu**.

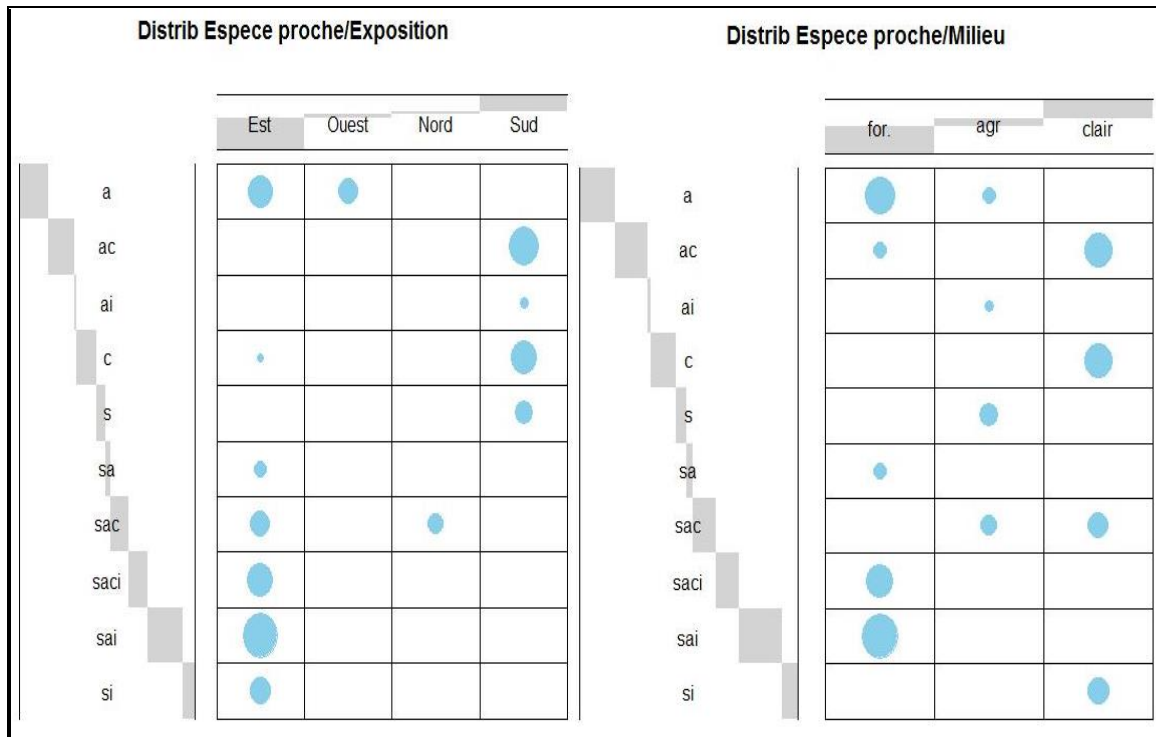
Les espèces hybrides suivent les espèces pures originelles, sachant que les exigences écologiques des espèces pures, telles que *Q. afares* et *Q. suber* ne se produisent que sur le calcaire, alors que *Q. canariensis* est indifférent au substrat. *Q. afares* et *Q. canariensis* poussent dans zones humides, voire froides exposition Est et Ouest méditerranéennes tandis que *Q. suber* est limité à la chaleur en zones méditerranéennes subhumides en exposition Sud. *Q. afares* a été rapporté à croître à partir de 200 m (dans les peuplements mixtes avec *Q. suber*) à 1200-1600m d'altitude où les peuplements mixtes avec *Q. canariensis* se trouvent, en particulier au-dessus de 700m. Tandis que *Q. rotundifolia* est considéré comme une espèce plastique qui montre une aptitude à s'accommoder aux conditions climatiques variées lui permettant ainsi de couvrir plusieurs zones à étages bioclimatiques différents. (Dahmani, 1984).

Les expositions sud, Ouest, nord apparaissent plus favorables à la croissance et au développement des chênes hybrides, Hasnaoui et *al.* (2004) ont montré que les facteurs environnementaux entraînent des modifications profondes du microclimat (rayonnement important, hygrométrie plus faible, etc.) et la régénération naturelle des semis. L'exposition détermine donc le climat local qui, à son tour Influence par ces derniers des facteurs environnementaux sur l'hybridation et la régénération naturelle des *Quercus* car une des raisons est que les périodes de floraison des trois espèces (chronologiquement *Q. canariensis*, *Q. afares*, *Q. suber* (Toumi et *al.*, 2006) ,(observations personnelle) ne se chevauchent généralement pas, favorisant l'accouplement au sein des espèces. Ces considérations soutiennent l'idée que *Q. afares* est une espèce stabilisée. (Mir et *al.*, 2006) . D'autres arguments incluent la production élevée de glands dans des populations mixtes (Avis personnel de Toumi et *al.*, données non publiées), une forte densité de semis sur sol forestier, une équivalente capacité concurrentielle des hybrides par rapport à leurs parents (espèces purs) dans les zones de contact et une meilleure condition physique en haute altitude et sur des sols appauvris (Boudy, 1950). Nous devrions noter bien que la présence des hybrides pourraient être plus favorable à remplacer les espèces pures (moins adapté à une telle altitude ou versant) (boudy ,1950)

En effet, le facteur exposition du terrain agit différemment sur la distribution des Chênes-hybrides à travers nos stations d'échantillonnage les expositions Nord, sud et Nord-Ouest indiquent plus d'effectif d'arbres hybrides que le reste des autres expositions. Cette présence a marqué surtout les expositions Sud, Sud-Ouest (chaud) (Fig.24); et pour l'exposition Nord-Ouest dont la fraîcheur constitue un facteur primordial au développement des chênes.

- **Effectif croisée exposition/espèce proche**

La distribution des hybrides apparait plus importante sur exposition chaude et avec les espèces pures: *Q.suber* et *Q. afares*. En effet, 95.7% des sujets se trouvent sur exposition sud, ouest et est, alors que 4.3% sont notés sur exposition fraîche. 56% des hybrides sont observés à coté de sujets de *Q. suber* et 76.7% à coté de *Q. afares*.



**Fig.24.** Analyse croisée exposition /espèce proche. Le relief: versant, ligne de crête .Le milieu: agricole, forestier, clairière.

Au vu des résultats obtenus, il existe une relation significative entre les facteurs environnementaux et la distribution des hybrides. (Exposition et espèces pures proches). La présence des hybrides est plus marquée sur exposition chaude tous en avoisinant le chêne afares et chêne suber qu'on suppose être des espèces clés pour le déroulement des hybridations.

Selon Jdaidi et *al.*, 2017 ; Les expositions nord apparaissent plus défavorables à la régénération naturelle par semis. L'action combinée de la chaleur et de la sécheresse estivale d'une part, et de la prédation d'autre part, est responsable de la régression de la régénération du chêne. L'exposition détermine donc le climat local qui, à son tour Influence des facteurs environnementaux sur la régénération naturelle du chêne et détermine la répartition des semis naturels du Chêne.

Les expositions chaudes ensoleillées (sud et ouest) apparaissent plus favorables à la régénération naturelle des hybrides (effectif = 97%). En effet, la distribution de ces derniers diminuent avec les versants Est, il est relevé un effectif moyen alors que le maximum est enregistré sur le versant sud, sud-ouest où la distribution est plus marquée ; car les semis des arbres peuvent bien trouver de meilleurs conditions de sol

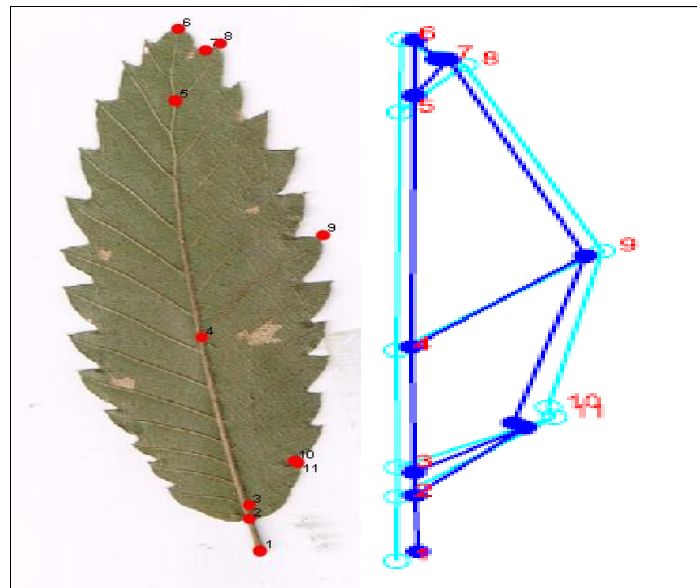
et d'humidité pour germer (Jdaidi et *al.*, 2017) . Pour Hasnaoui (1998), Même les fortes pentes (par exemple le site col Ait salah) sont défavorables à l'installation des glands.

Dans les bas-fonds, le sol est généralement riche, profond, et humide. Les fortes pentes peuvent aussi influencer la répartition des hybrides à cause de l'érosion active. En tombant, les glands ne trouvent pas les conditions favorables pour germer et s'exposent aux risques de destruction (déprédation et dessèchement). En effet, les stations à expositions Nord, à pentes modérées ou faibles et à hautes altitudes sont les stations les plus fertiles, les plus denses et les plus arrosées. Les résultats de cette étude ont montré que les facteurs exposition et espèce pure proche des hybrides influencent fortement sur la distribution de ces derniers. (Effet des facteurs environnementaux sur la structuration). Ceci indiquerait que la structure des espèces s'explique par l'environnement. Les variables environnementales qui ont été utilisées ont donc une forte influence sur la typologie des espèces hybrides inventoriés qui cohabitent fortement avec le chêne liège et le chêne afares. Ceci reste quand même à nuancer du faite de la quantité des données utilisées.

La distribution des hybrides a une relation directe avec les espèces pures avoisinantes pour s'hybrider au niveau de l'Akfadou. Les résultats de cette étude reflètent la dynamique de ces derniers inventoriés et qui reste très utile et très important pour les taxonomistes et les écologistes. Les données que nous avons exploré pourraient faciliter la recherche sur la taxonomie, phylogénie, et l'écologie des chênes ainsi que leurs hybrides en méditerranée.

# Chapitre 3- Capitulo3

Etude morphométrique des chênes purs et hybrides-  
Estudio morfométrico de robles puros e híbridos



### ***Introduction -Introduccion***

La diversité des chênaies actuelles résulte des changements climatiques du quaternaire, une succession d'une vingtaine d'alternances de périodes de glaciation et d'inter-glaciations (réchauffements) s'étendant sur les deux derniers millions d'années. Ces alternances se sont soldées par des cycles d'extinctions suivies de recolonisations qui ont sélectionné ou éradiqué certaines espèces (Kremer & Petit. 2001). La variation morphologique chez les populations naturelles est créée par le flux de gènes, la sélection naturelle, la plasticité phénotypique et la dérive génétique (González-rodríguez & Oyama. 2004). L'introgession ; transfert de gènes d'une espèce vers le pool génétique d'une autre espèce, génétiquement assez proche pour qu'il puisse y avoir inter-fécondation, a conduit à une prolifération de plusieurs hybrides fertiles à morphologies intermédiaires (Gellini & Grossoni. 1997 *in* Viscosi *et al.*, 2009).

Au début du XX siècle dernier, la biologie a entamé la transition depuis l'approche descriptive vers l'approche quantitative, ainsi la morphométrie a eu la même « évolution quantitative » (Bookstein. 1998 *in* Adams *et al.*, 2004). Les études morphologiques ont inclut des données quantitatives pour un ou plusieurs caractères mesurables, qui sont résumés en valeurs moyennes et comparés entre les groupes. Le développement de méthodes statistiques comme le coefficient de corrélation par Pearson (1895), l'analyse de variance par Fisher (1935) et l'analyse des composantes principales conjointement par Pearson (1901) et Hotelling (1933) a contribué à renforcer l'approche quantitative.

Au milieu du vingtième siècle, la description quantitative de la morphologie a été combinée à l'analyse statistique décrivant les caractéristiques de la variation intra- et inter-groupes, ainsi la morphométrie est entrée dans son ère moderne (Adams *et al.*, 2004). Dans les années 1980, la morphométrie a connu sa plus importante révolution avec l'invention des méthodes basées sur coordonnées cartésiennes de point (non plus sur des distances), la découverte de la théorie

de la conformation (Shape theory), et le calcul des grilles de déformation (Mitteroecker & Gunz. 2009).

Aujourd'hui, une théorie statistique révolutionnaire (Rohlf & Marcus. 1993) développée notamment par Kendall (1984, 1985, 1989) a permis l'usage combiné de méthodes statistiques multivariées et de méthodes pour la visualisation directe dans la forme biologique, qualifié par Bookstein (1996) de « synthèse en morphométrie ». Cette technique est dite « Morphométrie Géométrique ».

Cette nouvelle approche morphométrique est qualifiée de Géométrie car elle conserve l'intégralité de l'information géométrique durant l'analyse et permet ainsi de représenter les résultats statistiques sur l'espace de mesure d'origine de l'objet (Slice, 2007). Parmi plusieurs approches, la méthode procruste est la plus répandue et la mieux comprise dans ses propriétés mathématiques et statistiques (Bookstein, 1996; Small, 1996 ; Dryden & Mardia. 1998 ; Mitteroecker & Gunz. 2009).

Dans notre étude, les descripteurs morphologiques de la feuille (choix de 11 points repères selon Bookstein (1996)) sont retenus pour évaluer la variabilité morphologique. On a rajouté des études complémentaires qui portent sur la croissance et l'analyse de la morphologie foliaire au stade adulte (étude morphométrique) et semis issus des glands des espèces hybrides (étude biométrique et morphométrique des plants – chapitre .5). Une étude biométrique a été rajoutée pour cerner la différenciation entre les chênes de l'Akfadou dans les différentes stations (Chapitre biométrie, 4).

### **3.1.1. Phénomène d'hybridation chez les chênes-Fenomeno de hibridacion en robles**

L'hybridation est un flux de gènes interspécifique et un phénomène commun dans le genre *Quercus*, en raison de l'absence de barrières reproductives réelles (Burger, 1975; Spellenberg . 2014; González-Rodríguez *et al.*, 2000). Elle est aussi attribuée à des effets écologiques (Belahbib *et al.*, 2001; Boavida *et al.*, 2001; Petit *et al.*, 2003), et se produit fréquemment dans les zones à environnement propice où deux ou plusieurs espèces se chevauchent en leurs marges géographiques ou écologiques (Bacilieri *et al.*, 1996 ; Williams *et al.*,2001 ; Valbuena-Carabaña *et al.*, 2005). Les zones de chevauchement représentent des zones hybrides secondaires et impliquent que de vaste hybridation et rétrocroisements

(backcrossing) ou croisement d'un hybride avec l'un de ses parents ou avec un individu similaire sur le plan génétique y ont eu lieu (González Rodríguez & Oyama. 2004).

Dans les populations naturelles, une continuité morphologique a été observée dans les zones de chevauchement entre les espèces de chêne qui sont bien différenciées en dehors des régions sympatriques (Jensen *et al.*, 1993; Bacon & Spellenberg. 1996; Howard *et al.*, 1997; González-Rodríguez *et al.*, 2004). Cependant, les hybrides, tel que définis par assignation génétique, ne présentent pas nécessairement des morphologies intermédiaires, ainsi la morphologie intermédiaire ne désigne pas systématiquement l'hybridation. Ces résultats confirment la nature polygénique des différences morphologiques entre les espèces de chêne (Viscosi *et al.*, 2009b).

### **3.1.2. Variabilité morphologique-Variabilidad morfológica**

Les caractères morphologiques ont été le principal outil pour la classification taxonomique dans le genre *Quercus* de l'introduction de la taxonomie moderne par Linne au 18<sup>ème</sup> siècle jusqu'à la récente émergence de la génétique moléculaire. Le mot morphologie signifie l'étude des formes, elle comprend l'étude des parties constitutives d'une plante, de leur rapport les unes aux autres et à l'ensemble (Bouchon, 1979). Les différences de morphologie et d'anatomie des organes reproducteurs, les caractéristiques des feuilles, des bourgeons, des rameaux et des troncs (écorces) sont utilisées pour distinguer les espèces. La morphologie a été utilisée pour comparer et décrire les forêts tropicales humides (Sobrado et Medina. 1980; Medina *et al.*, 1990).

Les caractéristiques morphologiques et anatomiques des plants sont fortement influencées par les facteurs environnementaux associés au climat (la lumière, la quantité des précipitations...), le sol, le relief et l'altitude (Givnish, 1984) présentant ainsi une plasticité.

L'hybridation et l'introgession génétique produisent a 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). La variabilité de la morphologie des feuilles est évoquée dans la distinction des espèces forestières entre elles comme dans le genre *Quercus* (Dupouey et Badaeu. 1993; Jensen *et al.*, 1984; Bacileri *et al.*, 1995; Borozan et Bobac. 2003; Kremer *et al.*, 2002; Boratynski *et al.*, 2008; Viscosi *et al.*, 2010). Dans ce genre et quand on n'a pas accès aux traits reproducteurs (fleurs, graines), les traits foliaires

sont importants dans les classifications des espèces (Stace, 1989) , comme ils sont les parties les plus facilement accessibles des arbres et faciles à mesurer avec l'utilisation des accessoires électroniques et des logiciels ont été récemment utilisées avec succès dans différentes études biométriques (Dupouey *et* Badeau. 1993; Kleinschmit *et al.*, 1995; Kremer *et al.*, 2002; Viscosi *et al.*, 2009, 2010 et 2011; Neophytou *et al.*, 2011).

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 descendances hybrides sur des croisements contrôlés (Kleinschmit *et al.*, 1995; Bacilieri *et al.*, 1995; Ito, 2009). Zohary (1952) a utilisé la morphologie des feuilles, spécialement la forme, le nombre ainsi que la taille et l'orientation des folioles comme premier caractère morphologique dans la classification des espèces de *Pistacia*. Pour d'autres auteurs, la reconnaissance des espèces sur la base de différences morphologiques est parfois difficile vu que les différences morphologiques peuvent être tellement faibles que des espèces ne sont pas distinguées (Lepais, 2008; Mayr, 1992).

La morphologie des feuilles est liée aux gradients environnementaux (Geeske *et al.*, 1994) et au contenu en nutriments foliaires (Medina *et al.*, 1990). Plusieurs études ont documenté des associations significatives entre la variation dans la morphologie des feuilles et des facteurs environnementaux spécifiques des espèces végétales (Cardillo et Bernal. 2006; Uribe-Salas. 2008, Bussotti *et al.*, 2000).

### **3.1.3. Durée de vie foliaire-Vida de la hoja**

Parmi les traits qui déterminent l'adaptation des espèces végétales à leur milieu, la phénologie qui correspond à l'étude de l'apparition d'évènements biologiques cycliques en relation avec les variations saisonnières du climat, joue un rôle essentiel (Schwartz, 2003).

La levée de la dormance et le développement des feuilles sont sous la dépendance de facteurs endogènes et exogènes. Les facteurs exogènes les plus importants semblent être les températures hivernales et printanières ainsi que la photopériode (Vitasse *et al.*, 2009). La durée de vie des feuilles est un trait fonctionnel quantitatif (Reich *et al.*, 2003), elle varie entre les espèces allant de quelques semaines à des années. (Cornelssen *et al.*, 2003) ont défini la durée de vie comme la période pendant laquelle une feuille ou une partie de la feuille est vivante et physiologiquement active. En dehors de la systématique, la longévité foliaire

permet de classer les plantes en deux groupes principaux: Les espèces sempervirentes, littéralement les plantes «toujours vertes», et les espèces décidues, qui sont dépourvues de feuilles pendant une partie de l'année. On appelle généralement plantes sempervirentes, celles dont les feuilles ont une durée de vie supérieure à un an, et plantes décidues celles caractérisées par une longévité foliaire inférieure à un an. Cependant, certaines espèces ont une longévité foliaire moyenne inférieure à un an mais sont sempervirentes parce qu'elles produisent et perdent des feuilles de manière asynchrone tout au long de leur vie (Kikuzawa, 1991). La durée de vie des feuilles varie de façon importante selon les formes de vie entre les groupes taxonomiques et le long de gradient de succession (Reich *et al.*, 1992; Navas *et al.*, 2003).

Les espèces rencontrées dans les milieux les plus riches en nutriments (milieux reproductifs) tendent à avoir des stratégies orientées vers l'efficacité de capture des ressources, elles sont caractérisées par une durée de vie des feuilles courtes et des taux de photosynthèse et de respiration élevés (Wilson *et al.*, 1999; Cruz *et al.*, 2002; Wright *et al.*, 2005). Ces différences entre espèces correspondent à un compromis entre les traits qui maximisent le taux de photosynthèse et ceux qui maximisent la rétention des éléments (Reich *et al.*, 1999). De même, la durée de vie des feuilles est corrélée à la surface spécifique foliaire (SLA). Des études ont montré que SLA est positivement corrélée à la capacité photosynthétique, à la teneur en azote foliaire par unité de masse (respectivement  $A_{mass}$  et  $N_{mass}$ ) et négativement corrélée à la durée de vie foliaire (Reich *et al.*, 1997; Wright *et al.*, 2004). Ainsi, les espèces à SLA élevé présentent des stratégies de production rapide de matériel foliaire et un renouvellement fréquent des feuilles. Elles sont efficaces dans l'acquisition des ressources, mais peu dans la conservation des nutriments dans leurs tissus. Cavender-Bares *et al.* (2005) ont mis en évidence une relation entre la durée de vie des Feuilles, les propriétés anatomiques du xylème et les caractéristiques hydrauliques des chênes à feuilles caduques (*Quercus canariensis*, *Q. afares*) et d'autres à feuilles persistantes (*Q. rotundifolia*, *Q. suber*). En effet, ils ont montré que *Q. rotundifolia* (espèce sempervirente) était l'espèce ayant la plus longue durée de vie des feuilles dont le diamètre des vaisseaux du xylème les plus étroits, et montrant la plus forte tolérance au gel. Cela contribue à expliquer sa capacité de peupler une large gamme dans la région méditerranéenne (Mhamdi *et al.*, 2013). En revanche, l'incapacité des chênes à feuilles caduques à maintenir leurs fonctions photosynthétique et vasculaire pendant la période hivernale indique un des avantages concurrentiels qui peut les empêcher à élargir leur aire de répartition (Mhamdi *et al.*, 2013). Une longue durée de vie des feuilles, ne sera réellement

avantageuse pour la plante pour limiter la perte en nutriments que si elle n'est pas soumise à une défoliation fréquente (Ryser et Urbas. 2000).

### **3.1.4. Méthodologie d'étude Morphométrique des chênes –Metodologia de estudio morfométrico de robles**

L'étude d'une espèce selon les méthodes botaniques traditionnelles (descriptives) prennent en considération aussi bien les aspects généraux de l'espèce (port, l'écorce, feuilles, chatons, glands..) que les caractères particuliers des organes (nervations, lobes, insertion des feuilles ...). La feuille étant un organe discriminatoire (très diversifié), il est largement utilisé pour identifier les espèces. La diversité foliaire du genre *Quercus* est particulièrement prononcée.

#### **▪ Choix de la Feuille comme matériel végétale- Elección de la Hoja como material vegetal**

La grande diversité morphologique botanique commence avec la forme des feuilles. Ces dernières sont présentes chez toutes les plantes terrestres, se trouve en grande quantité dans les fossiles, et se préservent très bien dans les herbiers (Krieger, 2010). Elles sont disponibles pour examen pendant une grande partie de l'année pour les feuillus (plantes annuelles) ou toute l'année chez les plantes vivaces (feuilles persistantes), à la différence des organes reproducteurs plus éphémères. Ainsi, les caractères des feuilles, y compris ceux impliquant la forme, ont été largement utilisés dans les clés d'indentification en taxonomie traditionnelle pour l'identification des plantes depuis les débuts de la botanique (Cope *et al.*, 2012).

En plus des avantages cités ci-dessous, d'autres facteurs font de la feuille un organe intéressant pour la morphométrie. Premièrement, la feuille a le plus grand pouvoir discriminant. Chez le chêne, les botanistes se servent de ces différences pour identifier les hybrides des espèces pures. Deuxièmement, la feuille peut être facilement numérisée via un scanne (voir Fig. 25), vue sa surface plane, elle constitue un matériel végétal de choix pour les méthodes automatisées ou semi-automatisée. Enfin, la possibilité de comparer les résultats actuels à ceux des anciennes références constitue un argument de taille ; la feuille est l'un des plus anciens organes étudiés par les botanistes.



**Fig.25.** Photos des échantillons de feuilles récoltés séchées. (akli.1.3- photo des échantillons de feuilles des hybrides de la station Tala kitan.2.3.photo de l'échantillon d'une feuille de chêne zéen station vide Mehaga).

### ▪ Variation morphologique des feuilles des chênes

La grande variabilité inter- et intra-spécifique de la feuille peut fausser la perception de la variabilité des individus (Bruschi *et al.*, 2003). Cette diversité a suscité beaucoup de travaux portant sur les différences d'anatomie et de morphologie foliaire notamment inter-populationnelles (Dupouey & Nancy. 1993; Bruschi *et al.*, 2003), mais peu a été fait pour examiner ces relation à l'échelle inter et intra arbres.

Cependant, certains travaux ont abordé ces relations qui ont trouvé que la variabilité inter-arbre est généralement supérieure à la variabilité intra-arbre (Bruschi *et al.*, 2003). Constat non retrouvé chez les hybrides. Un haut degré de variation intra-arbres de la morphologie foliaire et des caractères végétatifs chez les chênes sont largement reconnus notamment par Blue & Jensen (1988). Ce large éventail de variation peut souvent compliquer l'interprétation de la comparaison des arbres de la même espèce. Baranski (1975) in Blue & Jensen (1988) stipule que le positionnement interne ou externe de la feuille sur la branche est la principale source de variation au sein d'un même arbre. Il rapporte que la position et la hauteur des feuilles sur le houppier sont également source de variation. Cependant, cette variabilité décrite au sein d'un arbre peut varier d'un sujet à un autre. Par ailleurs, d'autres travaux basés sur les

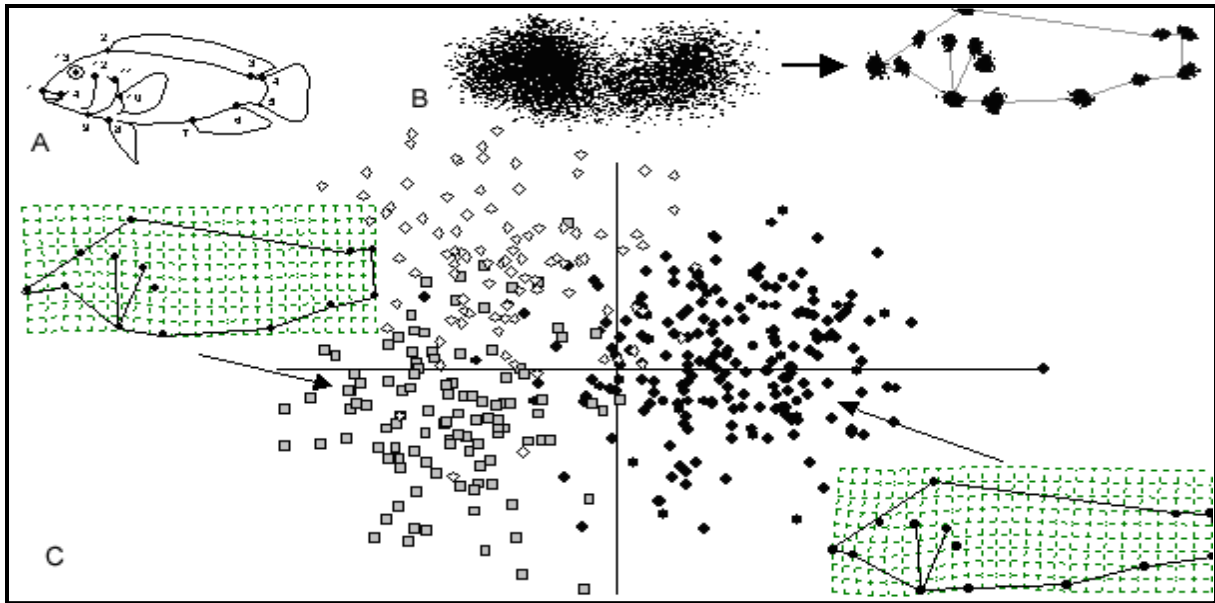
mesures linéaires montrent une différenciation prononcée entre les arbres et les saisons. Le nombre de lobes et de cils et l'angle d'insertion des nervures principales est relativement constant à travers les arbres et les saisons (Bruschi *et al.*, 2003). Cependant, ce ne sont pas tous les caractères qui présentent une tendance similaire.

- **Concepts de Conformation « Shape » et de Forme « Form »**

La morphométrie géométrique (MG) repose sur l'analyse de variation des conformations et de leur co-variation avec d'autres variables (Bookstein, 1991; Dryden & Mardia. 1998). Avant de pouvoir aborder en détail cette morphométrie moderne ou MG, il est nécessaire de définir le concept de « Conformation » (« Shape ») et voir quelle est la différence entre celui-ci et le concept de « Forme » (« Form » en Anglais). La distinction entre ces deux est le fondement de la MG.

- **Méthode des Points-Repères (Landmarks)**

Au contraire des distances et des angles, les coordonnées des points-repères relevées dans un système d'axes le plus souvent arbitraire, ne peuvent pas être utilisées telles quelles. Des étapes spécifiques sont nécessaires à cette discipline. Un résumé du cheminement classique suivie lors de l'application de la méthode des Points Repères est donné ci-dessous : (1) Choix du nombre et du type de PR homologues ; (2) Enregistrement des PR de tous les spécimens, Fig.26 .A ; (3) Superposition, extraction des variables de la conformation Fig.26.B ; (4) Analyse statistique des PR ; et (5) Enfin, la visualisation des résultats Fig.26.C.



**Fig.26.** Représentation des quatre étapes de la morphométrie géométrique, source (Adams *et al.*, 2004). A, Enregistrement des PR. B Suppression de la variation qui n'est pas due à la conformation (Superposition procruste). C, Analyse statistique (analyse canonique) et représentation graphique des résultats (grilles vertes). Les grilles de déformation illustrent les différences de conformation entre deux espèces de poissons.

### ▪ Types de Points-Repères

Il est possible de comparer deux attributs biologiquement homologues si seulement les mesures sont effectuées sur des points homologues aux deux feuilles ; il n'est pas suffisant de mesurer la longueur et la largeur maximales (Jensen, 1990 ; Elewa, 2010). Ainsi, pour comparer deux conformations, ou mieux pour cartographier les changements d'une conformation à une autre, une définition correcte de ces points est indispensable pour légitimer la comparaison des conformations de différents objets biologiques (Bookstein, 1991).

Les points-repères doivent être définis au préalable sur des éléments précis et homologues des structures biologiques. En effet dans le cadre de la théorie de l'évolution, les seuls éléments comparables entre différents organismes sont des éléments homologues, c'est à dire des éléments hérités d'un ancêtre commun et qui sont donc susceptibles de traduire l'histoire évolutive des organismes qui les portent (Bookstein, 1991; Mitteroecker & Gunz. 2009 ; Perrard, 2012).

La conformation d'un objet étant définie par la position relative des points-repères qui la composent, il est préférable de maximiser le nombre de points-repères de type I de façon à optimiser la comparaison avec d'autres conformations de structures similaires (Perrard, 2012).

### ▪ **Analyse statistique des PR**

L'objectif fondamental des analyses statistiques est le traitement d'un nombre réduit de valeurs ou variables qui résumerait significativement un nombre de données. En morphométrie, ceci implique l'estimation de la conformation moyenne et la co-variation des échantillons autour de cette moyenne (Slice, 2007). La MG, fournit des descriptions et des techniques d'analyse statistique de la variation de la conformation intra et/ou inter-organismes. Elle s'occupe aussi de l'analyse du changement de conformation comme résultat de la croissance, d'un traitement expérimentale ou de l'évolution (Rohlf & Marcus. 1993). Des expérimentations faites par Rohlf (2003) afin de voir les erreurs et les biais dans l'estimation de la conformation moyenne produite par les différentes méthodes de MG, ont prouvé que les analyses procrustéennes généralisées (Generalized procrustes analysis) sont celles qui produisent le moins d'erreurs et ne présentent pas de biais.

L'analyse des composantes principales joue un rôle clé. Avec un seul échantillon homogène, l'ACP pourrait être considérée comme un estimateur de quelques caractéristiques paramétriques de la structure de la population. L'ACP est aussi une technique de réduction de la dimension qui identifie une combinaison orthogonale linéaire des variables d'origine, qui reproduit efficacement la variabilité de l'échantillon. Cette dernière, est particulièrement importante en recherche morphométrique à cause du nombre de variables de conformation à analyser qui peut être très large et souvent dépasse la taille des échantillons. (Slice, 2007). L'ACP est une des manières de résoudre ces deux problèmes en utilisant seulement les scores sur un nombre réduit de composantes principales dans de prochaines analyses [l'utilisation des scores des déformations partielles (relative warp scores) incluant des composants uniformes (Rohlf & Bookstein. 2003).

#### **3.1.5. Matériel et méthodes-Material y métodos**

L'échantillonnage, a été effectué dans la forêt de l'Akfadou sur 13 stations principalement (voir Tabl.5 et détails chapitre2. Zone d'étude). Le nombre d'arbres échantillonnés est différent d'une station à une autre selon la présence supposés d'hybrides. Des feuilles de chêne d'individus morphologiquement différents de ceux des espèces « pures » ont été échantillonnées sur la même hauteur et dans les quatre côtés d'orientation de l'arbre, la hauteur de récolte est la même pour tous les échantillons, Ceci afin d'éviter le dimorphisme dû à l'exposition des feuilles.

Matériel végétal : les feuilles ont été séchées puis scannées sur la surface abaxiale, ;en utilisant un scanner Brother MFC-J825DW avec une résolution de 300dpi. Toute la procédure de collecte de données (acquisition et numérisation de points repères) sur l'échantillon de feuilles a été répétée deux fois pour estimer l'erreur de mesure. Les images numérisées ont été utilisées pour enregistrer 11 points repères à la moitié droite de chaque feuille (Viscosi *et al.*, 2009).

**Tabl.5.** Description des stations échantillonnées. X : nombre de chênes échantillonnés.

Stations	Altitude (m)	exposition	pente %	Données géographiques		Nombre d'arbre échantillonnés (Morphometrie)				
				LATITUDE	LONGITUDE	S	C	A	R	H
LN	1360	Est	15%	36°41'47,74"N	4°35'56.99"E	1		1		2
AS	1220	Sud	18%	36°36'54,35"N	4°30'50.58"E		2			4
CA	1391	Sud	35%	36°37'4,58"N	4°31'30.67"E					2
VM	1160	Sud-West	25%	36°40'59,68"N	4°33'45,12"E		3	3		4
TK	1091	Est	7%	36°40'28.36"N	4°33 '35.81"E		2	3		4
AK	1324	Est	10%	36°37'31,29"N	4°31'52.69"E	2	2	3	2	3
CK	1327	Est	15%	37°37'19,0"N	4° 32'14,5"E		1			2
HO	1032	Sud	12%	36°35'20,93"N	4°31'1.99"E					2
YA	736	Nord	10%	36°44'56,88"N	4°26'9.10"E	1		1		3
CY	1166	Est	20%	36°41'14,82"N	4°35'41.44"E			3		4
IN	1126	Sud	17%	36°40'34,67"N	4°33'20.26"E	1				2
AI	1098	Est	10%	36°38'8,14"N	4°31'4.12"E	1		2	3	1
AD	1098	Est	11%	36°38'8,16"N	4°31'4,15"E	5			2	3
MV	892	Sud-west	35%	36°40'36,84"N	4°32 '26.42"E			1		2
SH	1050	Nord-ouest	20%	36°41'45,52 "N	4°30'23.45"E			3		
DA	1087	Nord-est	14%	36°40'38,98"N	4°33'38.98"E					3
<b>Total: 16 plots-stations</b>						Stands				

S : *suber* ;A :*afares* ;C: canariensis ;R :rotundifolia ;H :hybrids. LN-lac noir - AS- Ait Salah CA- Col Ait Salah VM- Vide Mehaga- TK: Tala Kitan AK- Akfadou- CK : Col Akfadou AD-Adrar -MV: Mehaga village SH-- Sidi El Hadi -DA: Damous .

### 3.1.6. Choix des points-repères selon Bookstein-Elección de puntos de referencia según Bookstein

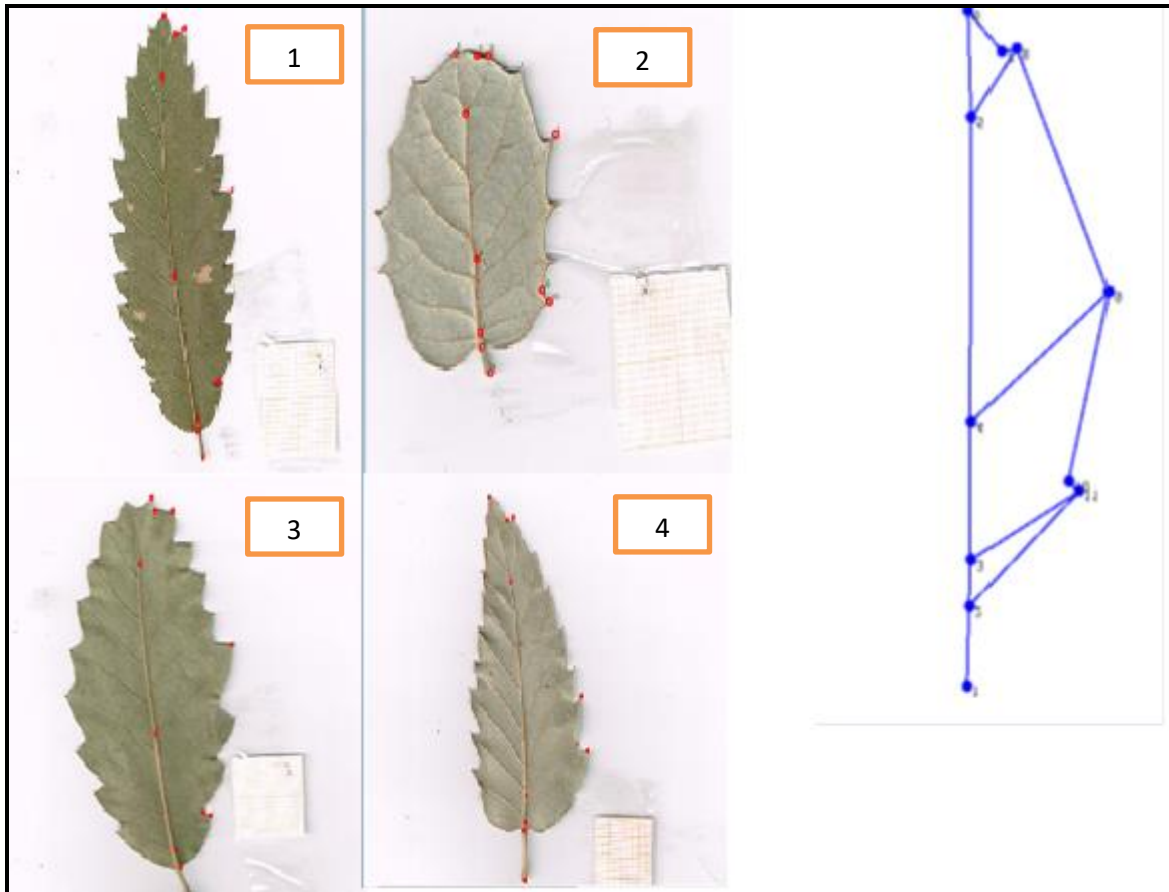
Le concept de géométrie de la forme, permet la description de la forme à l'aide d'une série de points homologues d'un objet à l'autre pris dans un espace à deux ou trois dimensions, tout en s'affranchissant des paramètres de taille. Ces points sont dit homologues, car ils doivent être les mêmes sur toutes les feuilles de tous les arbres afin de permettre la superposition procrustéenne.

Sur chaque feuille, 11 points repères ont été choisis suivant le protocole réalisé par (Viscosi & Cardini. 2011). Ce protocole publié en 2011 est le résultat de précédents travaux effectués par le même auteur sur la morphologie du chêne. Dans ce protocole, les points choisis ont montré une bonne représentation des feuilles de chênes Italiens, ceci ne suppose pas la même efficacité sur les chênes de l'Akfadou (Fig.27). Pour trouver les PR optimaux, des études approfondies et récurrentes sont nécessaires. Les points d'intérêt sont repérés sur la face inférieure de la feuille. Cette étape est cruciale pour le reste de l'étude, en effet un mauvais choix peut conduire à l'absence de différence morphologique entre les individus alors que celle-ci existe ou le contraire. Ces erreurs sont appelées en statistique erreur  $\alpha$  (Alpha) ou erreur  $\beta$  (Beta).

**Tabl.6.** Description des Points Repères choisis et leur type selon Bookstein.

Points repères	Description	Type*
1	Début du pétiole	III
2	Base du limbe	I
3	Intersection entre la nervure principale et la première nervure secondaire complète	I
4	Intersection entre la nervure principale et la nervure secondaire la plus longue (largueur maximale de la feuille)	I
5	Intersection entre la nervure principale et la dernière nervure secondaire complète.	I
6	Apex du limbe	II
7	Base du premier sinus entre l'apex et le dernier lobe (Landmark 8)	II
8	Dernier lobe	I
9	Lobe le plus large	I
10	Base du premier sinus en partant de la base du limbe	II
11	Premier limbe	I

\*Type de landmarks selon Bookstein



**Fig.27.** Choix des points repères. Position des PR sur les feuilles (Gauche) (1. feuille, représentation schématique permettant de reconnaître la configuration de points (Droite).1.échantillon de feuille d’hybride de la station Yakouren; 2. échantillon de feuille de chêne vert d’Akkfadou. 3. échantillon de feuille du chêne afares ; 4. échantillon de feuille de chêne liège de la station Ait aicha.

### 3.1.7. Préparation des examens de données- Preparación para las revisiones de datos

Contrairement aux distances en morphométrie traditionnelle, les coordonnées des points-repères relevées sur un système d’axes le plus souvent arbitraire, ne peuvent être utilisées. Depuis l’acquisition jusqu’au traitement statistique, il est nécessaire de passer par des étapes intermédiaires faisant appel à de nombreux logiciels, à savoir :

- Brother Scan, pour le scan des feuilles et création d’un fichier image ;
- Microsoft Paint, pour couper les images initiales en images prêtes à être exploitées ;
- TpsUtil (Rohlf 2004b), pour créer des fichiers « .tps » où les points-repères pourront être numérisés ;
- TpsDig (Rohlf 2004a) pour numériser les PR ;
- TpsSmall (Rohlf 2003b) pour l’approximation du « preshape » par l’espace tangent ;
- MorphoJ (Klingenberg , 2011) pour l’analyse des données.

### **A. Nombre de feuilles par arbre**

Au final, pour chaque arbre, 10 feuilles ont été retenues pour la numérisation. Chaque feuille est numérisée deux fois pour diminuer l'erreur de numérisation due à la manipulation. Donc, en tout 20 images par arbres sont retenues. Ce choix est motivé par deux arguments essentiels.

- Le temps nécessaire pour la numérisation de 11 Points-Repères sur 20 images ;
- L'étude faite par (Viscosi *et al.*, 2009a) a retenu seulement dix feuilles et les résultats étaient concluants.

### **b. Elimination des valeurs aberrantes**

Une des premières étapes de la plupart des analyses est d'examiner la nouvelle base de données vis-à-vis des valeurs aberrantes et éventuellement y remédier. MorphoJ dispose d'une interface spécifique à cet effet qui permet de voir si un PR a été mal numérisé. Par exemple ; deux PR inter-changés.

#### **3.1.8. Superposition procrustéenne des feuilles- Capas de hojas de Procasto**

Généralement, la première étape après le téléchargement de la base de données contenant les points repères sur MorphoJ, est d'effectuer un nouveau « Ajustement Procrustéen » (new procrustes fit). MorphoJ se base sur l'ajustement procrustéen totale (full procrustes fit) pour effectuer une projection orthogonale des données sur l'« espace tangent » (tangent space) (Dryden & Mardia.1998). Généralement, il existe peu de différences entre les méthodes d'ajustement procrustéennes (partielles et totales), mais pour les données ayant une large variabilité, l'ajustement procrustéen totale met moins de pondération pour les observations qui sont loin de la conformation moyenne (consensus). Ainsi cette méthode est plus robuste vis-à-vis des données aberrantes. (Lateb, 2016).

#### **3.1.9. Calcul de la matrice de Covariance- Cálculo de la matriz de Covarianza**

Les matrices de covariance, sont utilisées dans un large éventail d'analyses morphométrique, pour exemple l'analyse en composante principale. Pour générer des matrices de covariance, une ou plusieurs bases de données sont nécessaires.

MorphoJ peut générer des matrices de covariance de bases de données de conformation après la superposition procrustéenne. Il est également capable de calculer les matrices de covariance

intra-groupe commune, comme une estimation conjointe de la variation au sein de plusieurs groupes (Lateb, 2016).

### **3.1.10. Analyse Canonique-Análisis Canónico**

En morphométrie géométrique, l'analyse canonique est utilisée pour trouver la caractéristique morphologique qui sépare le mieux des groupes de spécimens. Elle fait partie de l'analyse discriminante, qui est elle-même une technique statistique qui vise à décrire, expliquer et prédire l'appartenance à des groupes prédéfinis (classes, modalités de la variable à prédire...) d'un ensemble d'observations (individus, exemples...) à partir d'une série de variables prédictives (descripteurs, variables exogènes...).

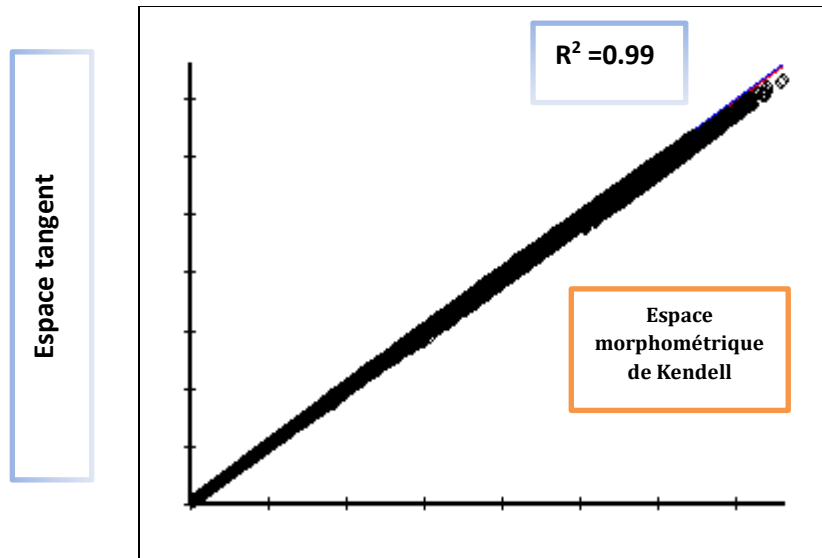
L'analyse discriminante (AD) examine le degré d'éloignement entre deux groupes d'observations.

## **3.2. Résultats des mesures de morphométrie et discussions -Resultados de las mediciones morfométricas y discusiones**

### **3.2.1. Vérification des données**

- **Approximation de l'Espace tangent par « Kendall's shape-space »**

L'approximation de l'espace tangent a été testée avec Tps small. La pente de régression des distances euclidiennes dans l'espace tangent sur / les distances de conformation procruste dans l'espace de conformation incurvé de procruste est de 0.996 avec une corrélation avoisinant 1(0.999) (Fig.28). La moyenne des distances de conformation de procruste est de 0.128 et le maximum est de 0.297. Ces résultats nous montre que l'approximation est excellente, nous sommes donc en mesure d'appliquer les autres analyses. (Voir Fig.28).

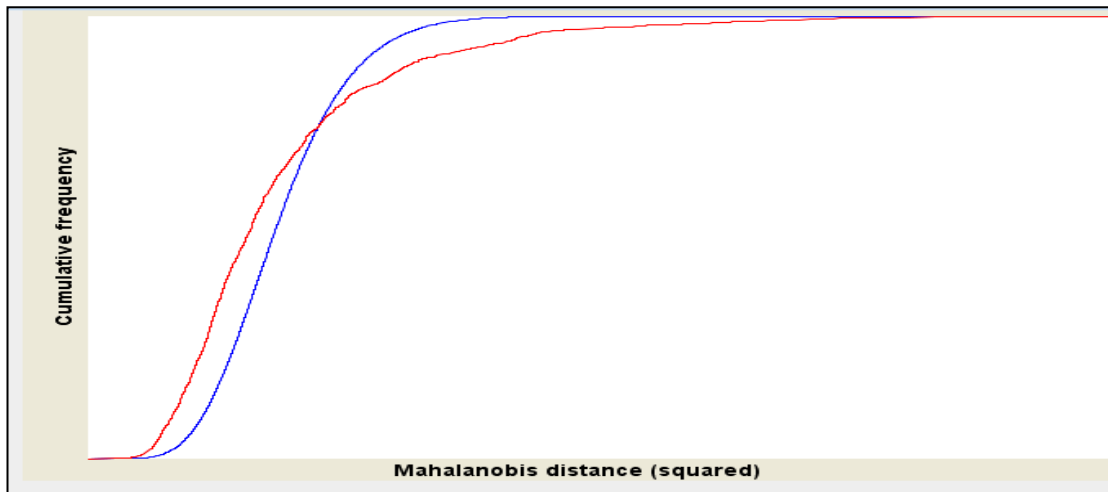


**Fig.28.** Courbe de régression entre l'espace morphométrique de Kendall (Kendall shape-space) et l'espace tangent.

#### ▪ Vérification des valeurs aberrantes des chênes inventoriés

L'analyse des valeurs aberrantes, se base sur la visualisation du diagramme de la distribution cumulative des distances des échantillons individuels de la forme moyenne de l'échantillon complet (Fig.29). La courbe bleue est celle prévue pour une distribution normale multivariée ajustée aux données, tandis que la courbe rouge est la distribution des distances dans l'ensemble des données. La distance de mahalanobis au carré est utilisé dans ce cas (Klingenberg & Monteiro. 2005). La distance de mahalanobis fournit une indication de la manière dont un individu est inhabituel par rapport aux autres dans l'échantillon (les échantillons plus grands).

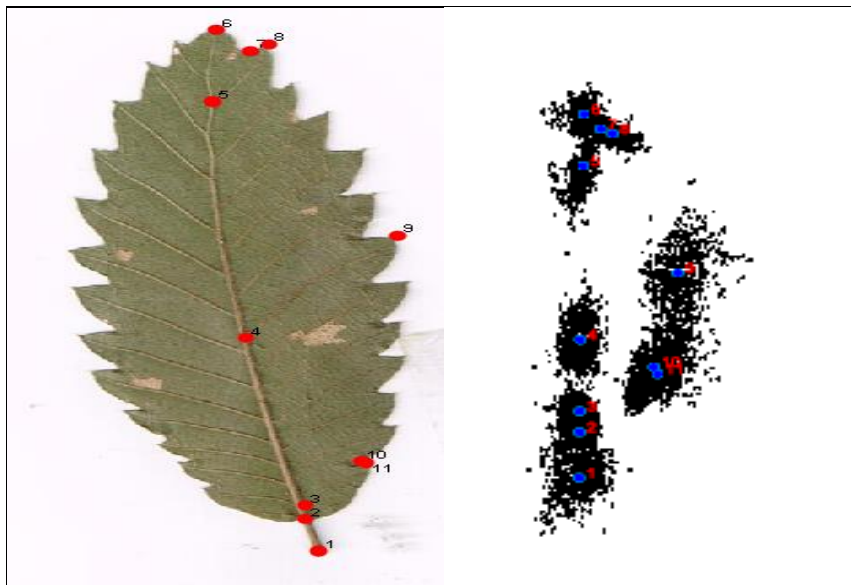
Ce schéma ne doit pas être pris que comme une indication approximative de la qualité des données. On ne devrait pas s'attendre à ce que les données aient exactement une distribution normale multivariée, car beaucoup de bases de données morphométrique ne sont pas conformes à cette distribution (distributions à longue queue). Toutefois, on s'attend à un schéma où la ligne rouge est tendue vers la droite en haut du diagramme, indiquant qu'il y a un ou quelques échantillons qui s'écartent fortement des autres (Klingenberg & Monteiro. 2005). Ainsi, il est aisé de conclure que les données n'ont pas de valeurs aberrantes. Cependant quelques données ont été réajustées car elles étaient mal numérisées (voir Fig.29).



**Fig.29.** Diagramme de la distribution cumulative des distances des échantillons individuels de la forme moyenne de l'échantillon (des 13 stations inventoriées).

▪ **Superposition procrustéenne des feuilles des chênes inventoriés**

La superposition des procrustes dans Morpho J, nous donne le graphe illustré par la Fig.30. Les points repères consensus montrés en bleu sur la Fig.30, sont entourés chacun d'un nuage de points représentant les différentes coordonnées de tous les spécimens. Les points avec un nuage compact et sombre, nous renseignent que les points ont des coordonnées rapprochées alors que le nuage étalé et diffus nous indique que les coordonnées s'éloignent du consensus.



**Fig.30.** Superposition procrustéenne généralisée de tous les échantillons (à gauche) position des points repères sur une seule feuille issue d'un hybride (station Yakouren) ;(à droite) conformation moyenne (consensus) représenté par les points en bleu, et PR de l'ensemble des échantillons en noir.

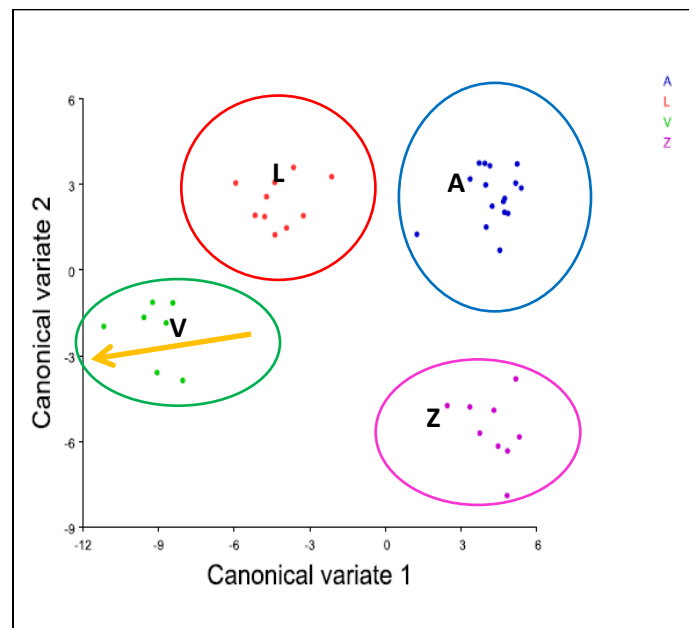
### 3.2.2. Tests de discrimination des espèces et de différence de population/variable canonique-Discriminación de especies y pruebas de diferencias poblacionales/variable canónica

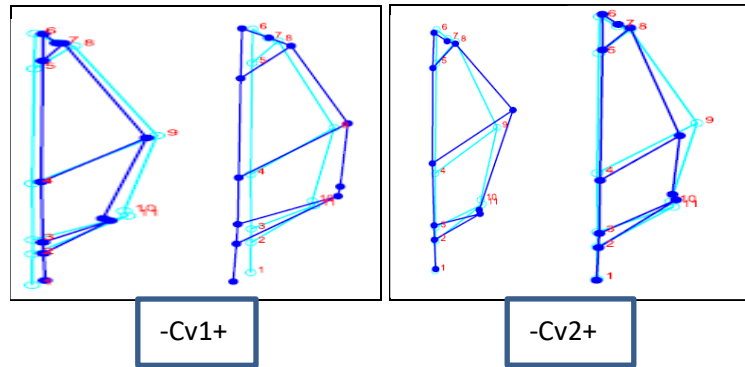
- **Analyse canonique des espèces pures et hybrides de chêne :**

- **espèces des chênes purs**

Le diagramme des analyses canoniques (Fig.31) montre la ségrégation des groupes en fonction des conformations moyennes par arbre de la même espèce le long de l'axe 1 et 2. Les espèces sont discriminées significativement et ces deux axes expliquent à eux seuls 93% de variation. Notons que pour cette analyse, seules les espèces supposées pures sont prises en considération et chaque point est représenté par une moyenne une moyenne de chacun des arbres de chaque station. Chaque point représente un arbre dans les des différentes stations inventoriées. (Average st-es-arbre/average par arbre).

De ce diagramme ressort des ressemblances interspécifiques. Ces ressemblances se caractérisent par apparition de groupes distincts des quatre espèces échantillonnées qui suit correctement la variation de la forme de la feuille. Il est noté que la forme de la feuille du chêne vert est proche du chêne liège et le chêne afarès proche du chêne zéen ce qui nous montre bien la différence morphologique des différents chênes.



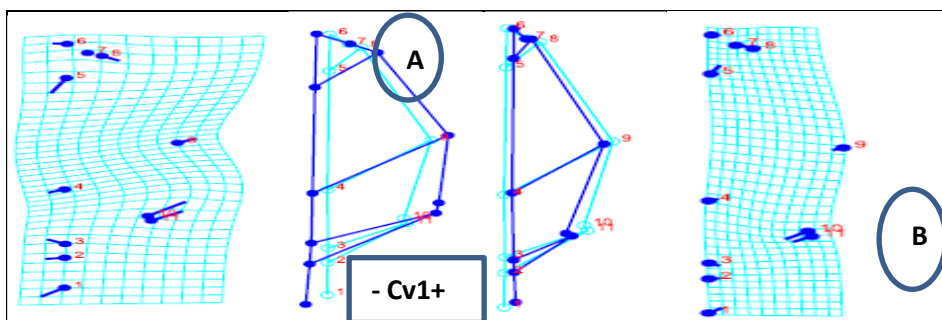


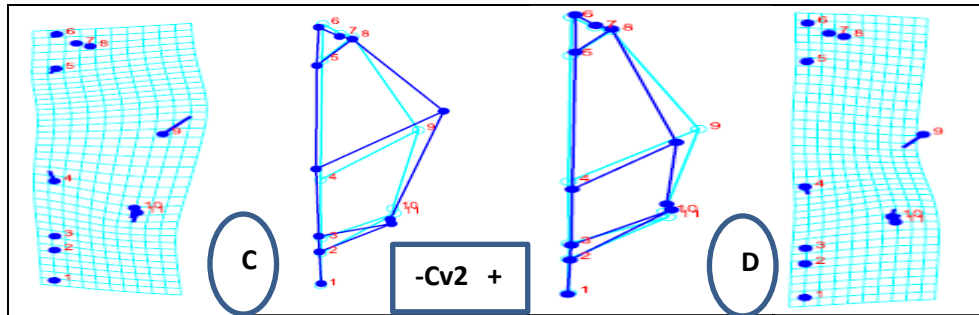
**Fig.31.** Projection des espèces de chênes selon axe 1 et 2 de l'analyse canonique pour les espèces pures (*Q. afares*- *Q. canariensis*-*Q. rotundifolia*-*Q. suber*) / (average station-espèce-arbre).

(A : afares ; V : rotundifolia ; L : S : suber ; Z : canariensis). (CV1=66.93%, CV2=26.12%).

Les conformations foliaires des sujets à travers les différentes stations (Akkfadou, Yakouren, ait Salah, ait Aicha) des quatre espèces pures des chênes, montrent une grande similitude entre les arbres de la même espèce malgré la différence de provenance. Le diagramme montre que tous les quatre *Quercus* se ségrèguent en groupes d'individus malgré leurs provenance stationnelles.

Les sujets de *Q. rotundifolia* (chêne vert) appartenant aux différentes stations sont clairement ségrégés en deux groupes distincts (voir Fig.31). Ce qui montre une différence morphologiques de ceux-ci. Néanmoins, cette différence intra-spécifique reste faible comparativement à la différence interspécifique (i.e., vis-à-vis des trois autres espèces).





**Fig.32.** Visualisation du changement de conformation de la feuille des chênes selon le premier et deuxième axe par le mode de visualisation « transformation grid » A et B-C et D.

A partir de la Fig.32 « A et B ; C et D » ressortent des conformations représentant des feuilles à :

**Pour le cv1 :**

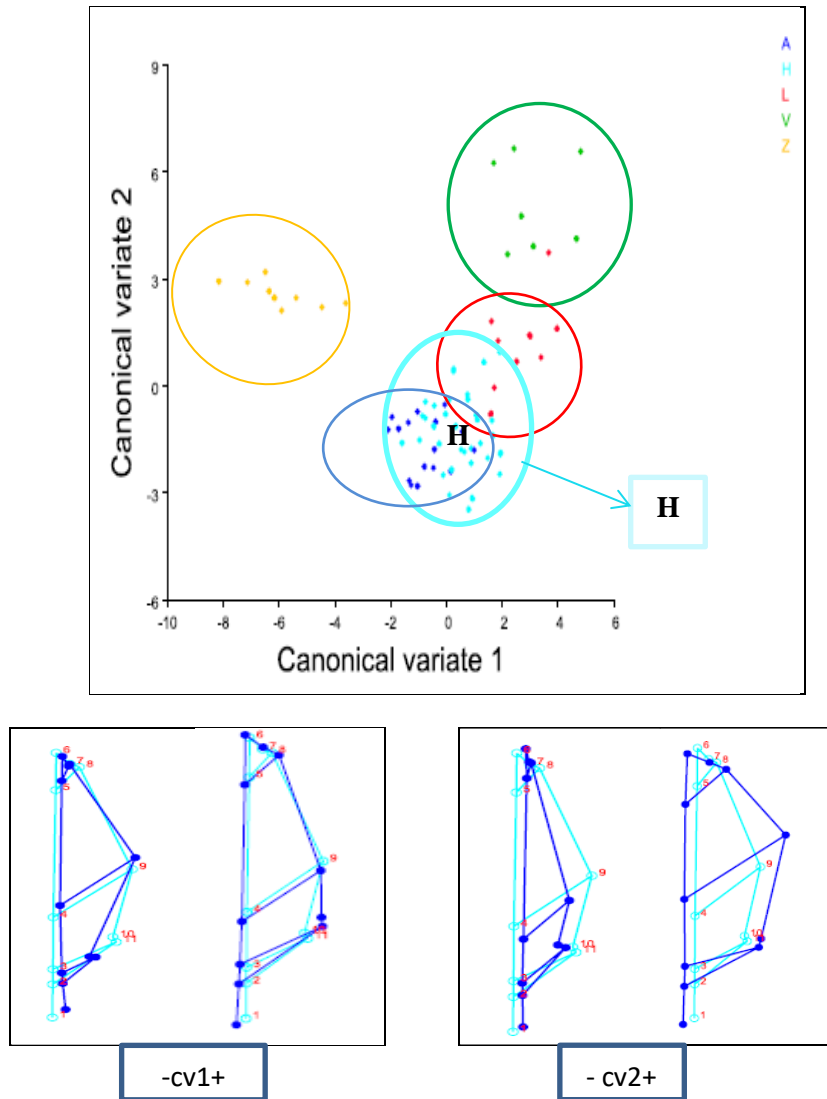
- « A » long pétiole / à « B »
- « A » le limbe plus large-base est large et « B » plus long et base étroite.
- « A » le premier lobe beaucoup plus grand que le « B ».
- « A » La base du premier sinus entre l'apex et le dernier lobe (landmark8) est plus large que le « B » étroit et pointu.7
- D'où on a la partie apicale plus large pour A et étroite pour le B.

**Pour le cv2 :**

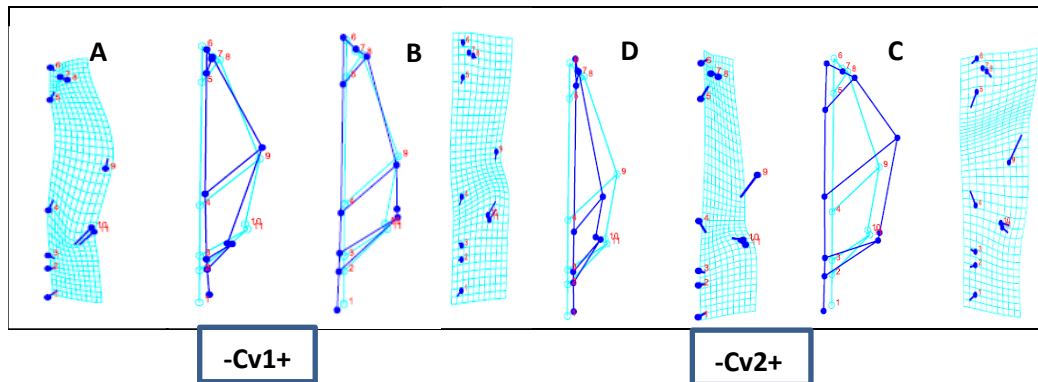
- « C » court pétiole/à « D »
- « C » le limbe plus large-base large /au « D »
- « C » le premier lobe beaucoup plus grand que le « C » et d'où on la feuille du groupe « C » plus large que le « D »

**+ espèces pures et hybrides**

La Fig.33 ressort des ressemblances interspécifiques. Ces ressemblances se caractérisent par apparition des groupes distincts des quatre espèces pures qui suit correctement la variation de la forme de la feuille comme déjà étudié dans l'analyse précédente pour les espèces pures. A travers cette analyse ; les résultats obtenues indiquent le chêne hybride est très proche morphologiquement du chêne afares puis du chêne liège et en dernier du le chêne vert et chêne zéen. Ceci montre efficacement la position des hybrides entre les quatre chênes purs (Fig.33).



**Fig.33.** Projection des espèces de chênes selon axe 1 et 2 de l'analyse canonique pour les espèces pures et hybrides (afarès-zéen-vert-liège-hybrides). (CV1=47.08% -CV2= 35.88%). Les conformations foliaires des sujets à travers les différentes stations (Akfadou, Yakouren, ait Salah, ait Aicha) des espèces pures et hybrides de ces chênes, indiquent une grande similitude entre les arbres de la même espèce et malgré la différence de provenance. Les espèces de chênes hybrides se démarquent nettement des chênes pures - Le diagramme montre que tous les *hybrides* se regroupent parfaitement entre les chênes afares et les chênes lièges. Ces observations sont suffisantes pour dire que la morphologie foliaire des hybrides au sein de l'Akfadou est proche morphologiquement aux *Q.afares* et *Q.suber*.



**Fig.34.** Visualisation du changement de conformation de la feuille des chênes purs et hybrides selon le premier et deuxième axe par le mode de visualisation « transformation grid » A et B pour CV1 et C et D pour CV2.

A partir de la Fig.34 « A et B ; C et D » ; ressortent des conformations représentant des feuilles à :

**Pour le cv1 :**

- « B » long pétiole / à « A »
- « B » le limbe plus large-base est large et « A » plus long et base étroite.
- « B » le premier lobe beaucoup plus grand que le « A ».
- « B » La base du premier sinus entre l'apex et le dernier lobe (landmark8) est plus large que le « A » étroit et pointu.
- D'où on a la partie apicale plus large pour B et étroite pour le A.

**Pour le cv2 :**

- « D » court pétiole/à « C »
- « D » le limbe plus large-base large /au « C »
- « D » La base du premier sinus entre l'apex et le dernier lobe (landmark8) est plus large que le « C » étroit et pointu.
- « D » le premier lobe beaucoup plus grand que le « C ».

**• Résultats De L'ANOVA : partition de variance de forme de feuille [procrustes analyse de variance (ANOVA)]**

Pour analyser et quantifier la variation de la morphologie des feuilles entre populations géographiquement distantes et connaître la quantité de variation inter et intra arbre et si cela

était expliqué par une erreur de mesure, nous avons utilisé une analyse hiérarchique de la variance (ANOVA), les résultats obtenus sont donnés dans les Tabl.7 et Tabl. 8 :

**Tabl.7.**Résultats de l'analyse hiérarchique de la variance pour la taille du centroïde.

(Centroïde size variation).

Effect	SS	SS	MS	DF	F	P
Station	<b>23.15%</b>	1190.16	85.01	14	1.05	0.43
Espèces	<b>50.21%</b>	2580.89	80.65	32	<b>15.90</b>	<b>&lt;&lt;0.0001</b>
Error for locality		<b>385.27</b>	<b>5.06</b>	<b>76</b>		
Trees	<b>7.49%</b>	<b>385.27</b>	<b>5.06</b>	<b>76</b>	<b>1.43</b>	<b>0.020</b>
Error for trees		697.09	3.52	279		
Leaves	19.11%	697.09	3.52	279	3848.35	<< 0.0001
Error For Individual	<b>0.007%</b> <b>&lt;0.1%</b>	<b>0.3614</b>	<b>0.000915</b>	<b>395</b>		
Total	<b>100%</b>	<b>5139.22</b>				

**Hierarchical sum of squares ANOVA:** Species, random factors: trees, leaves .here and following tables, SS, MS and df (ddl) ,refer respectively to sum of squares (Somme des carrés), mean sum of squares(carré moyen) and degrees of freedom.<sup>1</sup>Measurement error.

Somme des carrés hiérarchique ANOVA : Espèces, facteurs aléatoires : arbres, feuilles . SS, MS et df (ddl) , se réfèrent respectivement à somme des carrés, somme moyenne des carrés (carré moyen) et degrés de liberté.<sup>1</sup>Erreur de mesure.

**Tabl.8.** Résultats de l'analyse hiérarchique de la variance pour la conformation.

Effect	SS	SS	MS	DF	F	P
<b>Station</b>	17.36 %	5.55	0.022	252	1.55	<b>&lt;0.0001</b>
<b>Species</b>	25.47%	8.15	0.014	576	<b>3.03</b>	<b>&lt;0.0001</b>
<b>Error for locality</b>		6.39	0.0046	1368		
<b>Trees</b>	<b>19.96%</b>	6.39	0.004 6	1368	2.05	<0.0001

<b>Error for trees</b>		11.42	0.0022	5022		
<b>Leaves</b>	35.67%	11.42	0.0022	5022	33.21	<b>&lt;0.0001</b>
<b>Error For Individual</b>	1.5%	0.48	0.0068	7110	/	/
<b>Total</b>	100%	32.013				

Hierarchical sum of squares procrustes ANOVA: main effect; species; random factors: trees, leaves.<sup>1</sup>Measurement error. Somme des carrés hiérarchiques procrustes ANOVA : effet principal ; espèces; facteurs aléatoires : arbres, feuilles.<sup>1</sup>Erreur de mesure.

- **Tests sur les différences de population à l'aide de tests de permutation et d'analyses discriminantes**

**Tabl.9.** Différences entre les moyennes des populations après calcul de la moyenne au sein des arbres.

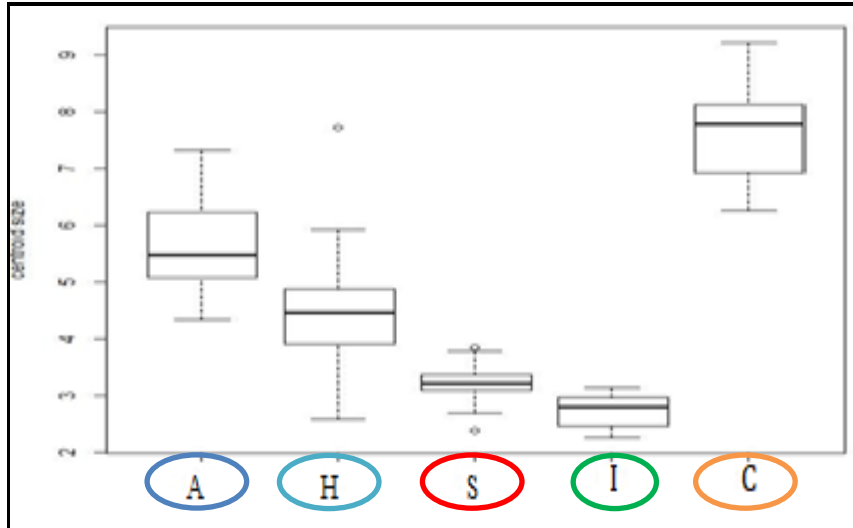
Species	Test de P.value :4.23.10 <sup>-5</sup>	Test de P.value :6.69.10 <sup>-7</sup>
<i>Q.afares</i>	moy=5.66	/
Q.hybride	moy=4.48	Moy=4.48
<i>Q.suber</i>	/	moy=3.20

**Tabl.10.** Statistiques descriptives des paramètres mesurés au niveau des stations inventoriées after averaging within tress /espèce de la taille du centroïde.

species	min	max	x	écart type
A	4.33	7.31	<b>5.66</b>	0.79
H	2.58	7.72	4.48	0.91
L	2.38	3.84	4.20	0.43
V	2.26	3.13	<b>2.72</b>	0.33
Z	6.25	9.20	<b>7.60</b>	0.91

La démarche graphique permet de comparer les paramètres morphologiques suivant : les stations et les espèces. La discussion des résultats est basée essentiellement sur des paramètres de statistique descriptive exprimés sous forme de tableau (Tabl.10) qui explique parfaitement la variabilité de la taille du centroïde des chênes où la moyenne varie de 2.72 au 5.66 (chêne

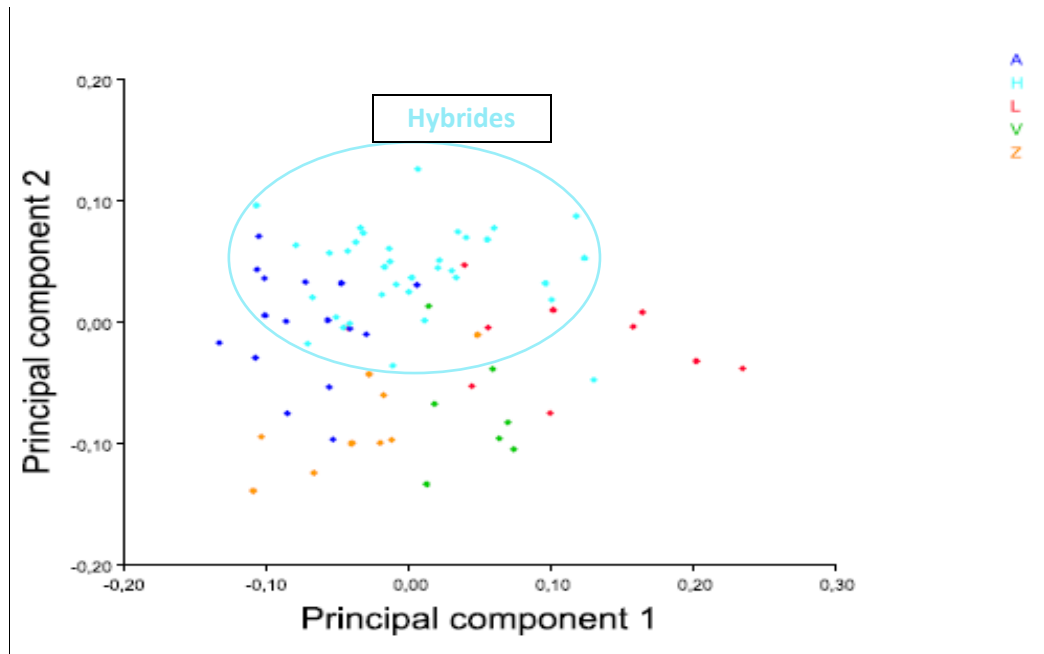
zéen et chêne vert) et graphique (boîte à moustache "box-plot" (Fig.35). La figure.36 présentée ci-dessus montre que la position de la majorité des hybrides se situe entre le *Q.afares* et *Q.suber*. La majorité des chênes hybrides sont plus proche des chênes afares comparativement aux autres espèces pures (par exemple *Q.suber* (liège)).



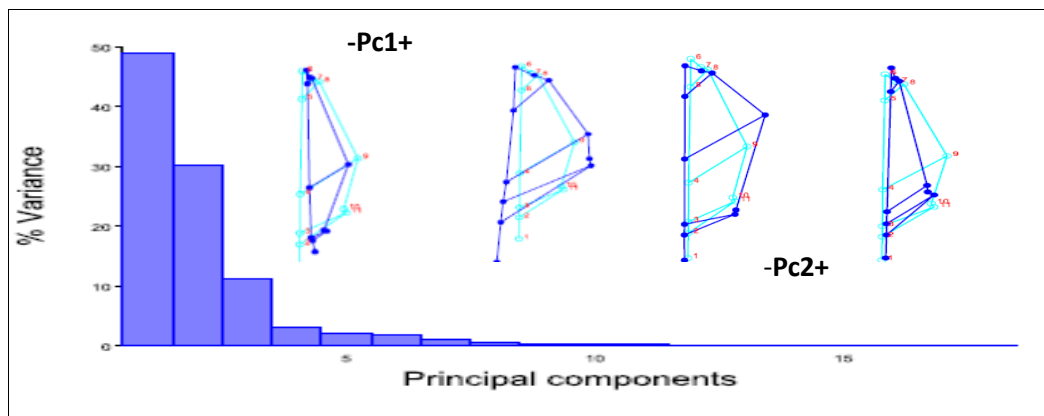
**Fig.35.** Diagramme en boîte à moustaches de la variation de la taille du centroïde des espèces pures et hybrides. (A : *Q. afares*-C : *Q. canariensis* -I : *Q. rotundifolia* -S : *Q. suber*-Q. hybride).

- **Discrimination des espèces par L'ACP et L'AD**

Les résultats de l'ANOVA indiquent que le facteur « espèce » explique près de 50% de la variation morphologique des feuilles. Cette valeur est assez importante. De ce fait, nous avons mis en commun les feuilles d'un même arbre de la même espèce afin de ressortir une moyenne puis nous avons appliqué une analyse en composantes principales pour mettre en évidence les arbres de la même espèce et la conformation des feuilles de ces dernières (Viscosi, 2001).

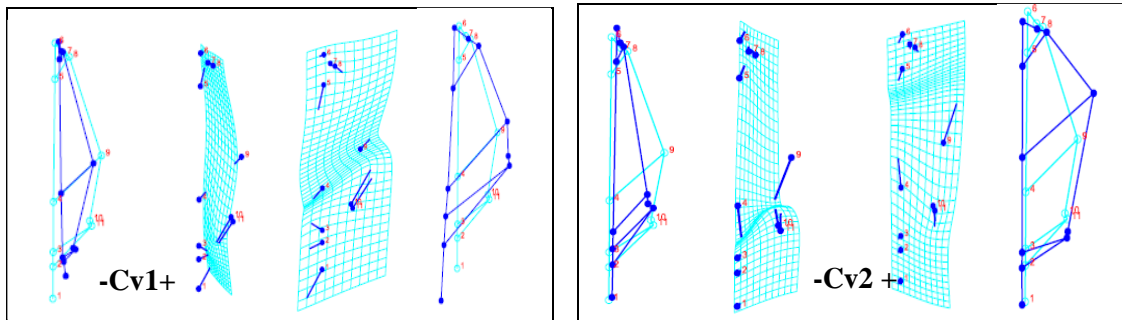


**Fig.36.** Projection des individus selon les deux premières composantes principales 1 et 2. (CV1=37.91% ; CV2= 67.10%).

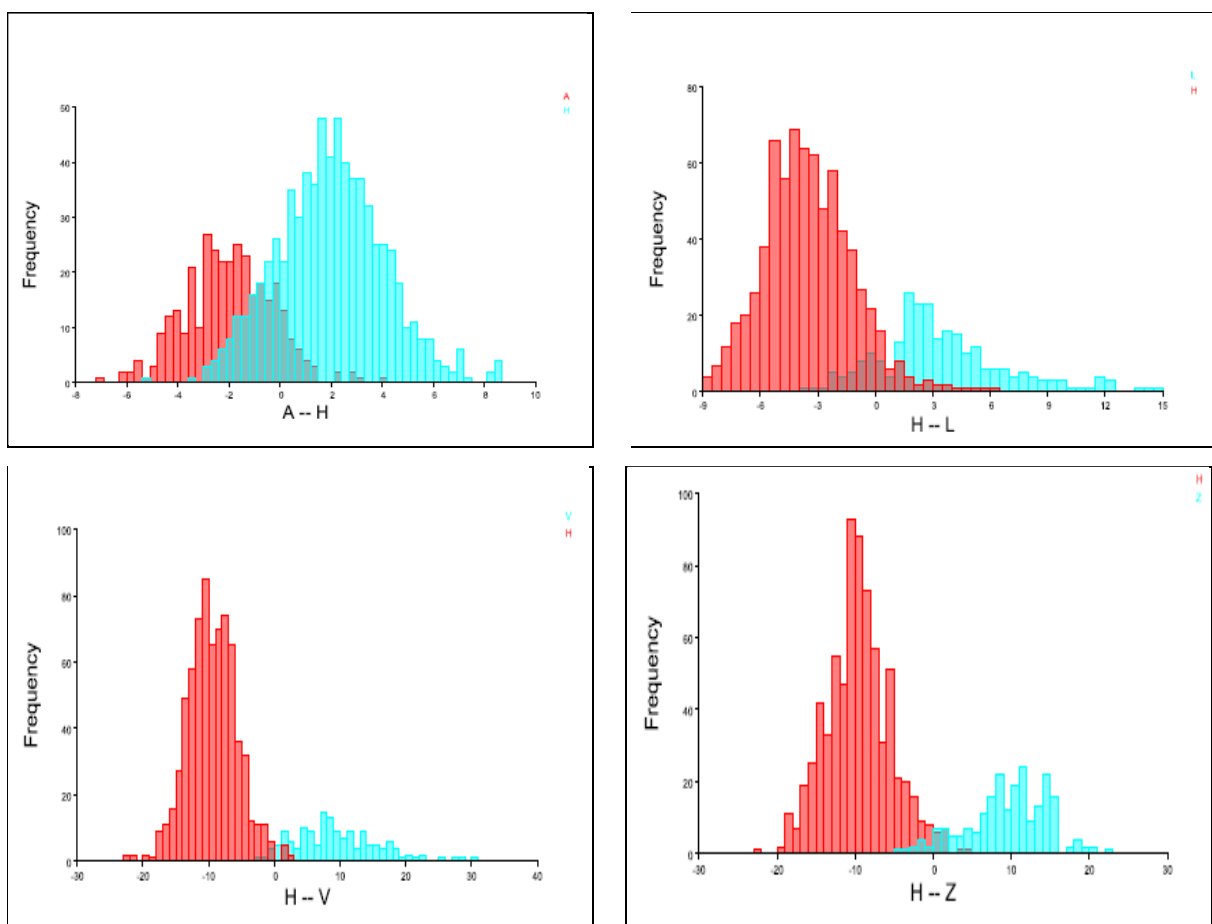


**Fig.37.** Pourcentage de variation des axes en composantes principales. Et visualisation du changement de conformation de la feuille des chênes purs et hybrides selon le premier et deuxième axe par le mode de visualisation « transformation grid »

La Fig.36 met en relief la distribution des arbres de la même espèce selon la première et la deuxième composante principale. Nous remarquons que ces derniers sont mélangés sans tenir compte de leur station respective. Les chênes purs et hybrides de l'Akfadou sont distribués de façon très respectueuse de la forme et géométrie de la feuille (Fig.37) comme il a été démontré par l'Analyse canonique (Fig.35).



**Fig.38.** Visualisation du changement de conformation de la feuille des chênes purs et hybrides selon le premier et le deuxième axe par le mode de visualisation « transformation grid ».



**Fig.39.** Résultats de l'analyse discriminante (AD) des formes des feuilles de *Q.afares*, *Q.suber*, *Q.rotundifolia*, *Q.canariensis* et *Q.hybride*.

La validation croisée de l'AD a révélé des différences significatives de la forme des feuilles entre les espèces de chênes purs et hybrides (Fig.39) ; Le grand chevauchement est marqué avec le chêne afares, puis le chêne liège (*Q.suber*), et les petits chevauchements entre le *Q.canariensis* et le *Q.rotundifolia* . Cela nous confirme la position des hybrides par rapport au

*Q.afares* et au *Q.suber*, ce qui nous permet de confirmer les analyses précédentes (AC – ACP).

## **Discussion - Discusión**

L'analyse des variables canoniques nous a permis, d'une part de confirmer la différence morphologique entre les quatre espèces de chênes pures de l'Akfadou, et d'autre part la présence et la position des hybrides au sein de ces espèces ; Et de qualifier le choix des points repères de précis (bon) pour la discrimination des espèces pures et hybrides. Ces confirmations servent de préalables à l'analyse en composante principale (ACP). L'ANOVA de procrustes a été évaluée pour quantifier les quantités relatives de variation de la forme des feuilles et erreur de mesure des arbres et des espèces (Klingenberg, 2003).

Une ANOVA a été utilisée avec l'effet « espèce » comme effet principal et les effets stationnels arbres et feuilles comme aléatoires, décrit dans Viscosi & Cardini (2011). En utilisant la procédure MorphoJ, les espèces et les arbres sont considérés de même niveau, chacun étant comparé à (c'est-à-dire divisé par) la moyenne SS de la feuille individuelle. Pour L'analyse ANOVA de MorphoJ ; modèle du présent travail ; la procédure décrite dans Viscosi & Cardini (2011) a été suivie, calculant le F ratio et niveau de P pour l'effet principal des espèces utilisant « arbres » comme un effet aléatoire pour corriger les erreurs. Pour la taille ; à travers le Tabl.7, on note que le facteur « station » est statistiquement non significatif (p-value >0.05) et explique environ 23% du total de la somme des carrés. Ceci nous montre que le facteur station influe sur la taille des feuilles mais différent du facteur « espèce » qui représente 50% de la somme des carrés. Le facteur « arbre » est statistiquement significatif et explique 7% de la variation de la taille des arbres et des feuilles mais qui reste inférieur à la variation des feuilles au sein d'un même arbre (20% environ).

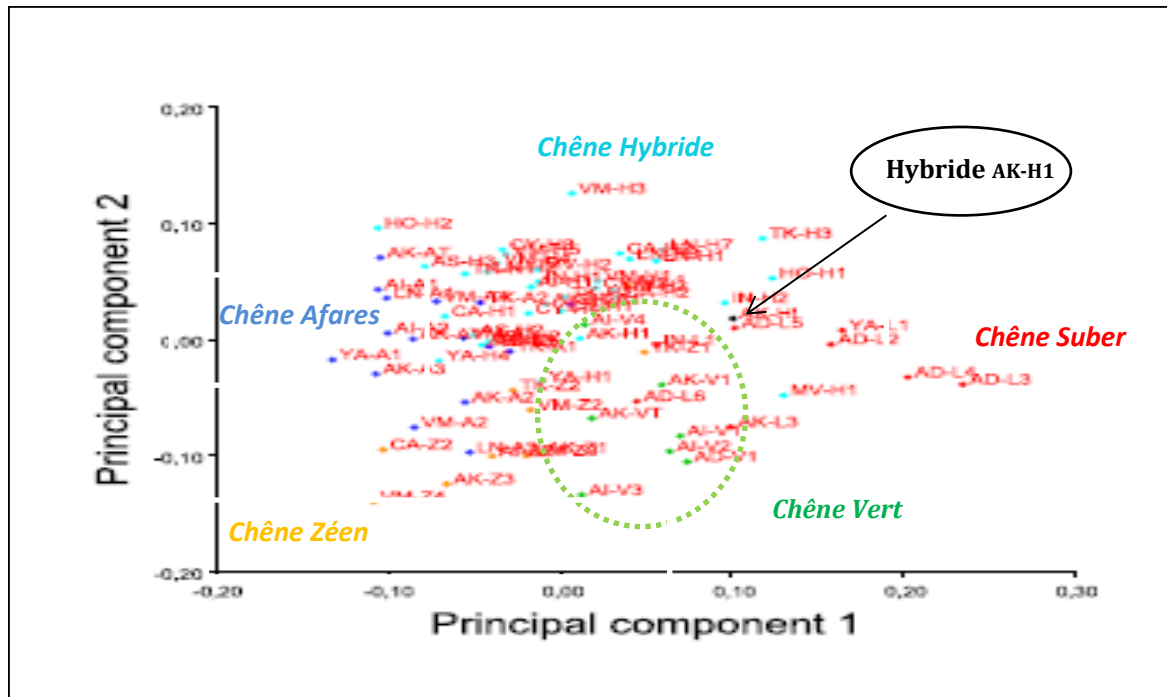
Les résultats de l'ANOVA pour la conformation (Tabl. 8) reflètent ceux de la taille en ce qui concerne le % de somme des carrés moyens. La variation de conformation due au facteur « espèce » est statistiquement significatif (p-value<0.05), elle explique presque 25% du total de la somme des carrés. La variation de la conformation due au facteur «Arbre » n'est pas loin de celle du facteur station qui est de (20%) et hautement significatif (p-value<0.0001) mais reste inférieur aux variations des feuilles au sein d'un même arbre qui sont de (35%). L'erreur de mesure reste négligeable avec 0.007% du total de la somme des

carrés. La faible erreur de mesure est confirmée. La variation de conformation de toutes les observations et de leurs répliques sur les quatre premières composantes principales expliquent plus de 80% de la variance cumulée. Un grand chevauchement est observé entre les échantillons et leurs répétitions. En outre, les résultats obtenus dans cette étude ont été similaires à ceux enregistrés lors des enquêtes de Viscosi (2015).

L'analyse canonique (AC) de l'axe 1 et de l'axe 2 montre la ségrégation des groupes distincts d'espèces supposées pures venant confirmer l'analyse canonique (discriminante) faite au préalable (Fig.31). A ces groupes s'ajoutent les individus supposés « hybrides » afin de situer leurs tendances morphologiques. La ségrégation est relative à la conformation foliaire. On s'attendrait à ce que les hybrides aient une conformation intermédiaire entre les espèces dont ils sont issus ; position intermédiaire dans l'ACP (Fig.36).

Dans la première composante *Q. suber* s'oppose à *Q. afares* et *Q. canariensis*, (Fig.36). La tendance morphologique de la conformation de *Q. suber* s'oppose à une morphologie commune entre *Q. afares* et *Q. canariensis*. Le graphe morphologique « shape graph » (Fig.38) illustre cette différence. La deuxième composante oppose *Q. afares* à *Q. canariensis*. De la même manière, les conformations de ces deux espèces s'opposent (Fig.39). *Q. suber* est présent tout le long de l'axe 2, il aurait donc un large éventail de conformations (plasticité morphologique). *Q. rotundifolia* quand à lui semble indifférent à cet axe ; il aurait donc une conformation intermédiaire à toutes les autres espèces Il occupe une position centrale bien qu'il semble plus proche de *Q. suber*. A première vue, l'ensemble des supposés hybrides occupent une position centrale dans l'ACP (Fig.36).

De plus, l'analyse AD confirme bien la variation de la morphologie des feuilles des hybrides avec le chevauchement avec des chênes purs. Elle montre que la morphologie du chêne hybride est proche du chêne afares puis du chêne liège et ensuite chêne vert et chêne zéen (Fig.39).



**Fig.40.** Projection et position du chêne hybride AK-H1 ? Résultat génétique préliminaire (chapitre. 4) et résultat morphologique ; identifié selon les deux premières composantes principales (axe 1 et axe2).

A l'issue des traitements multivariés (ACP, AC, AD), cinq groupes d'individus supposés hybrides ont été observés. Ces groupes apparaissent comme des morphologies intermédiaires entre au moins deux espèces pures.

- **Groupe 1** : sujets semblables à *Q. suber* contribue de manière importante à l'hybridation des individus. Dans ce cas, nous rejetons l'hypothèse de supposer que les hybrides concernés seraient *Q. kabylica* et *Q. numidica* cités comme seuls hybrides de chênes de l'Akfadou (croisement avec *Q. afares*).
- **Groupe 2** : sujets pouvant être des hybrides de *Q. afares* et *Q. canariensis* : leur nombre même réduit reste d'une importance capitale. A notre connaissance, dans la littérature, il n'est pas fait mention d'hybrides entre ces deux espèces. Une attention particulière devrait être accordée à ces sujets qui pourraient être des hybrides non décrits auparavant. Ainsi, il faudrait une analyse morphologique prenant en compte plus de points repères associée à une étude génétique pour statuer définitivement sur ce cas.

- **Groupe 3**: sujets supposés hybrides entre *Q. suber* et *Q. canariensis*, sont plus rares comparés aux autres groupes mais constituent néanmoins un fait remarquable car une telle hybridation n'a jamais été citée en Algérie.
- **Groupe 4** : sujets pouvant être hybrides entre trois espèces. Ce groupe est représenté par une dizaine de sujets ayant une conformation intermédiaire entre *Q. suber*, *Q. afares* et *Q. canariensis*
- **Groupe 5** : sujets supposés hybrides entre *Q. suber* et *Q. rotundifolia*, sont plus rares. Une telle hybridation est présente en Espagne (Lorenzo, 2006). (Ayant les mêmes informations génétiques avec les hybrides inventoriés dans la Province madrilène) (Comme le montre la Fig.40).

### **Conclusion – Conclusión**

Les chênes sont des espèces communes dans une grande partie du monde et sont impliqués dans un nombre croissant d'études génétiques portant notamment sur la structure et flux de gènes. La forêt de l'Akfadou est constituée de 4 espèces pures du genre *Quercus*, *Q. canariensis*, *Q. afares*, *Q. suber* et *Q. rotundifolia*. Cette présente étude a eu pour objectif de vérifier l'hypothèse d'existence des hybrides entre ces espèces. Dans la littérature forestière, deux hybrides seulement ont été décrits ; *Quercus kabylica* et *Quercus numidica*, issus du croisement de *Q. afares* et *Q. suber*. Par conséquent, l'identification d'hybrides dans des peuplements mixtes pourrait être d'un grand intérêt pour comprendre la dynamique et l'évolution d'un peuplement sachant que la forêt d'Akfadou est essentiellement constituée de peuplements de chênes *Q.suber* , *Quercus canariensis* Wild, *Q.afares* Pomel (hybride stabilisé selon Mir C et al., 2006) et *Q.rotundifolia* , Pour notre étude, nous avons supposé que le chêne afares est une population pure, car les résultats de(Mir et al., 2006) suggèrent que le *Q.suber* à *Q. canariensis* qui produit le chêne *Q.afares* est récent, ce qui est compatible avec l'apparition d'afares purs (population) en dehors des zones de contact en Algérie (Boudy, 1959).

Pour mener à terme ce travail, un échantillonnage a été effectué dans 13 stations. Le nombre d'arbres échantillonnés est différent d'une station à une autre selon la présence d'arbres supposés hybrides de sorte à échantillonner tous les hybrides présents. L'étude s'est basée sur

la méthode des Point-Repères. 11 Points-Repères sont homologués, numérisés sur 5 à 10 feuilles par arbre (selon l'état des feuilles).

Après une superposition procrustéenne des échantillons, une analyse canonique a été appliquée aux sujets d'espèces supposées pures puis sur les espèces pures et hybrides. L'analyse en composante principale ACP et AD ont permis de bien répondre à notre objectif. Celle-ci a prouvé, d'une part qu'il y a une homogénéité morphologique entre les arbres appartenant à la même espèce et leur nette ségrégation des sujets des autres espèces, et d'autre part le choix des points repères est assez bon pour discriminer les espèces pures et hybrides.



## **Chapitre 4. CAPITULO 4**

Biométrie des glands et croissance des plants des chênes hybrides-Biometria de bellotas y crecimiento de plantulas híbridas de robes.



### ***Introduction-Introduccion***

Les chênes constituent pratiquement à eux seuls, divers types de paysages hautement caractéristiques du monde méditerranéen. En effet, les chênes caducifoliés se rencontrent en ambiance bioclimatique humide, particulièrement à l'étage supra-méditerranéen. En revanche, les chênes sclérophylles caractérisent préférentiellement l'étage de végétation euro-méditerranéen à ambiance bioclimatique subhumide (Barbero *et al.*, 1991).

En Algérie, les chênes représentent un capital forestier où ils couvrent près de 40% de la forêt algérienne (Alatou, 1994). Ces chênes jouent un rôle indéniable sur le plan écologique, économique et social. En Algérie, le genre *Quercus* est représenté par cinq espèces dont deux sont caducifoliées, il s'agit des chênes zéen (*Quercus canariensis* Wild) et afarès (*Quercus afares* Pomel) et trois sont sclérophylles, les chênes liège (*Quercus suber* L), kermès (*Quercus coccifera* L) et vert (*Quercus rotundifolia* L) (Cuenod *et al.*, 1954; Pottier-Alapetite, 1981 et Hasnaoui, 1992).

Les populations naturelles évoluent sous l'effet des processus de mutation, de sélection, de dérive génétique et de migration. La combinaison de ces forces évolutives peut conduire des populations à évoluer différemment les unes des autres, ce qui peut aboutir à la spéciation lorsque la divergence est importante. Cependant ce processus est graduel et la reproduction entre des espèces qui ne sont pas totalement isolées reproductivement, conduit parfois au phénomène d'hybridation. Ces flux de gènes entre espèces peuvent avoir des conséquences évolutives diverses et font l'objet de débats scientifiques récurrents (Lepais, 2003).

L'hybridation interspécifique est un phénomène commun chez les chênes et peut avoir des conséquences évolutives importantes sur la taxonomie. Cette dernière est complexe à

l'intérieur du genre *Quercus* en raison de la grande variabilité et le flux génétique entre ses espèces. L'hybridation est un phénomène étudié de longue date chez les chênes. Des croisements contrôlés entre espèces de chênes nord-américains ont été pratiqués longtemps à l'Université de l'Utah (Cottam *et al.*, 1982) et illustrent l'inter fertilité de nombreuses espèces, parfois même entre espèces de sections différentes. Au départ, des études de populations de chênes nord-américains utilisaient des critères morphologiques pour analyser le degré d'hybridation entre espèces (Muller, 1952). L'hybridation entre huit paires d'espèces tenant compte de l'environnement édaphique et climatique a ainsi été décrite. (Muller, 1952). Les préférences climatiques des espèces vont jouer un rôle sur leur aire de répartition et donc leur degré de sympatrie, ce qui peut limiter les possibilités d'hybridations. Prenons l'exemple de *Q. grisea*, une espèce adaptée à un sol granitique mais qui peut aussi se contenter de calcaire dolomitique et *Q. Mohriana*, une espèce qui se retrouve sur sol calcaire. Lorsque ces espèces se retrouvent en contact alors qu'elles occupent des sols différents, l'hybridation observée est très faible. Par contre, dans d'autres zones de contact caractérisées par un sol calcaire également adapté aux deux espèces, l'hybridation est très fréquente. L'utilisation de marqueurs moléculaires a permis de confirmer l'importance de l'hybridation chez les chênes appartenant à plusieurs sections (Nason *et al.*, 1992a ; Craft *et al.*, 2002 ; Ishida *et al.*, 2003 ; Dodd & Afzal-Rafii, 2004 ; Gonzalez-Rodriguez *et al.*, 2004 ; Tovar-Sanchez & Oyama, 2004 ; Kanno *et al.*, 2004 ; Scareli-Santos *et al.*, 2007). Chez les chênes blancs genre *Quercus*), *Q. grisea* et *Q. gambelii* sont deux espèces qui forment des hybrides mais l'introgression est limitée (Howard *et al.*, 1997). Dans une étude comparant le succès reproducteur de ces deux espèces dans le cadre de croisements contrôlés répétés dans deux environnements, Williams *et al.* proposent que le stress environnemental augmente la probabilité d'hybridation (Williams *et al.*, 2001). En effet, en environnement stressant, le pollen de *Q. gambelii* a tendance à être moins fertile, ce qui induit une plus grande proportion de croisement hétérospécifique. Les auteurs concluent que l'hybridation peut être accentuée par un stress qui diminue la compétitivité reproductive du pollen d'une espèce subissant un stress environnemental, phénomène qu'ils nomment émasculation environnementale.

Il est observé l'existence de plusieurs bouquets d'hybrides dans l'Akfadou côtoyant les quatre espèces pures du genre *Quercus* (*Q. canariensis*, *Q. afares*, *Q. rotundifolia*, *Q. suber*). Sans connaître les parents avec certitude, ces hybrides seraient le résultat de croisement de ces espèces pures. Partant du principe que la qualité d'un plant est la résultante de nombreuses

caractéristiques morphologiques et physiologiques qui contrôlent leurs possibilités de développement et de croissance (Aussenac *et al.*,1988), nous pensons approcher ce phénomène par le biais d'une analyse morphologique des glands produits et des plants issus d'un élevage en pépinière. Ce chapitre s'intéresse, donc, à l'étude de la biométrie des glands récoltés sur divers sujets hybrides dans l'Akfadou et à la croissance et au comportement des plants des chênes hybrides en pépinière. Les objectifs de cette démarche sont considérés comme complémentaires à l'analyse des plants pour l'établissement de tests provenances – descendances afin de déceler d'éventuels paramètres discriminant les différents hybrides. Ceux-ci se résument comme suit:

- Vérifier les constatations rapportées dans la littérature quant à la relation existant entre la masse des graines et la vigueur des plants.
- Démontrer l'existence de l'effet station et de l'effet "espèce pure proche".
- Evaluer la variation des paramètres des différents plants-hybrides.

#### **4.1. Matériel expérimental-Material experimental**

##### **▪ Récolte-Cosecha**

L'expérimentation est réalisée sur des plants de chêne hybride issus de glands récoltés sur des sujets adultes de la forêt de l'Akfadou (zone d'étude décrite en détail dans le Chapitre 2) La récolte est réalisée sur neuf stations décrites dans le Tabl.11. La récolte des glands est faite selon deux méthodes : ramassage des glands tombés par terre (pour les arbres isolés en s'assurant l'origine des glands) et la récolte directe par gaulage au moment de la glandée.

Le poids des larves fausse l'évaluation pondérale du gland (Branco *et al.*, 2002). Ainsi, nous avons pris aléatoirement des glands sains et intacts triés d'abord à vue d'œil, ensuite par le test d'immersion dans l'eau du robinet dans le but d'éliminer ceux parasités, vides ou pré germés.

Au laboratoire, les glands mesurés sont mis à tremper pendant quelques minutes dans l'eau courante, ensuite mis à germer dans la vermiculite saturée d'eau à une température ambiante de 16 °C et à l'obscurité pendant 20 à 30 jours afin de limiter la production de semis à tiges multiples (Guibert *et Pichon.* 2001).

Le fruit du chêne constitue l'organe primordial de la régénération qui dépend fortement de la régularité et de l'abondance des glandées, de la taille (valeur énergétique) et de l'état phytosanitaire des glands (Suszka *et al.*,1994 ; Merouani *et al.*,2001). En effet, la

connaissance des rythmes des glandées des arbres et les causes de leurs fructification annuelle est d'un grand intérêt pour le sylviculteur (Mtarji, 1987 in Fraval, 1991) ainsi que pour le pépiniériste dont le rôle est d'assurer une production permanente de plants de qualité. Pour évaluer la glandée, le choix des arbres est régit par le critère de fructification, qui n'a été abordé que de manière sommaire qui a conduit à identifier au préalable les placettes jugées de fructification moyenne.

Dans des conditions normales et selon l'ordre chronologique d'apparition, il existe trois types de glandée chez les chênes :

- La prématurée des mois de septembre et d'octobre.
- La deuxième des mois de novembre et de décembre.
- La tardive de fin décembre à la fin du mois de janvier.

Il est souvent recommandé de cueillir exclusivement les glands de la deuxième fructification. Dans la zone d'étude, la chute des glands intervient souvent dès la première semaine d'octobre et s'effectue encore en novembre et même en décembre. Mais souvent, la période potentielle de récolte est inévitablement courte, elle est en fonction de l'anthropisation de la forêt, de la présence de rongeurs, etc. Certains auteurs pensent que les glands qui ne tombent pas spontanément sur le sol ne sont peut-être pas murs. Ils prétendent que les embryons ne sont pas murs, car ils n'ont pas terminé leur développement et par conséquent les systèmes physiologiques embryonnaires ne sont pas au point (Preney *et al.*, 1997). Des glands cueillis juste avant d'avoir commencé à brunir et immédiatement semés, germent bien quoique avec un léger retard, ce qui pourrait avoir un intérêt en vue des semis immédiats.

Stiti (1999) affirme quant à elle que les glands sont physiologiquement murs avant de l'être morphologiquement. Le processus de germination des glands de chêne est un phénomène physiologique complexe faisant intervenir l'intégrité physiologique mais surtout morphologique des glands. L'attaque d'insectes intervient pour perturber cette intégrité en modifiant la morphologie des glands (consommation de l'endosperme), mais aussi en exerçant un stress permanent sur les glands, les capacités physiologiques s'en trouvent donc diminuées et se traduisent par un effet négatif sur le pouvoir germinatif (Merouani *et al.*, 2005). Dans le cas de cette expérimentation, les glands ont été triés avant de les mettre à germer. Au total neuf stations ont été choisies, leurs description stationnelles est récapitulée dans le Tabl.11.

▪ **Paramètres biométriques mesurés sur les glands - Parámetros biométricos medidos en bellotas**

Pour chacune des stations, le poids, la longueur et la largeur de trente à quarante glands par arbre choisis ont été mesurés. Ces variables peuvent prédire au mieux la performance des plants avant et après plantation.

Les pesées ont été réalisées à l'aide d'une balance électronique à un centième d'erreur (photo.1). De même, un pied à coulisse est utilisé pour l'obtention de la longueur et de la largeur.

Du point de vue physiologique, le poids de la graine de chêne peut en partie expliquer la production en biomasse des jeunes plants, au moins jusqu'à la mise en place du premier étage foliaire (Lamond, 1978). En outre, la variabilité morphologique des glands pourrait avoir une origine liée à la station et au peuplement.



**Photo .1** : Photo des glands issus des hybrides récoltés, mesurés et pesés à l'aide de la balance de précision et du pied à coulisse électronique.

#### ▪ **Culture en pots - Cultura en macetas**

L'expérimentation, lancée au cours du mois de décembre 2015 (photo.2), a été conduite en pépinière au niveau de la station régional de recherche forestière d'Azazga, située à 535m d'altitude. Les pots sont placés suivant un dispositif expérimental randomisé, en prenant en compte l'effet stationnel. Les glands ont été semés horizontalement afin de faciliter leur germination à une profondeur de 10 cm ; plus la semence est semée profondément dans le sol, plus le nombre de jours nécessaires à la levée augmente (température plus fraîche en profondeur et distance à parcourir par la jeune plantule plus importante). Le semis des glands a été réalisé dans des sachets en polyéthylène (18 cm de diamètre et 30 cm de haut) à raison d'un gland par sachet sur un substrat constitué d'un sol forestier riche en matière organique. Les sachets placés en conditions naturelles au niveau de la pépinière avec des arrosages réguliers.

La germination des semences est d'une manière générale très influencée par leur qualité et par la quantité d'éléments (eau, inhibiteurs, stimulateurs...) qu'elles contiennent d'une part, et par les conditions biotiques et abiotiques qui les accueillent d'autre part (Merouani, 1996). Elle n'est possible que si un certain nombre de conditions favorables soient réunies : température, oxygène pour l'embryon, levée des inhibitions tégumentaires et des dormances embryonnaires (Come, 1975).

#### ▪ **Mesures morphologiques des plants - Medidas morfologicas de las plantas**

La caractérisation morphologique des plants a touché la hauteur et le diamètre, considérés parmi les variables les plus couramment choisies. Le diamètre au collet est généralement corrélé à plusieurs variables morphologiques (hauteur, poids sec total, et poids sec de la partie aérienne) car il s'agit d'une variable qui intègre la réponse morphologique aux facteurs environnementaux. Certains travaux (Lamhamedi *et al.*, 1997 ; Lamhamedi *et al.*, 2006) ont montré que le diamètre au collet peut expliquer plus de 97 % de la variation observée concernant la masse totale du plant. Les plants ayant un gros diamètre possèdent généralement des racines latérales bien développées tout en conférant aux plants un meilleur taux de survie. La hauteur constitue un bon indicateur de la capacité photosynthétique et de la surface de transpiration qui sont étroitement corrélées avec la surface foliaire. Cependant, la hauteur ne révèle pas une corrélation systématique avec la survie mais une bonne relation avec la croissance en hauteur (Lamhamedi *et al.*, 2006).

Les paramètres morphologiques suivants ont été mesurés afin d'évaluer la vigueur des plants de chênes hybrides étudiés (Voir Photo.2):

- ✓ Croissance en longueur : La longueur des tiges a été mesurée à l'aide d'une règle graduée au millimètre.
- ✓ Croissance en diamètre : Le diamètre des semis au collet est mesuré avec un pied à coulisse digitale.
- ✓ Production foliaire : Le nombre de feuilles par plants a été suivi et noté chaque semaine. En effet, l'estimation du nombre des feuilles est un bon indicateur des capacités assimilatrices de la plante et de sa production en biomasse.

Croissance racinaire: Il est important de mettre l'accent sur la croissance racinaire, surtout lorsqu'on sait que certains chênes favorisent, au début de leur développement, la croissance racinaire aux dépens de la croissance aérienne. (Abdenbi *et al.*, 2016).

Nous avons donc mesuré la longueur du système racinaire, c'est-à-dire la longueur de la partie qui s'enfonce le plus profondément dans le sol, que ce soit le pivot ou une racine secondaire. En cas de déficit hydrique modéré, le système de surface suffira à assurer l'alimentation en eau, alors qu'en cas de fort déficit, c'est l'ensemble du système racinaire qui participerait à l'absorption (Badot *et al.*, 1994) et, lorsque l'eau du sol superficiel sera épuisée, c'est la longueur de ce système racinaire profond, et lui seul, qui permettra l'absorption hydrique et minérale indispensable à la survie. Dans notre cas, la croissance racinaire est homogénéisée par la taille des sachets utilisés.

Le dispositif expérimental est demeuré en place au cours des deux années de culture. Les mesures sont effectuées à la fin de la 2<sup>ème</sup> année.



## 4.2. Résultats- resultados

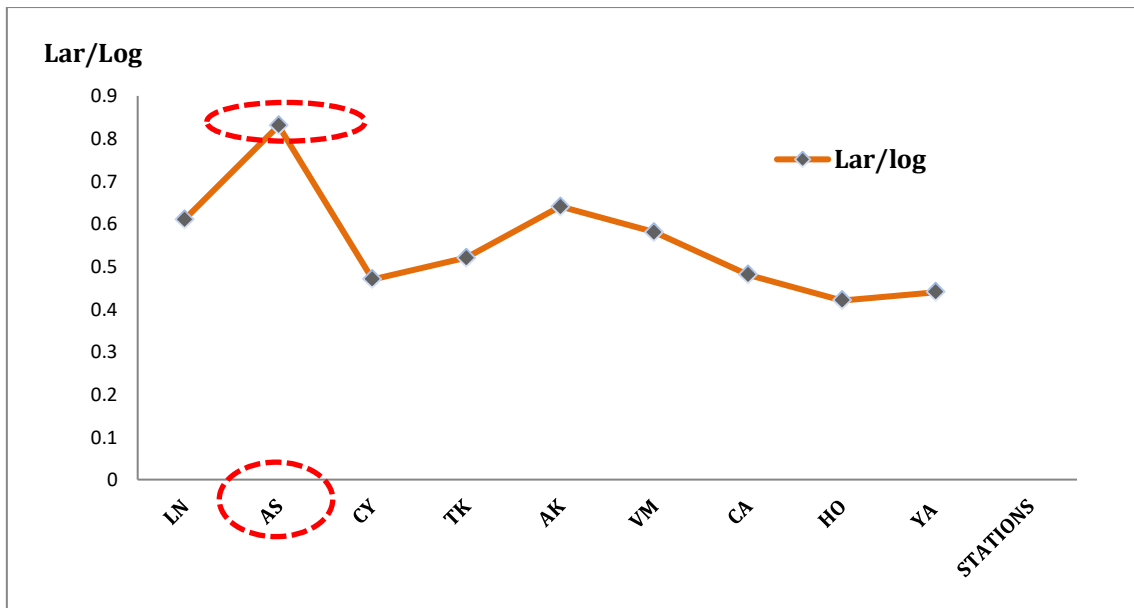
### ▪ Biométrie des glands -Biometria bellota

Au niveau des neufs (9) stations, les traits phénotypiques (Paramètres biométriques) des glands montrent pas beaucoup de différences significatives ( $P < 0.05$ ) entre la moyenne des arbres des stations de l' Akfadou pour la largeur des glands (Lar), et pour le rapport largeur / longueur (Lar/Log).

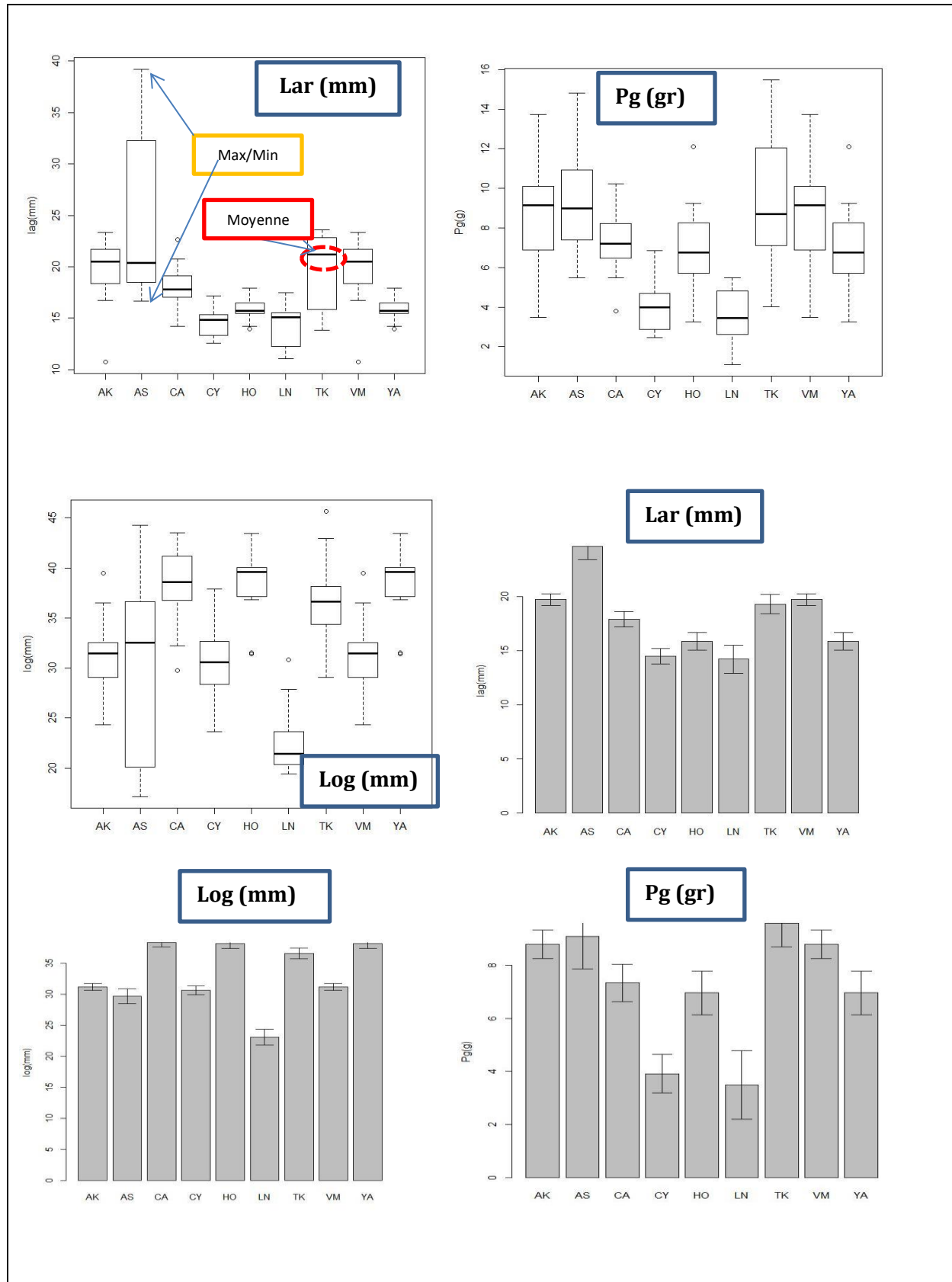
Les résultats statistiques obtenus montrent que les glands des arbres au niveau des stations Ait Salah (AS) et Akfadou (AK) sont significativement plus larges et un rapport (Lar/Log) plus grand qui est respectivement de ( 0.83, 0.64) (Tabl.11) que les autres arbres des stations inventoriées d'où on remarque que la taille en largeur (Lar) et le rapport Lar/Log des glands de station cynégétique (CY) sont les moins marqués par ces derniers ;qui sont de (14.49 mm et 0.47) mais qui compense bien avec la Longueur (Log) de son gland qui est de (30.61cm) (Tabl.11). Par exemple les glands de la station de Houra (HO) ont un poids (P) de (6.78g) se distinguent bien par une longueur (Log) élevée qui est de de 38.33cm et un rapport largeur/longueur (Log/Lar) inférieurs à ceux des autres stations (Fig. 41).

Globalement, les stations d' Akfadou (AK), Tala kitan (TK) et vide Mehaga (VM) le poids, la largeur et la longueur des glands ne montrent pas des différences significatives entre

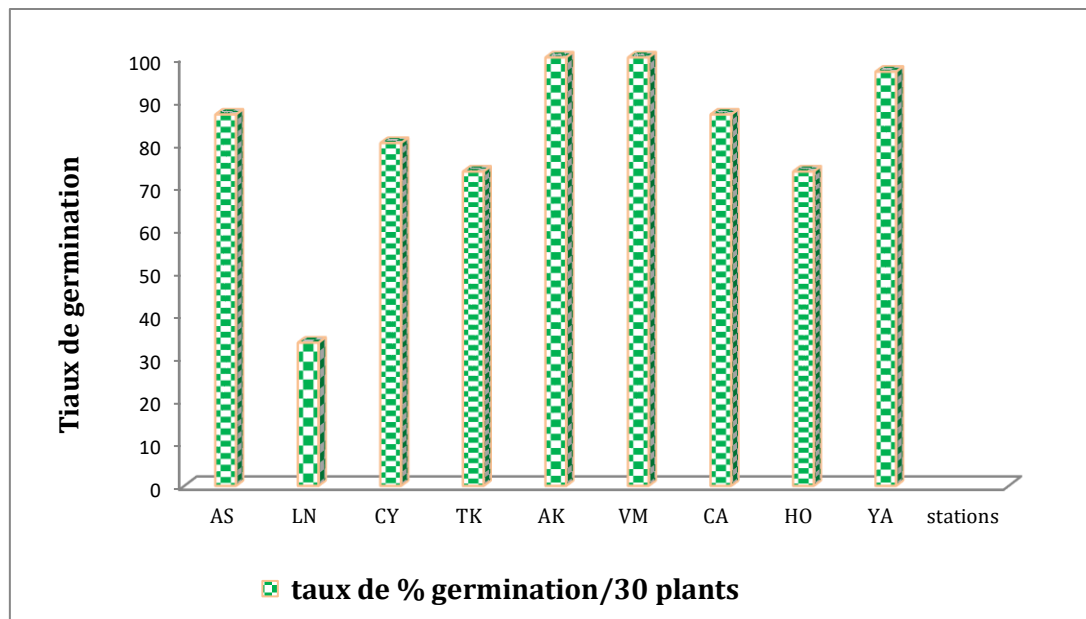
arbres, le poids moyen (Pg) des glands variant (6.81 à 9.11g, Tabl.11), ce qui nous permet de mettre la biométrie de la glandée en relation avec son milieu /arbre /population origine( station (humidité/ exposition/ altitude). lg/Lg : rapport entre la largeur et la longueur des glands en %.



**Fig.41.** Variation du rapport (Lar/Log) des glands de chêne dans les stations inventoriées. (AS=Ait Salah ; LN=Lac Noir ; CY=Centre Cynégétique ; TK=Tala Kitan ; AK=Akfadou ; VM=Vide Mehaga ; CA=Col Ait Salah ; HO=Houra, YA=Yakouren.



**Fig.42.** Diagrammes en boîtes des traits phénotypiques des glands de chênes putatifs dans les neuf stations étudiées en Algérie (Akkfadou) (Pg: poids des glands en g ; Log : longueur des glands en mm ; Lar : largeur des glands en mm ; Les moyennes des stations signalées avec des lettres différentes sont significativement différentes, au seuil de 5%).



**Fig.43.** Taux de germination des glands dans les stations inventoriées après deux mois de mise en culture dans/ 30 pots semis dans chaque station. (AS=Ait Salah ; LN=Lac Noir ; CY=Centre Cynégétique ;TK=Tala Kitan ;AK=Akfadou ;VM=Vide Mehaga ;CA=Col Ait Salah ;HO=Houra, YA=Yakouren

A travers les résultats de la Fig.43, le taux de germination des glands dans les stations échantillonnées est appréciable où il a atteint son plafond dans les stations Vide Mehaga "VM", Akfadou "AK", Yakouren "YA" et Ait Salah "AS" avec un taux de 100% sauf le cas des stations du Lac noir (LN) avec un taux faible de 30% (Fig.43). Ce résultat peut être dû à la qualité des glands constatée lors du ramassage vu qu'il n'y avait pas une grande production de glands sur les arbres échantillonnés).Ceci pourrait s'expliquer par les changements dans l'état physiologique des glands (comme déjà signalé), accompagnée d'une augmentation du taux d'humidité (Branco *et al.*, 2002).

Bien qu'il ne soit pas possible actuellement d'identifier si le phénomène est influencé par la masse ou le poids des glands ,il apparait une relation étroite entre la germination et la masse. Or certains auteurs notent que la variation entre les différents semis ne se manifeste clairement qu'après quelques années de développement (Kremer, 1994 ; Houston, 1987). Notamment pour le cas des stations (AS-AK-VM-YA) où le poids des glands est plus marqué respectivement (9.08gr ; 9.32gr ; 6.81gr ; 7.80 gr) (Fig.42). (Tabl.11).

L'analyse descriptive de la croissance des plants faisant intervenir plusieurs paramètres (hauteur aérienne, diamètre au collet, nombre de feuilles et de rameaux) mesurés en

pépinière, les résultats de l'analyse des données (Tabl.11) montrent que dans l'ensemble les mesures des variables morphométrique (La, Dc, Log, Lar et Pg) ne sont pas très dispersées à l'intérieur de chaque station puisque le coefficient de variation (CV) ne dépasse pas 0.20 à l'exception des stations Lac Noir, Ait Salah, Yakouren et Houra et Vide Mehaga où le CV est supérieur à 0.50 pour le nombre de feuilles et de rameaux.

En plus de la station YA, les critères communs qui regroupent ces stations sont le rythme de croissance élevé en pépinière. Cependant, les stations Ait Salah (AS), Houra (HO) s'individualisent en montrant les valeurs les plus faibles pour la croissance au niveau du diamètre au collet.

La démarche graphique permet de comparer les paramètres morphologiques et biométriques suivant les stations. Sous forme graphique (boite à moustache "box-plot" figures.42 et 43. Ce qui montre bien la variabilité morphologique et la croissance comparative des plants des glands de chênes hybrides. Les figures présentées Fig. 42 et Fig.43 montrent que pour la largeur des glands, la dispersion apparaît faible à travers toutes les stations à l'exception de la station AS « Ait Salah ». Celle-ci se caractérise par la présence de bouquets de chêne vert et se trouvant aussi en haute altitude. La valeur de la largeur des glands la plus élevée est notée pour la station TK « Tala Kitan », la plus faible est constatée pour CY « entre cynégétique ». Cependant, le poids des glands est plus homogène (dispersion faible), ceux de Tala Kitan montrent une masse plus importante contrairement à LN « lac noir » où elle est remarquablement plus faible.

En ce qui concerne le diamètre au collet, ce paramètre apparaît stable à travers toutes les stations. Le degré de variabilité est faible où toutes les valeurs sont comprises entre 4,1 et 4,5 cm ; Le diamètre au collet évolue presque de la même manière que la hauteur des plants.

La moyenne du paramètre "La" apparaît presque identique sur l'ensemble des stations (AK-CA-HO-TK-VM-YA) où elle atteint sa valeur maximale au niveau de la station LN et minimale à AS. L'interquartile est plus étalé au niveau de la station CY.

En ce qui concerne le diamètre au collet, il est plus marqué au niveau des deux stations CA et YA où il oscille de ( 4.06 à 4.65 ). L'interquartile est plus étalé au niveau de la station CA, ce qui nous renseigne sur sa forte variabilité. En effet, cette station se caractérise par des conditions favorables et se localise à proximité des peuplements de chêne vert.

Le diamètre observé, va de 4.1 à 4.5 cm et la longueur aérienne va de 32.4 à 44cm; alors que Lamhamedi *et al.*, 2000 rapportent qu'un bon plant forestier devrait atteindre un objectif de

28-40cm lorsque le diamètre au collet varierait entre 4 à 5cm. En ce qui concerne les paramètres NF et NR qui mettent en évidence la biomasse aérienne. Ils joueraient un rôle prépondérant dans l'activité photosynthétique. Les résultats (Tabl.11) affichent une similitude pour toutes les stations.

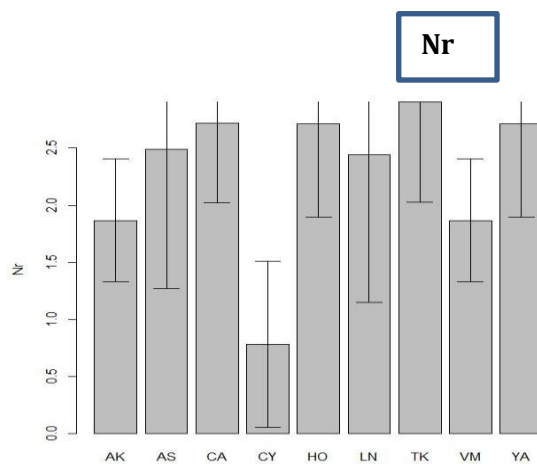
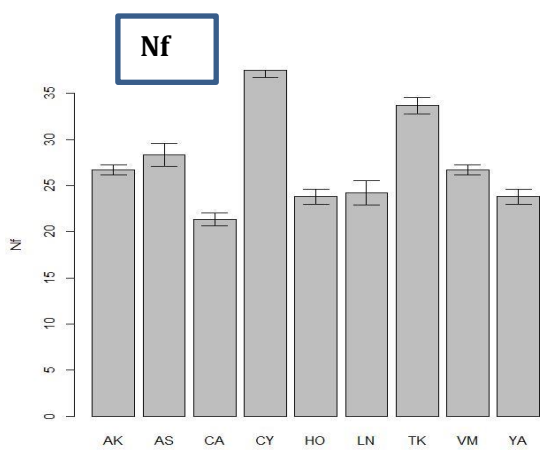
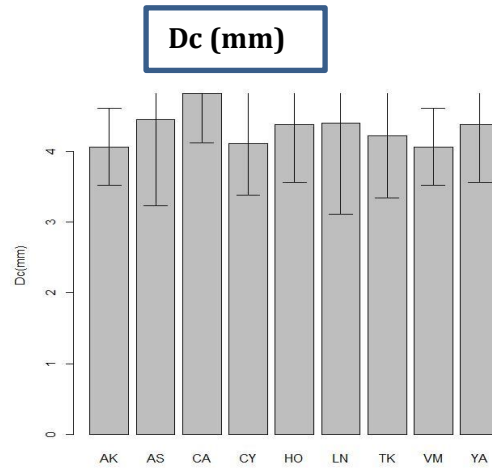
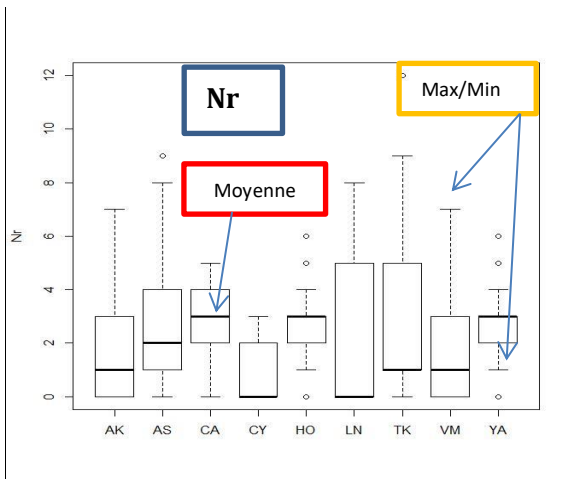
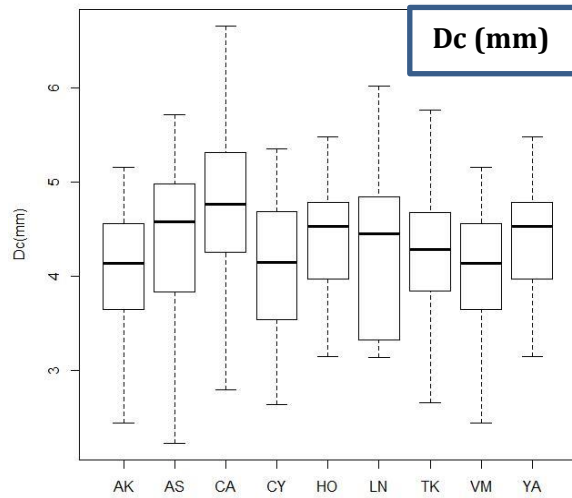
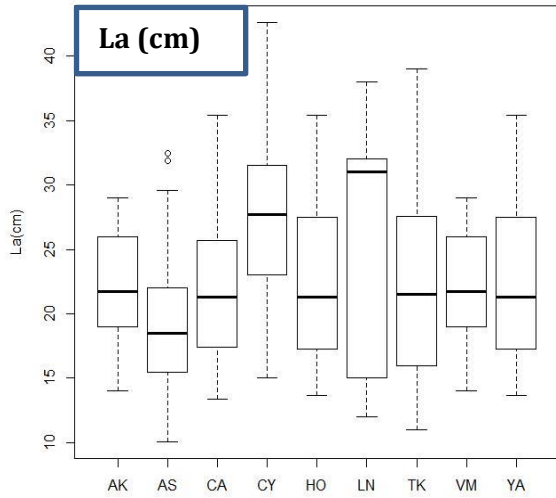
En ce qui concerne Le rapport  $Lar / Log$  est significativement plus marqué au niveau des glands récoltés sur Ait Salah (AS) ; Les résultats relatifs à ce paramètre  $Qv$  « rapport de la hauteur de la tige au diamètre au collet » sont visualisés par la Fig.45. Le but recherché est d'obtenir des plants à format idéal en hauteur, en diamètre et de bonne robustesse dans les différentes provenances (stations). ( $QV$ ) varie entre 4.23 jusqu'à 6.77 ; Après deux ans de croissance,  $Qv$  ne dépasse pas (6.77); Où les normes de qualité sont relatives non seulement à la morphologie mais aussi à la physiologie des plants ; selon les normes citées par Lamhamedi *et al.* (2000), le ratio de robustesse : Hauteur/Diamètre au collet ( $H/D$ ) exprimé en cm/mm devrait être inférieur à 8 lorsque le plant devrait atteindre un objectif de 28 à 40 cm. Le diamètre au collet varie entre 4 et 5 mm ; la croissance en hauteur des plants au niveau de la station cynégétique (CY) est bien marqué ce qui peut expliquer un  $QV$  important ; le contraire est constaté dans la station Ait Salah(AS) avec un  $QV$  de 4.23, le moins marqué qui indique que les plants sont plus robustes ; le développement est apprécié pour la majorité des plants .

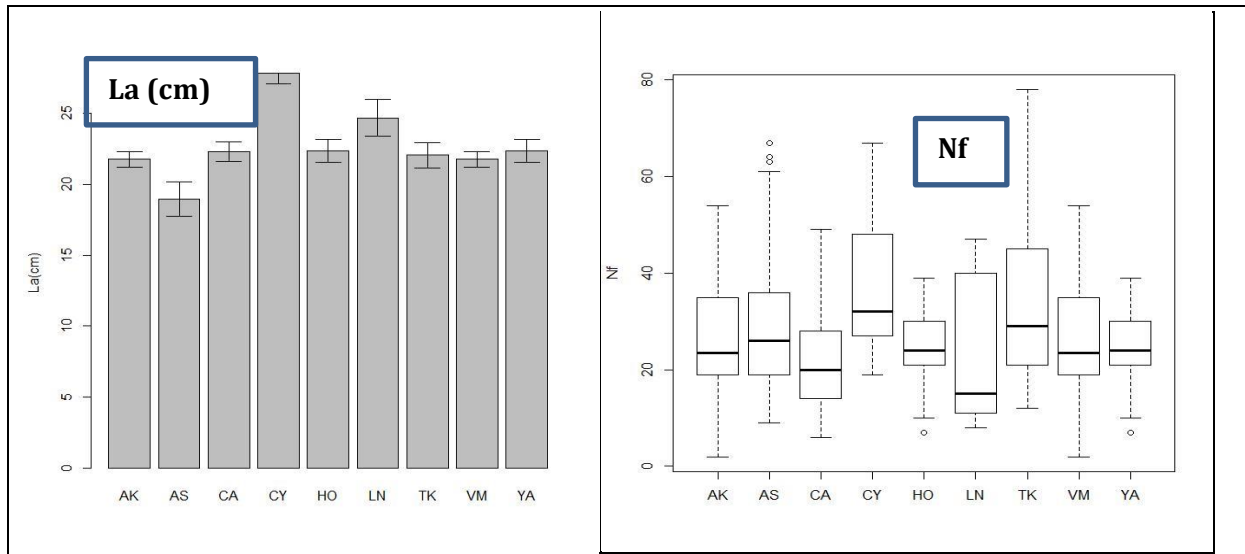
**Tabl.11.** Statistiques descriptives des paramètres mesurés au niveau des stations inventoriées.

(Lh: longueur en hauteur ;Dc : diamètre au collet ;Nf :nombre de feuilles ; Nr :nombre de rameaux  
Log :longueur du gland ;Lar :largeur du glands ;Pg :poids du glands. LN :Lac Noir ;AS :Ait Salah ;CY :Centre Cynégétique ;Tk :Tala Kitan ;AK :Akfadou ;VM :Vide Mehaga ;Ca :Col Ait Salah ;Ho :Houra ;Ya :Yakouren)

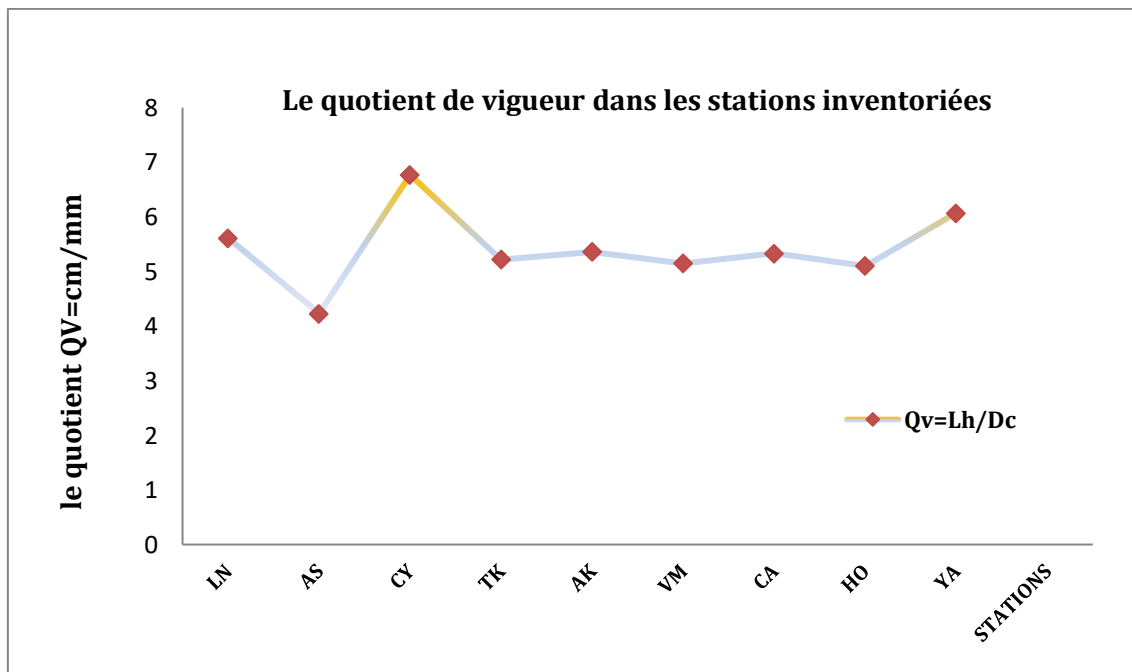
Chapitre 4. Biométrie des glands et croissance des plants des chênes hybrides-Biometria de bellotas y crecimiento de plantulas híbridas de roble

stations	Stat. descriptives	Paramètres Biométriques				Paramètres morphologiques				
		Log (mm)	Lar (mm)	Pg (gr)	Lar/Log	La (cm)	Dc (mm)	Qv = La/Dc	Nf	Nr
LN	Min	13.73	11.03	0.91	0.80	12	3.14	3.82	8	0
	Max	35.89	21.98	9.02	0.61	38	6.02	6.31	47	8
	X	26.24	16.18	3.55	0.61	24,71	4.40	5.61	24.22	2.44
	CV	0.20	0.16	0.48	/	0.41	0.24	/	0.68	0.29
	δ	5.24	2.58	1.70	/	10.13	1.05	/	16.46	0.70
AS	Min	17.16	16.63	5.47	0.96	10.10	2.23	4.52	9	0
	Max	44.26	39.18	14.81	0.88	32.5	5.7	5.70	67	9
	X	29.67	24.65	9.08	0.83	18.86	4.45	4.23	28.04	2.48
	CV	0.28	0.31	0.23	/	0.28	0.17	/	0.53	0.91
	δ	8.30	7.64	2.08	/	5.28	0.75	/	14.86	2.25
CY	Min	23.66	11.96	2.24	0.50	15	2.64	5.68	19	0
	Max	39.16	17.8	6.91	0.45	42.6	5.35	7.96	67	3
	X	30.61	14.49	3.91	0.47	27.84	4.11	6.77	37.47	0.78
	CV	0.11	0.1	0.29	/	0.27	0,18	/	0.38	0.38
	δ	3.36	1.44	1.13	/	7.51	0.73	/	14.23	0.29
Tk	Min	20.68	13.12	2.42	0.63	11	2.66	4.13	12	0
	Max	45.63	24.62	15.58	0.53	39	5.76	6.77	78	12
	X	36.27	19.22	9.11	0.52	22.07	4.22	5.22	33.66	2.9
	CV	0.12	0.18	0.37	/	0.33	0.16	/	0.52	0.15
	δ	4.35	3.45	3.37	/	7.28	0.67	/	17.50	0.43
Ak	Min	23.45	10.77	3.47	0.45	14	2.44	5.73	2.0	0
	Max	39.45	24.65	15.8	0.62	29	5.15	5.63	54	7
	X	32.12	20.66	9.32	0.64	21.78	4.06	5.36	26.66	1.86
	CV	0.11	0.11	0.27	/	0.19	0.17	/	0.47	1.10
	δ	3.53	2.27	2.51	/	4.13	0.69	/	12.53	2.04
VM	Min	13.5	11.66	1.2	0.86	6	1.57	3.82	2	0
	Max	45.25	37.09	13.41	0.81	44	6.62	6.64	60	11
	X	32.62	19.22	6.81	0.58	22.13	4.29	5.15	26.81	3.66
	CV	0.24	0.26	0.37	/	0.33	0.23	/	0.50	0.71
	δ	7.82	4.99	2.51	/	7.30	0.98	/	13.40	2.59
CA	Min	23.93	14.12	2.49	0.59	13.40	2.79	4.80	6	0
	Max	44.02	23.02	13.37	0.52	35.40	6.65	5.23	49	5
	X	36.94	17.90	7.85	0.48	22.30	4.18	5.33	21.36	2.72
	CV	0.12	0.08	0.24	/	0.27	0.23	/	0.48	0.63
	δ	4.43	1.43	1.88	/	6.02	0.96	/	10.25	1.71
HO	Min	8.57	13.5	3.25	1.57	13.7	3.15	4.34	7	0
	Max	44.5	20.69	12.10	0.46	35.4	5.48	6.45	39	6
	X	38.33	16.25	6.78	0.42	22.35	4.38	5.10	23.80	2.71
	CV	0.14	0.08	0.22	/	0.28	0.15	/	0.34	0.62
	δ	5.36	1.3	1.49	/	6.25	0.65	/	8.09	1.68
YA	Min	29.13	14.36	4.08	0.49	15	3.18	4.71	14	0
	Max	45	20.09	12.31	0.44	38.9	5.98	6.50	55	11
	X	38.88	17.29	7.80	0.44	28.27	4.65	6.07	31.60	3.5
	CV	0.08	0.07	0.22	/	0.19	0.16	/	0.38	0.72
	δ	3.11	1.21	1.71	/	5.37	0.74	/	12	2.52





**Fig.44.** Diagrammes en boîtes des paramètres morphométriques des glands de chênes putatifs dans les neuf stations étudiées en Algérie (Akfadou) (La :la hauteur ,Dc :diamètre au collet ,Nr :nombre de rameaux , Nf :nombre de feuille au seuil de 5%).



**Fig.45.** Variation du quotient de robustesse (Lh/Dc) des plants de plants de chêne quotient de vigueur (Qv) dans les stations inventoriées. (AS=Ait Salah ; LN=Lac Noir ; CY=Centre Cynégétique ;TK=Tala Kitan ;AK=Akfadou ;VM=Vide Mehaga ;CA=Col Ait Salah ;HO=Houra, YA=Yakouren.

## Discussion-Discusion

Nous avons montré que les paramètres biométriques et morphométriques des glands de ces espèces putatives qui se mélangent aux pures, nous renseignent sur l'origine de la glandée ; station originaire des arbres (effet station) et sur les espèces pures avoisinantes.

Il ressort de l'étude biométrique, que les glands des chênes putatifs des stations d'Akfadou (AK), Ait Salah (AS) et Tala-Kitan (Tk) se distinguent par les différences dimensionnelles (log-lar) et pondérales (pg)). Cette différence serait la résultante des conditions stationnelles plus humides en altitude et l'effet de proximité de l'espèce pure proche ; qui est le chêne afares et le chêne zéen pour la station (TK) Tala Kitan. Où on a trouvé le poids le plus marqué du à L'influence des caractéristiques environnementales et micro-environnementales spécifiques de la station et d'autre part à une variation génétique qui peut être liée à l'espèce pure proche. comme le cas de la station d'étude Ait Salah (AS) qui est fraîche où le chêne vert est l'espèce pure proche ; Une combinaison des deux facteurs pourrait être à l'origine de cette variabilité morphologique (Willan, 1985). Mercier & Rainville (1996) indiquent que la morphologie des glands des chênes du Québec n'est pas influencée par les conditions du terrain, mais plutôt contrôlée par le génotype. En outre, la variabilité morphologique des glands pourrait avoir une origine liée à la station d'origine et au peuplement (espèces pures proches); sur le potentiel germinatif et le développement ultérieur des semis et des plants.

Les conditions climatiques des stations, peuvent également générer des variations sur la taille et la morphologie des glands (Baquedano *et al.* 2008 ; Bonito *et al.* 2011).

La germination finale des glands dans les pots (sacs) peut être élargie aux provenances (stations) ainsi qu'aux familles d'une même provenance. Bien qu'il ne soit pas possible actuellement de se prononcer si le phénomène est influencé par le poids des glands, il apparait une relation étroite entre la germination et le poids des glands malgré que certains auteurs notent que la variation entre les différents semis ne se manifeste clairement qu'après quelques années de développement (Kremer, 1994 ; Houston, 1987) comme pour le cas des stations (AS-AK-VM-YA) où le poids des glands est plus marqué respectivement (9.08gr ; 9.32gr ; 6.81gr ; 7.80 gr) (Fig.44). (Voir Tabl.11).

Les résultats obtenus, ont montré que la taille des glands n'a aucune influence sur leur la germination ainsi que pour le développement des semis, ce qui concorde avec les résultats de plusieurs travaux de recherche ; (Ke & Werger (1999), Tilki & Alpetkin (2005) et Navarro *et al.* (2006), Houston (1987) et Thompson & Rabinowitz (1989) qui notent également

l'absence d'une corrélation entre la taille des glands et celle des semis de chêne, ce qu'ils interprétaient comme le résultat d'une forte variation entre les stations. En revanche, d'autres auteurs suggèrent que la hauteur des plants de chêne rouge (*Quercus rubra* L.) après deux ans de culture est corrélée positivement avec le poids des glands (Kolb & Steiner. 1989 ; Kremer 1990, 1994).

En outre, Long & Jones (1996) et Quero *et al.* (2007, 2008) rapportent que la taille des plants dépend fortement de la taille des glands durant les premières années de leurs développements, cet effet s'estompant progressivement jusqu'à sa disparition après quelques années.

Dans notre étude, les stations (AS-AK-VM-YA) où le poids des glands est plus marqué ; respectivement (9.08gr ; 9.32gr ; 6.81gr ; 7.80 gr), cette différence serait le résultat de l'effet de l'espèce pure proche (chêne *afares*) pour la station Tala kitan marquée en Longueur des glands (Log) ; ainsi que pour les stations (AK) et Ait Salah (AS) (ou le chêne vert est l'espèce pure proche) marqué par les poids (pg) et le rapport largeur /longueur (Lar/Log) .( Tabl.11).

Certains travaux (Lamhamedi *et al.* , 1997 ; Lamhamedi *et al.*, 2006) ont montré que le diamètre au collet peut expliquer plus de 97 % de la variation observée de la masse totale du plant. Les plants ayant un gros diamètre possèdent généralement des racines latérales bien développées tout en conférant aux plants un meilleur taux de survie.

L'analyse des traits morphologiques des semis montre que les stations (AS), (CY), (Tk) se distinguent par la grande dimension en Hauteur (La) et le diamètre au collet (DC). La diminution de la taille des semis présente une forme d'adaptation aux conditions climatiques pour les chênes méditerranéens, engendrant ainsi une meilleure résistance au déficit hydrique (Baldocchi & Xu. 2007 ; Peguero-Pina *et al.*,2014 ; Gil-Pelegrián *et al.*, 2017). Vu l'homogénéité des conditions de croissance des semis, on peut suggérer que les différences observées sont possiblement liées aux variations génétiques (population) qui auraient pour origine l'adaptation aux conditions environnementales (station).

L'étude de la croissance des semis ne montre aucune différence à l'intérieur et entre les différentes stations d'étude. En effet, certains auteurs notent que la variation entre les différents semis ne se manifeste clairement qu'après quelques années de développement (Houston, 1987 ; Kremer, 1994 ).

La comparaison des moyennes, hauteurs aériennes et diamètres au collet met en évidence une forte croissance au niveau de la station (AK) dont la croissance en hauteur avoisine 29 cm. Tandis que le diamètre au collet reste presque identique pour tous les plants où la moyenne varie de 4.06 à 4.65mm et la même logique pour le paramètre « nombre de feuilles » qui est un bon indicateur des capacités assimilatrices de la plante et de sa production en biomasse. L'histogramme du paramètre nombre de feuilles par plants fait ressortir une parfaite corrélation avec la hauteur aérienne. Plus les plants sont longs plus ils ont plus de feuilles. Cependant, la hauteur ne révèle pas une corrélation systématique avec la survie mais une bonne relation avec la croissance en hauteur (Lamhamedi *et al.*, 2006).

Dans la plus part des parcelles, les relations déduites mettent en évidence des corrélations positives hautement significatives au seuil  $\alpha=0.05$  ; les corrélations obtenues sont comprises entre 0.39 à 0.91. Les plus fortes liaisons se situent entre le diamètre au collet (Dc) et la largeur du gland (Dc et Lar) et entre la longueur aérienne et le nombre de feuilles (La et Nf). Certaines études, ont mis en lumière une corrélation positive significative entre la croissance des semis et le poids des glands (Kriebel, 1964 ; Gall et Taft. 1973 et Kolb, 1988). D'ailleurs, la masse des glands a été utilisée comme Co-variable dans une étude de familles réalisée par Kolb et Steiner(1989) sur des semis âgés de un et de deux ans.

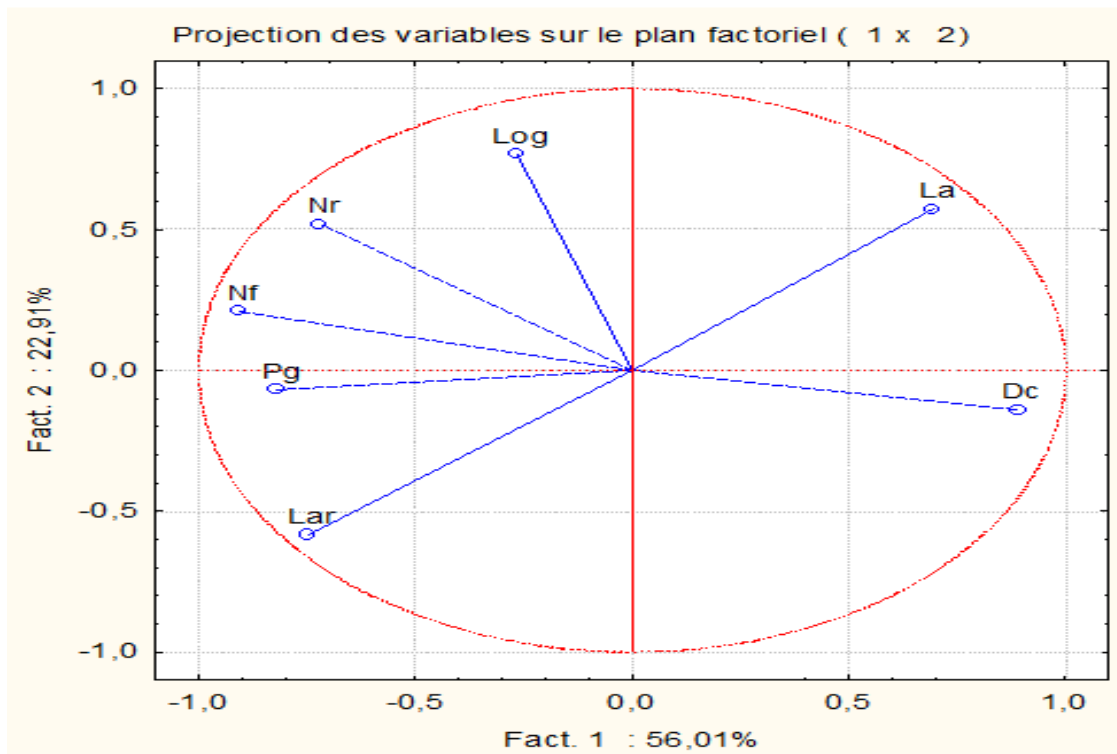
Bien que ces deux stations CA et AK soient proches, elles se différencient du point de vue de leurs conditions écologiques : faible pente, forte densité et terrain plus favorable et mécanisé pour la première.

Il est à noter aussi que les longueurs aériennes les plus élevées s'accompagnent des diamètres au collet les plus importants. La longueur aérienne est remarquablement plus élevée dans les stations Vide Mehaga (VM) et Tala Kitan (TK), cela peut être lié à la qualité et la taille des glands. Certaines études ont déjà souligné une corrélation positive significative entre la masse des glands et la croissance des semis (Kriebel, 1964, Gall et Taft. 1973, Kolb, 1988). La station Ait Salah (AS) se caractérise par un diamètre au collet plus étoffé, ce critère est plutôt recherché pour une meilleure qualité du plant (Mercier *et al.*, 1996).

L'examen des valeurs propres issues de l'ACP permet de retenir le plan factoriel 1\*2, qui expliquent 78.91% de la variance totale, soit 56.01% pour l'axe 1 et 22.90% pour l'axe 2. (Voir Tabl.3.annexes). La projection des variables sur le plan factoriel et l'examen de la matrice des corrélations (Tabl.3. Annexes) montrent une relation positive entre la longueur

aérienne et la longueur du gland, entre le nombre de feuilles et nombre de rameaux des jeunes plants. Enfin, il n'y apparaît pas l'influence positive du poids sur les paramètres morphologiques étudiés.

Les résultats obtenus ont montré que la taille des glands n'a aucune influence sur la germination des glands et le développement des semis. En revanche, d'autres auteurs suggéraient que la hauteur des plants de chêne rouge (*Quercus rubra* L.) après deux ans de culture est corrélée positivement au poids des glands (Kolb & Steiner. 1989 ; Kremer, 1990, 1994). En outre, selon Long & Jones (1996) et Quero *et al.* (2007, 2008). La taille des plants dépend fortement de la taille des glands durant les premières années de leur développement. Il s'agit d'une variable qui intègre la réponse morphologique aux facteurs environnementaux (effet station-espèce proche).

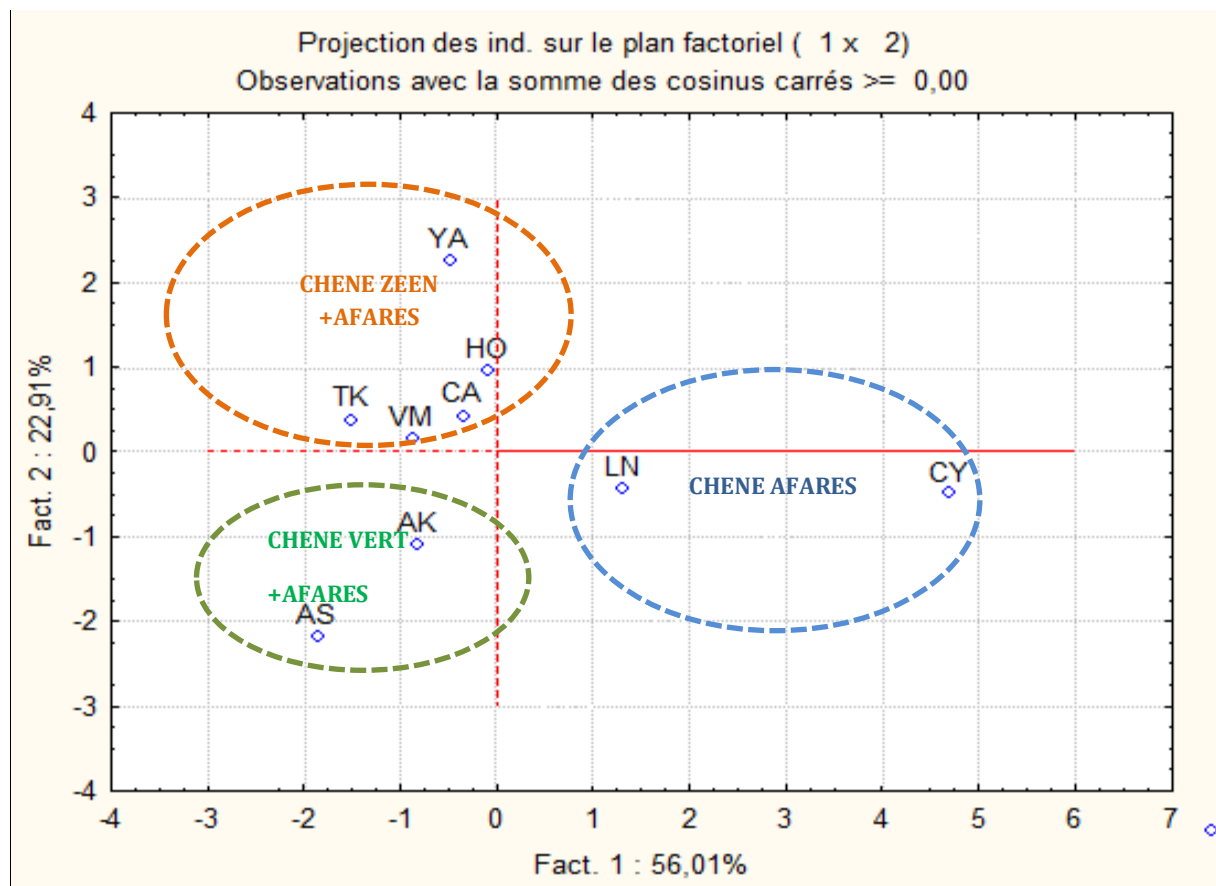


**Fig.46.** Projection des variables sur le plan factoriel retenu. Légende: DC :diamètre au collet ,La :hauteur aérienne ,Lar : largueur du gland ;Log :longueur du glands ;Pg :poids du glands ; Nf :nombre de feuilles ;Nr :nombre de rameaux(78.91%).

La projection des variables sur le plan factoriel et l'analyse des contributions des individus permettent de dégager des divergences et des analogies (Fig.46). Par rapport à l'axe 1, la longueur aérienne et le diamètre au collet augmente dans un sens et aussi la largueur et la longueur du gland augmentent dans un sens opposé. On remarque un lien pertinent entre la

masse des glands, la croissance en hauteur et le diamètre des plants après deux ans de culture en pépinière ayant montré statistiquement (box plots).

A travers la projection des individus sur le plan factoriel, on remarque que les stations qui présentent les mêmes conditions écologiques comme la pente, altitude, se regroupent comme les stations Akfadou (AK) et (AS). (Fig.47). En effet, les stations Akfadou (AK) et Ait Salah (AS) partagent les mêmes conditions stationnelles; se localisant en haute altitude avec la présence du chêne vert.



**Fig.47.** Projection des individus (station) sur le plan factoriel retenu avec la mention de l'espèce pure proche dominante.

La projection des individus sur le plan factoriel (Fig.47) déduit à un regroupement des stations en fonction de leur position géographique et présence de l'espèce pure avoisinante. Comme dans les cas des stations Ait Salah (AS) et Akfadou (AK), proche géographiquement, où l'espèce proche pure est le chêne vert. La même situation est observée pour les stations Lac Noir (LN) et Cynégétique (CY) avec le chêne afares comme espèce proche. En ce qui concerne les autres stations réunies (VM ; TK ; YA ; HO ; CA) on trouve un mélange de

chênes purs (chêne vert, chêne afares ; liège ; zéen). Enfin, nous pourrions affirmer que toutes les espèces de la même station débouchent vers des résultats plus homogènes en tenant compte de l'espèce proche (pure) qui se trouve aux alentours des chênes putatifs inventoriés.

## **Conclusion-Conclusion**

A travers cette recherche, nous avons étudié la variabilité de la biométrie des glands des chênes hybrides afin d'évaluer la croissance (vigueur) des semis issus des glands récoltés.

Les principaux résultats montrent que la croissance et le développement des plants des chênes supposés hybrides (putatifs) de toutes provenances confondues, sont influencés par l'effet altitude et d'espèce proche comme le cas de la station col Ait Salah (CA) où le chêne vert (*Q. rotundifolia*) avoisine les chênes putatifs inventoriés. Après deux années de culture en pépinière, les résultats obtenus montrent que le taux de germination, la hauteur et le diamètre des plants des chênes putatifs (hybrides) inventoriés sont fortement influencés par quelques facteurs stationnels liés à la provenance des glands (station de récolte).

La position ainsi que la région écologique influencent la morphologie des glands. La croissance de chêne putatif en pépinière est homogène en termes de hauteur et de diamètre des plants. Cependant, l'effet « espèce proche » apparaît clairement.

Des études sont en cours visant à compléter cette contribution par des analyses génétiques et une analyse morphométrique des feuilles d'arbres adultes pour une identification morphologique spécifique et une meilleure explication de la diversité et la distribution des espèces de chêne étudiées.

## Chapitre.5- Capitulo.5

Étude génétique préliminaire des chênes hybrides de l'Akfadou à l'échelle population.

Estudio genético preliminar de robles híbridos Akfadou a escala poblacion



### ***Introduction -introduccion***

Les espèces de chênes, bien que morphologiquement distinguables, peuvent être parfois difficiles à identifier, particulièrement lorsque plusieurs espèces sont en mélange dans le même peuplement. Les études antérieures basées sur la morphologie foliaire, ont montré que certains caractères différenciant par exemple les chênes sessiles et pédonculés sont particulièrement efficaces pour la distinction des espèces (Bacilieri *et al.*,1996a) et que cette différence de morphologie est stable sur toute l'aire de répartition (Kremer *et al.*,2002a). De plus, certaines espèces ont des caractéristiques morphologiques propres comme par exemple la présence de poils sous le limbe chez le chêne pubescent (Dupouey & Badeau, 1993 ; Bruschi *et al.*, 2000) ou la présence de trichome sur le limbe de chêne tauzin. Néanmoins, ces analyses indiquent que ces espèces ont une grande variabilité de morphologie et forment souvent un continuum pouvant rendre la distinction incertaine pour des individus à la morphologie intermédiaire ou combinée. Des hypothèses peuvent être invoquées pour rendre compte de ce continuum morphologique : soit la variabilité morphologique intra-spécifique forte qui rend difficile la séparation des espèces avec les variable mesurées, et / ou la présence d'hybrides possédant des morphologies intermédiaires rend la distinction entre espèces difficile. Ce constat démontre qu'il est impossible d'identifier des hybrides entre espèces de ce complexe par la seule morphologie (Lepais, 2002).

Les populations naturelles évoluent sous l'effet des processus de mutation, de sélection, de dérive génétique et de migration. La combinaison de ces forces évolutives peut conduire des populations à évoluer différemment les unes des autres, ce qui peut aboutir à la spéciation lorsque la divergence est importante (Mhamdi *et al.*, 2018). Cependant ce processus est graduel et la reproduction entre des espèces qui ne sont pas totalement isolées reproductivement conduit parfois au phénomène d'hybridation. L'hybridation est un

phénomène étudié de longue date chez les chênes. Au départ, des études de populations de chênes nord-américains utilisaient des critères morphologiques pour analyser le degré d'hybridation entre espèces (Muller, 1952). Ce dernier montre que le taux d'hybridation dépend des facteurs affectant la survie des hybrides et notamment des caractéristiques écologiques des espèces parentales. Si deux espèces sont adaptées à des sols différents, leurs hybrides survivront sur les sols intermédiaires. Les préférences climatiques des espèces vont jouer un rôle sur leur aire de répartition.

Afin de pouvoir étudier l'hybridation entre espèces appartenant au complexe de l'Akfadou, il est indispensable de s'appuyer sur des résultats morphométrique (chapitre 3) en ajoutant d'autres méthodes, tels que les marqueurs moléculaires génétiques, afin de pouvoir identifier précisément les espèces de leurs hybrides présents dans les populations d'Akfadou.

En effet, le développement des marqueurs moléculaires dans les années 80 a permis d'avoir une vision génétique de la différenciation inter-spécifique (Lepais, 2002).

Ce chapitre s'intéresse à l'étude génétique à échelle d'une population dans l'Akfadou.

Elle a porté sur quatre (4) espèces de chênes purs (*Q. suber*, *Q. canariensis*, *Q. rotundifolia*, *Q. afares* (hybride stabilisé (Mir *et al.*, 2006)) et (4) quatre hybrides présents aux alentours de ces derniers (H1-H2-H3-H4) choisies objectivement (stations différentes, espèces pures proches ciblées où les hybrides étaient choisis par un connaisseur expert de la région, de façon à échantillonner le maximum de variabilité à petite échelle) (Tabl.13).

Cinq à sept feuilles atteignant leur croissance maximale situées aux quatre côtés de l'arbre ont été prélevées. Les feuilles fraîches récoltées ont été envoyées dans les 24h au laboratoire de génétique (INIA, Madrid). Une analyse de la bibliographie (Messaoudène & Tessier 1991, Messaoudene *et al.*, 1997), ainsi que l'étude biométrique réalisée –Chapitre3 ; nous a permis d'identifier les principaux facteurs écologiques des stations échantillonnées (Tabl.5). L'objectif de cette étude est d'identifier et de ressortir les hybrides présents au niveau des stations inventoriées de l'Akfadou par des analyses génétiques par PCR (à petite échelle - population). L'hypothèse probable est l'existence d'autres hybrides que ceux cités par la bibliographie (*Q. kabylica* et *Q. numidica* selon Boudy, 1950 et Quézel, 1956).

## **5.1. Différents types d'ADN pour différents usages -Diferentes tipos del ADN para diferentes usos.**

Il y a trois types d'ADN chez les plantes : l'ADN du noyau qui est hérité des deux parents est le plus complexe (donc le plus riche en information, le texte de l'ADN est très "long") mais présent en un plus petit nombre de copies dans les cellules de la plante. Les deux autres types d'ADN sont plus courts (donc moins informatifs) mais présents en de multiples exemplaires dans chaque cellule. Il s'agit de l'ADN des chloroplastes (microvésicule siège de la photosynthèse au sein de la cellule végétale) et de l'ADN des mitochondries (autre microvésicule siège de la respiration au sein des cellules animales et végétales) (Lorenzo, 2006).

Ces deux derniers types d'ADN sont présents en de très nombreux exemplaires au sein de chaque cellule végétale. On peut donc en récupérer quelques copies intactes dans du bois ayant subi le vieillissement, la dessiccation et d'autres traitements qui altèrent globalement l'ADN, causant progressivement sa dégradation physique, ce qui compromet plus rapidement la récupération d'un ADN nucléaire analysable. Outre la dégradation physique de l'ADN, le vieillissement du bois dans l'arbre vivant puis après la mort de l'arbre et sa transformation industrielle s'accompagne aussi de l'accumulation de composés organiques qui gênent la récupération et l'analyse de l'ADN. L'hérédité (transmission par les parents) des chloroplastes et mitochondries varie entre les espèces. Chez les chênes et la plupart des feuillus, les chloroplastes comme les mitochondries sont héritées de la mère (Lepais, 2002).

## **5.2. Extraction de l'ADN végétal-Extracción del ADN vegetal**

L'extraction de l'ADN est le procédé qui permet d'isoler l'ADN contenu dans les noyaux cellulaires d'un fragment de tissu végétal (feuilles, graines). Il constitue le matériel de base pour toute analyse de marquage moléculaire. L'automatisation de ce procédé permet l'extraction de l'ADN d'un nombre important d'échantillons par unité de temps.

## **5.3. Types de marqueurs utilisés pour l'évaluation de la différenciation génétique -Tipos de marcadores utilizados para la evaluación de la diferenciación genética**

Les différents types de marqueurs utilisés pour étudier la différenciation génétique interspécifique entre les chênes sont:

### **5.3.1. Marqueurs isozymes - Marcadores de isoenzimas**

Les études menées sur la différenciation génétique entre le chêne sessile et le chêne pédonculé, ont été réalisées avec des marqueurs isozymes. Les enzymes étant des produits primaires de l'expression des gènes, leur variabilité reflète directement la variabilité au sein de l'ADN. La variabilité est cependant limitée par la dégénérescence du code génétique qui n'implique pas forcément un changement d'acide aminé à chaque substitution de base au niveau de l'ADN. Cet outil est aussi limité par le nombre de locus révélés (50 au maximum) et par une certaine spécificité d'organe. (Lorenzo, 2006).

### **5.3.2 .Marqueurs RAPD transformés en SeAR- Marcadores RAPD transformados en SeAR**

Afin de réaliser une recherche exhaustive des fragments qui discriminent les espèces Bodénès *et al.* (1996b) ont utilisé la technique RAPD basée sur la PCR qui permet d'amplifier un grand nombre de marqueurs rapidement. Le polymorphisme observé est de type présence-absence d'une bande (marqueur dominant) qui résulte de la substitution d'au moins une base dans l'un des sites de reconnaissance de l'amorce PCR. La méthode est caractérisée par une faible reproductibilité et elle ne produit principalement que des marqueurs dominants. Elle a cependant l'avantage de «prospector» rapidement le génome. Et c'est dans cet objectif qu'elle fut utilisée par Bodénès pour repérer des régions du génome différenciant les deux espèces de chênes. Parmi les 2800 fragments analysés par Bodénès *et al.* (1996a) seuls 36 présentaient des fréquences d'apparition significativement différentes entre les 2 espèces (soit 2%) dont l'isolement, le clonage et le séquençage ont permis la synthèse de 23 paires d'amorces spécifiques des régions discriminantes (SCAR). Neuf de ces amorces, dont 3 fournissent des marqueurs codominants révélés par SSCP, ont ensuite été utilisées pour estimer l'indice de différenciation interspécifique dans 8 paires de populations européennes réparties du Nord de l'Espagne à la Pologne (Bodénès *et al.*, 1997).

### **5.3.3. Marqueurs microsatellites-Marcadores de microsatélites**

Les marqueurs microsatellites ou SSRs pour " Simple Séquence Repeats " sont des fragments d'ADN constitués de séquences répétées en tandem de 2 à 3 paires de base. Le polymorphisme observé est lié à des variations de longueur des fragments en raison de changement du nombre d'unités de répétition.

Ces marqueurs ont l'avantage d'être codominants, répartis sur l'ensemble du génome et reproductibles. La mise au point de banques microsatellites chez le chêne (Kampfer et *al.*, 1998; Steinkellner et *al.*, 1997) a permis d'utiliser ces marqueurs pour étudier la différenciation génétique.

#### **5-3.4. Marqueurs SNP-Marcadores SNP**

Les SNP (Single Nucleotide Polymorphism) correspondent à des mutations ponctuelles isolées. Le polymorphisme est donc au niveau d'un seul nucléotide. La variation de la séquence d'ADN génomique est stable, portant sur une seule base, toutes les 100 à 300 bases environ du génome. Ainsi, beaucoup de SNP n'ont pas d'implications fonctionnelles. Cependant ceux se trouvant dans les régions codantes (SNPc) et régulatrices des gènes, seront particulièrement intéressants pour réaliser la cartographie des maladies multifactorielles chez l'homme (étude d'association de gènes candidats impliqués dans ces maladies) (Lorenzo , 2006).

#### **5.3.5. Marqueurs AFLP- Marcadores AFLP**

La technique AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphisms) consiste à amplifier sélectivement des fragments d'ADN issus d'une digestion de l'ADN génomique par des enzymes de restriction (Vos et *al.*, 1995). Le polymorphisme observé correspond à une ou plusieurs mutations aux sites de restriction des enzymes ou à des mutations au niveau des nucléotides sélectifs. Comme les marqueurs RAPD, cette technique fournit rapidement un grand nombre de marqueurs répartis sur l'ensemble du génome. Elle présente en plus l'avantage d'être nettement plus reproductible (Bleas et *al.*, 1998).

La mise au point de cette technique au laboratoire a permis de l'utiliser en routine pour l'étude de la diversité et de la différenciation entre les chênes.

### **5.4. Outils moléculaires: Microsatellites nucléaires - Herramientas Moleculares- Microsatélites Nucleares**

Pour mettre en œuvre des programmes de sélection, d'amélioration et de conservation rationnels des arbres forestiers, il faut impérativement disposer d'informations fiables. On évalue la variation génétique d'une espèce soit en mesurant ses caractères morphologiques et métriques sur le terrain, soit en étudiant les marqueurs moléculaires en laboratoire. Il y a peu de temps encore, les techniques de laboratoire s'appuyaient sur des estimations de la diversité

génétique et sur les paramètres des systèmes de croisement provenant d'études de population utilisant des isoenzymes. Ces derniers constituent toujours une méthode relativement simple et peu coûteuse pour obtenir des informations génétiques, mais leur application est limitée par le nombre de loci d'isoenzymes, leur faible niveau de variabilité chez certaines espèces et le fait qu'ils ne révèlent la variation que dans des gènes codant des protéines. La mise au point de méthodes utilisant des marqueurs d'ADN, y compris RAPD (amplification aléatoire d'ADN polymorphe), RFLP (polymorphisme réduit de la longueur des fragments), AFLP (polymorphisme amplifié de la longueur des fragments) et les microsatellites, a permis de surmonter les contraintes liées au nombre de loci variables et fourni les outils pour étudier les variations dans les régions codantes, non codantes et très différenciées des génomes tant nucléaires que d'organelles (Lorenzo, 2006)

Les microsatellites sont un type de marqueur d'ADN utilisé pour la définition de génotypes individuels et dans les études de flux de gènes des arbres forestiers. Les microsatellites, ou séquences répétées en tandem (SSR), consistent en segments d'ADN contenant de nombreuses répétitions en tandem d'une séquence à "motif" court, normalement d'une à six bases (*par exemple* CACACACA...). On procède à une amplification par réaction en chaîne de la polymérase (PCR) (Mullis et Faloona. 1987), en utilisant des amorces conçues pour aller avec les séquences uniques entourant la répétition en tandem. Le processus PCR reproduit de nombreuses fois le segment d'ADN visé contenant la séquence microsatellite.

L'utilité des microsatellites est due à leur forte variabilité ainsi qu'à la capacité de semi-automatiser leur analyse et leur hiérarchisation. Les microsatellites sont des marqueurs codominants (on peut distinguer les hétérozygotes des homozygotes) et fournissent donc beaucoup plus de renseignements pour définir les génotypes individuels et pour établir la carte des liens génétiques que les marqueurs dominants tels que les RAPD et les AFLP. Toutefois, le nombre de séquences de microsatellites dans le génome est limité, ce qui oblige à les utiliser uniquement pour la cartographie, alors que le nombre des loci des RFLP, RAPD et AFLP est pratiquement illimité. (Hedrick , 1999).

## **5.5. Application des microsatellites aux arbres forestiers- Aplicación de microsatélites a árboles forestales**

Les premiers microsatellites des arbres forestiers ont concerné *Pinus radiata* (Smith et Devey, 1994). Depuis, ils ont été développés à partir des génomes nucléaires d'un certain nombre d'arbres de forêts tempérées et tropicales (Tabl.12). Et également isolé des microsatellites du génome du chloroplaste dans plusieurs espèces de *Pinus* (Powell *et al.*, 1995; Cato et Richardson. 1996; Vendramin *et al.*, 1996) et *Abies alba* (Vendramin et Ziegenhagen. 1997). Le génome du chloroplaste est hérité du côté paternel chez la plupart des gymnospermes, ce qui permet de procéder à des études comparatives entre les flux de gènes transmis par le pollen et les flux de gènes transmis par les graines et à l'analyse de paternité des autres espèces (Kent et Richardson. 1997).

**Tabl.12.** Locis de microsatellites caractérisés dans des arbres forestiers

Essences	Nombre de locis	Source
<i>Acacia mangium</i>	10	Decroocq <i>et al.</i> , 1997
<i>Dryobalanops lanceolata</i>	1	Terauchi ,1994
<i>Eucalyptus nitens</i>	4	Byrne <i>et al.</i> , 1996
<i>Eucalytus grandis and E. urophylla</i>	20	Brondani <i>et al.</i> , 1998
<i>Eucalyptus sieberi</i>	10	Glaubitz <i>et al.</i> , 1999
<i>Eucalyptus globulus</i>	25	G.F. Moran CSIRO FFP (unpub. data)
<i>Fagus crenata</i>	9	Tanaka <i>et al.</i> ,1999
<i>Grevillea macleayana</i>	7	England <i>et al.</i> , 1999
<i>Gliricidia sepium</i>	4	Dawson <i>et al.</i> , 1997
<i>Melaleuca alternifolia</i>	102	Rossetto <i>et al.</i> ,1999a
<i>Pinus radiata</i>	24	Smith et Devey 1994; Devey <i>et al.</i> , 1999; Echt <i>et al.</i> ,1999
<i>Pinus sylvestris</i>	2	Kostia <i>et al.</i> ,1995
<i>Pinus strobus</i>	23	Echt <i>et al.</i> , 1996; 1999
<i>Pinus contorta</i>	5	Hicks <i>et al.</i> , 1998
<i>Picea abies</i>	7	Pfeiffer <i>et al.</i> ,1997
<i>Picea sitchensis</i>	7	van de Ven et McNicol .1996
<i>Pithecellobium elegans</i>	5	Chase <i>et al.</i> , 1996a
<i>Populus tremuloides</i>	4	Dayanandan <i>et al.</i> , 1998
<i>Quercus macrocarpa</i>	3	Dow <i>et al.</i> , 1995
<i>Quercus myrsinifolia</i>	9	Isagi et Suhandono .1997

<i>Quercus petraea</i>	17	Steinkellner <i>et al.</i> , 1997
<i>Shorea curtissii</i>	9	Ujino <i>et al.</i> , 1998
<i>Symphonia globulifera</i>	3	Aldrich <i>et al.</i> , 1998
<i>Swietenia humilis</i>	13	White et Powell. 1997a; 1997b

Les principaux domaines dans lesquels les marqueurs microsatellites sont appliqués dans les arbres forestiers comprennent des études de la diversité génétique chez les populations naturelles et d'amélioration, en particulier chez les espèces affichant de faibles niveaux de variation des isoenzymes, du flux de gènes, de la dissémination du pollen et/ou des graines et des modes de croisement. Ces paramètres touchant la conservation des ressources génétiques forestières, on utilise les microsatellites pour surveiller les effets génétiques des pratiques sylvicoles et de la fragmentation des forêts. Dans les programmes de domestication, on peut utiliser les microsatellites pour identifier du matériel génétique et pour aider à l'établissement de cartes des liens génétiques, dans le but éventuel de procéder à la sélection à l'aide de marqueurs.

### **5.6. Détermination des génotypes à l'aide de microsatellites (identification au moyen de l'ADN) - Determinación de genotipos mediante microsatélites (identificación mediante ADN).**

La plus grande variabilité des microsatellites par rapport à celle des isoenzymes augmente la probabilité que chaque individu d'une population ait un génotype unique, ce qui rend les microsatellites particulièrement utiles pour identifier ou surveiller le flux de pollen ou la dissémination des graines. Cela devrait aussi rendre ces marqueurs extrêmement sensibles aux changements dans l'effectif ou la structure d'une population d'amélioration et aux changements dans les taux de dissémination (Slatkin, 1995). Chez *Pithecellobium elegans*, qui pousse en forêt tropicale humide, Chase *et al.* (1996a) ont pu distinguer 80% des individus d'une population à l'aide seulement de trois locis de microsatellites contre 37% à l'aide de six locis d'isoenzymes. Il y avait aussi un plus grand nombre d'allèles des microsatellites qui étaient apparemment limités à des populations uniques, ce qui a permis de mieux détecter les flux de gènes entre populations.

Il existe principalement deux grands groupes de marqueurs, qui sont révélés par hybridation avec des sondes marquées et celles obtenues par amplification par PCR (Mullis *et al.*, 1986). La technique de PCR est un système d'amplification d'ADN *in vitro*; Elle est basée sur la copie d'un fragment d'ADN de matrice par l'action d'une polymérase thermostable, et nécessite la présence d'oligonucléotides agissant comme amorces (amorces). Les amorces sont des fragments d'ADN d'un seul brin dont la séquence est complémentaire à ceux flanquant la région à amplifier. La réaction est cyclique de sorte que les copies obtenues augmentent exponentiellement, en obtenant des millions d'entre elles à partir d'une très petite quantité d'ADN.

Dans ce groupe, se trouvent les soi-disant microsatellites ou SSR (Simple Séquence Repeats). Les microsatellites sont des répétitions de séquences simples de 1 à 6 paires de bases (par exemple (TG)<sub>n</sub>, (ATT)<sub>n</sub>) qui sont largement distribués dans le génome des eucaryotes et procaryotes, et dans les différents organites cellulaires. Chez les plantes, les microsatellites peuvent être nucléaires ou chloroplastiques. Ils constituent des régions hypervariables, avec un haut degré de polymorphisme, qui en principe les rend appropriés comme marqueurs moléculaires. Sa fonction n'est pas claire, entre autres ont été attribué la régulation des gènes, l'organisation de la chromatine, la réplication de l'ADN et la recombinaison (Li *et al.*, 2002) (Hamada *et al.*, 1984); cependant, ils sont généralement considérés comme des marqueurs neutres, utiles à l'étude de la diversité et du flux génétique.

Ce sont des marqueurs co-dominants qui permettent d'étudier les populations, les cartes génétiques et des études phylogénétiques (voir exemples: Tachida et Iizuka (1992), et Awadalla Ritland (1997) et Schlotterer et Wiehe (1999)).

L'origine principale du polymorphisme dans les microsatellites est due aux différences dans le nombre de répétitions qui le composent. Deux mécanismes de mutation ont été proposés pour la formation de nouveaux allèles de séquences répétées: le glissement d'une bande de réplication et l'échange inégal dans la méiose. Le glissement des ADN polymérases implique qu'au cours de la réplication de séquences courtes répétées en tandem, lorsque la dissociation-réassociation des chaînes se produit, de petites boucles peuvent être formées. Ces structures, si elles ne sont pas réparées, conduiront à une augmentation ou une diminution du nombre d'unités récurrentes, selon que la boucle se forme respectivement dans la nouvelle chaîne de synthèse ou dans la chaîne parentale (Sia *et al.*, 1997). Des expériences *in vitro* utilisant des

oligonucléotides synthétiques et différentes polymérasés, ont montré que la vitesse de glissement varie avec la taille de l'unité récurrente (plus élevée pour les mono- et di nucléotides, par exemple (TG)<sub>n</sub>) et pour la séquence lente dans les répétitions riches en GC) (Schlotterer et Tautz. 1992).

### **5.7. Structure génétique à l'échelle locale (échelle population) - Estructura genética local**

Un certain nombre d'études actuelles ont analysé la structure génétique des populations pour aborder des questions spécifiques d'évolution et de conservation en biologie (Balloux et Lugon-Moulin. 2002). L'utilisation de méthodes statistiques spécifiques à la génétique quantitative pour estimer l'héritabilité et les corrélations avec les traits phénotypiques ont fourni des informations supplémentaires sur la structure génétique des populations naturelles (Slatkin, 1994). L'un des problèmes de l'analyse de cette structure de population est le fait de pouvoir déterminer la quantité de flux génétique inter et intra-population. Ce flux génétique est le principal facteur de la structure de la population puisqu'il détermine dans quelle mesure chaque population locale est une unité évolutive indépendante, qu'elle soit ou non isolée. Les informations disponibles sur les niveaux et la structure de la diversité génétique des espèces forestières sont très limitées, principalement en ce qui concerne la répartition intra-population de cette diversité (Sork *et al.*, 1999).

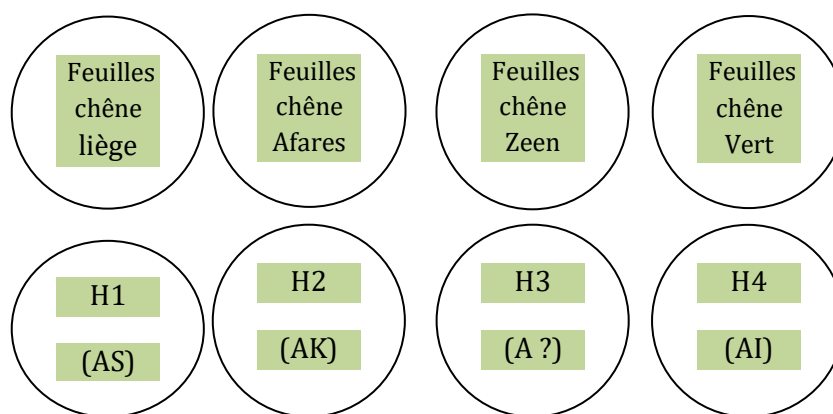
### **5.8. Matériel expérimental et méthodologie : Structure génétique à l'échelle d'une population locale- Material experimental y metodología: Estructura genética a escala de una población local**

#### **5.8.1. Lieu d'étude et objectifs-Lugar de estudio y objetivos**

Pour cette étude pionnière, nous avons récolté les feuilles fraîches de huit (8) populations où nous avons pris cinq à sept feuilles dans les quatre orientations des espèces pures et quatre (4) hybrides (Tabl.13). Les microsatellites sont des marqueurs largement utilisés pour plusieurs fins dans les chênes.

Pour leur amplification nous avons utilisé les amorces correspondantes conçues par les auteurs. Transférabilité de QpZAG9, QpZAG15, QpZAG36 et QpZAG46 au *Q.suber*, *Q.rotundifolia*, déjà été signalé (Gomez *et al.*, 2001; Hornero *et al.*, 2001 in Soto *et al.*,2003).

6 locus ont été sélectionnés comprenant : MSQ13, ZAG46, ZAG15, ZAG11, ZAG112, ZAG9.



D'où **H1** : hybride qui ressemble beaucoup au chêne afares morphologiquement située au col ait salah.

**H2** : hybride qui ressemble au chêne afares présent au cœur de la forêt de l'Akfadou.

**H3** : hybride qui ressemble morphologiquement au chêne Vert.

**H4** : hybride présent dans une station où le chêne Vert est fréquent (Voir schéma).

**Tabl.13.** Description et position des stations inventoriées avec leurs coordonnées géographiques

Signes	Espèce/Quercus	Stations	N°	Altitude	Position géographique
QSU_1	<i>Quercus suber</i>	Ait Aicha	1	1098	36°38'814" 004°31'412"
QSU_2	<i>Quercus suber</i>	Ait Aicha	2		
QSU_3	<i>Quercus suber</i>	Ait Aicha	3		
QSU_4	<i>Quercus suber</i>	Ait Aicha	4		
QSU_5	<i>Quercus suber</i>	Ait Aicha	5		
QAF_1	<i>Quercus afares</i>	sidi el hadi	1	1050	36°41'811" 004°30'332"
QAF_2	<i>Quercus afares</i>	sidi el hadi	2		
QAF_3	<i>Quercus afares</i>	sidi el hadi	3		

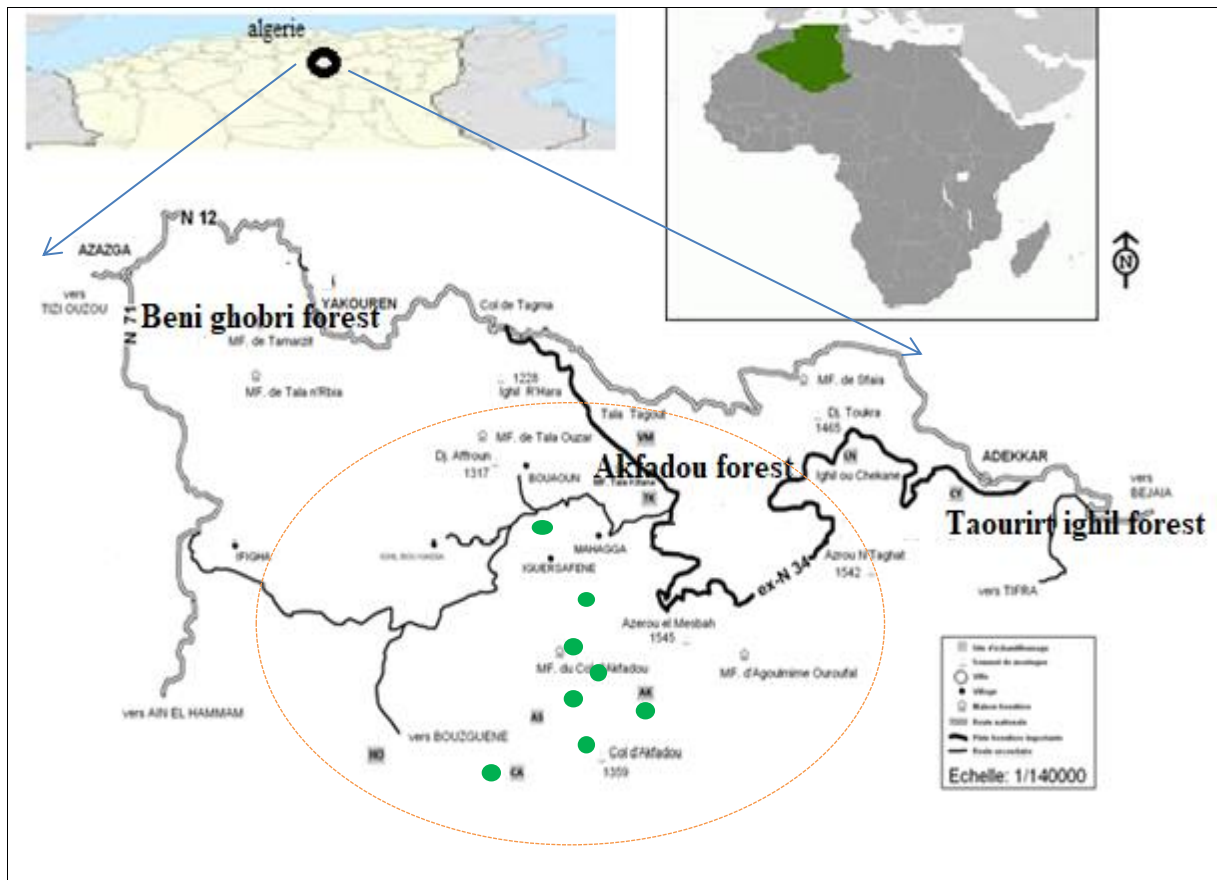
QAF_4	<i>Quercus afares</i>	sidi el hadi	4			
QAF_5	<i>Quercus afares</i>	sidielhadi	5			
QCA_1	<i>Quercus canariensis</i>	Col Akfadou	1			
QCA_2	<i>Quercus canariensis</i>	col akfadou	2			
QCA_3	<i>Quercus canariensis</i>	col akfadou	3			
QCA_4	<i>Quercus canariensis</i>	col akfadou	4			
QCA_5	<i>Quercus canariensis</i>	Col Akfadou	5	1371	37°37'190"	004°32'145"
QIL_1	<i>Q. rotundifolia</i>	Ait Aicha	1			
QIL_2	<i>Q.rotundifolia</i>	Ait Aicha	2			
QIL_3	<i>Q.rotundifolia</i>	Ait Aicha	3			
QIL_4	<i>Q.rotundifolia</i>	Ait Aicha	4			
QIL_5	<i>Q.rotundifolia</i>	Ait Aicha	5	1270	36°37'609'	004°31'981"
QH1_1	H 1.1	Col Akfadou	1			
QH1_2	H 1.2	Col Akfadou	2			
QH1_3	H1.3	Col Akfadou	3			
QH1_4	H 1.4	Col Akfadou	4	1330	36°37'472"	004°31'748"
QH2_A	H 2 A	col ait salah	1	1339	36°61'785"	004°52''446"
QH2_B	H2 B	col ait salah	2	1339	36°61'785"	004°52''446"
QH3_1	H 3	col akfadou	5	1330	36°37'472"	004°31'748"
QH4_1	H4	Ait Aicha	1			
QH4_2	H 4	Ait Aicha	2			
QH4_3	H 4	Ait Aicha	3			
QH4_4	H4	Ait Aicha	4			
QH4_5	H4	Ait Aicha	5	1270	36°37'609'	004°31'981"

## 5.8.2. Outils moléculaires : microsattellites nucléaire - Herramientas

### moleculares: microsátelites nucleares

#### 5.8.2.1. Matériel végétal - Material vegetal

Le développement de marqueurs moléculaires de type nSSR a été réalisé sur 8 populations de chênes au niveau de l'Akfadou; un chêne vert (*Q.rotundifolia*), un chêne liège (*Q. suber*), un chêne afarès (*Q. afares*), un chêne zéen (*Q. canariensis*) et quatre (4) autres échantillons hybrides putatifs morphologiquement différents (feuilles et tronc) (Fig.48).



**Fig.48.** Position des arbres échantillonnés pour les analyses génétiques (pour extraction de l'ADN).

### 5.8.2.2. Extraction d'ADN- Extracción del ADN

L'ADN a été extrait de feuilles fraîches 24h après la récolte, selon la méthode décrite par (Doyle et Doyle.1990) modifiée par (Dumolin *et al.*, 1995)

- **Microsatellites nucléaires- Microsatélites nucleares**

Le transfert de six microsatellites pour les différents chênes purs et hybrides a été testé (Tabl.14) à partir de différentes espèces

**Tabl.14.** Nombre d'individus échantillonnés et les six locis utilisés dans l'analyse des échantillons.

Species	N°ind/Feuille	locis	Les locis utilisés
<i>Q. Suber</i>	5	1	MSQ13
<i>Q. afares</i>	3	2	ZAG46
<i>Q. canariensis</i>	4	3	ZAG11
<i>Q. rotundifolia</i>	5	4	ZAG15
Q.H1	3	5	ZAG112
Q.H2	1	6	ZAG9
Q.H3	1		
Q.H4	5		
8pop	27		

**Tabl.15.** Concentrations de l'ADN dans les différents échantillons.

Sample ID	ng/ul
Buffer	-0,29
QSU_1	212,06
QSU_2	332,34
QSU_3	242,97
QSU_4	245,93
QSU_5	282,77
QAF_1	158,67
QAF_2	136,76
QAF_3	112,59
QAF_4	233,27
QAF_5	264,08
QCA_1	238,41
QCA_2	260,14
QCA_3	239,23
QCA_4	307,54
QCA_5	279,89
QIL_1	173,6
QIL_2	244,78
QIL_3	202,46
QIL_4	465,7
QIL_5	402,01
QH1_1	555,21
QH1_2	364,41
QH1_3	398,45
QH1_4	359,13
QH2_A	107,92

QH2_B	189,19
QH3_1	461,82
QH4_1	287,8
QH4_2	221,04
QH4_3	110,98
QH4_4	196,46
QH4_5	298,9

### 5.8 3. Résultats- Resultados

**Discrimination et identification génétique à l'échelle d'une population des chênes de l'Akfadou : Outils moléculaires : microsatellites nucléaire - Extraction d'ADN et microsatellites nucléaires- Discriminación e identificación genética a escala de una población de robles Akfadou: Herramientas moleculares: microsatélites nucleares - Extracción de ADN y microsatélites nucleares**

Le résultat du transfert de six microsatellites pour les chênes purs et hybrides a été testé (Tabl.14 et Tabl.15) à partir de différentes espèces où 6 locus ont été sélectionnés ; comprenant : MSQ13, ZAG46, ZAG15, ZAG11, ZAG112, ZAG9. (D'où H1 : hybride qui ressemble au chêne *Afares* morphologiquement col Ait Salah. H2 : hybride présent à l'Akfadou (station col Akfadou). H3 : hybride qui ressemble morphologiquement (feuilles) au chêne Vert. H4 : hybride présent dans une station Adrar riche en chêne Vert.

Les hybrides H1, H2, H4 présentent des allèles différents par les microsatellites (6 locis utilisés) (résultats de l'amorçage génétique). Morphologiquement les hybrides H1, H2 présentent une morphologie de chêne *afares* par leurs feuilles et de chêne liège par leur écorce. Les résultats de la PCR confirment que ces espèces sont des hybrides par la présence des allèles de chêne liège dans ces derniers comme pour le cas H2; vu l'absence actuelle de pieds de chêne liège dans la station ! Ceci montre efficacement le rôle que jouent la diversité génétique et la mobilité du pollen.

L'hybride H3 contient des allèles de chêne liège et de chêne vert avec tous les microsatellites QpZAG13 (locis) (même structure génétique avec les hybrides se trouvant en Espagne

(parcs de Madrid- Lorenzo ,2006) obtenue par les QpZAG13 qui ont montré le même modèle interprétable dans les deux espèces où les allèles des *Q.suber* et *Q.rotundifolia*; notés par (Lorenzo, 2016). (Identification d'hybrides).

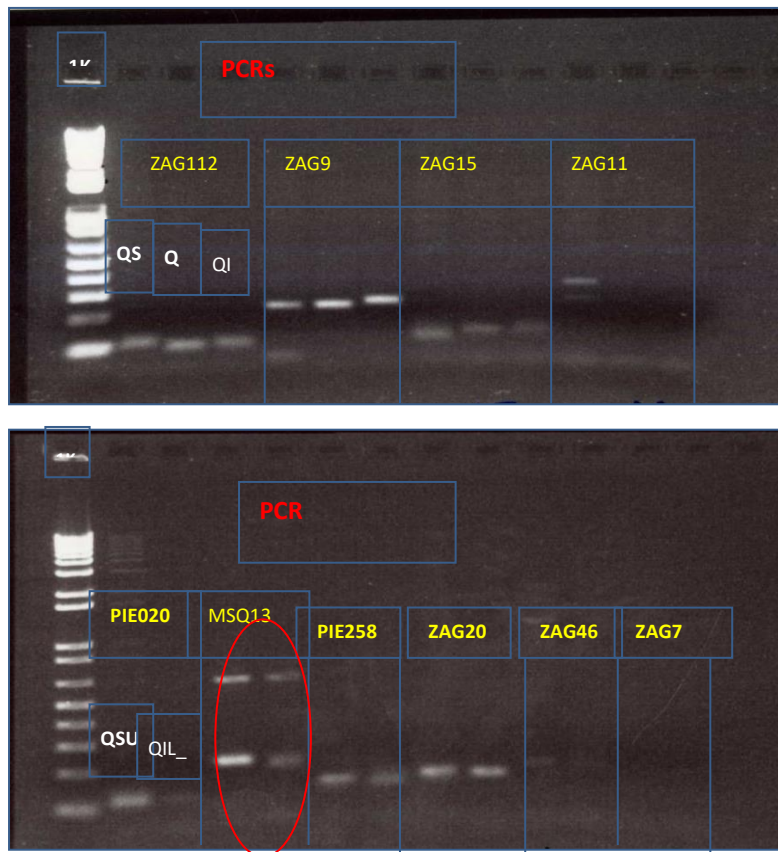
**Tabl.16.** Récapitulatifs des résultats de la nSSR : La lecture des gels d'amplification des amorces utilisées a montré que seule l'amorce *QpZAG13* a pu donner des résultats à travers nos échantillons.

CODE	Site	MSQ13		ZAG46		ZAG15		ZAG11		ZAG112		ZAG9	
QSU_1	QSU	219	223	188	190	104	121	243	243	103	103	224	224
QSU_2	QSU	219	219	190	190	103	123	243	243	99	103	224	224
QSU_3	QSU	219	219	180	188	123	123	243	243	88	88	224	224
QSU_4	QSU	219	219	180	190	120	123	243	243	99	101	224	224
QSU_5	QSU	219	219	188	190	120	123	243	243	87	103	224	224
QAF_2	QAF	223	223	194	195	104	124	243	243	87	97	224	241
QAF_3	QAF	223	223	193	195	123	125	243	243	87	87	224	224
QAF_5	QAF	223	223	180	190	123	125	243	243	87	87	224	224
QCA_1	QCA	194	223	200	207	108	108	-1	-1	87	87	249	249
QCA_2	QCA	219	225	200	207	108	108	-1	-1	87	87	-1	-1
QCA_3	QCA	190	219	200	207	108	110	-1	-1	87	87	-1	-1
QCA_4	QCA	223	223	200	207	108	109	243	243	88	92	-1	-1
QIL_1	QIL	199	205	181	181	114	146	243	243	-1	-1	218	247
QIL_2	QIL	203	207	215	215	113	125	243	243	84	84	243	255
QIL_3	QIL	199	209	181	181	123	137	243	243	89	89	233	243
QIL_4	QIL	199	214	-1	-1	114	124	243	243	84	84	243	248
QIL_5	QIL	199	203	191	191	114	124	243	243	84	84	243	249

QH1_1	QH1	219	225	192	193	121	123	243	243	87	101	224	224
QH1_2	QH1	223	225	188	194	103	123	243	243	87	103	224	224
QH1_3	QH1	219	219	180	188	120	123	243	243	-1	-1	224	234
QH2_B	QH2	223	219	191	195	-1	-1	243	243	87	103	224	230
QH3_1	QH3	205	219	180	180	104	120	243	243	103	103	224	248
QH4_1	QH4	223	223	180	191	123	123	243	243	87	87	224	224
QH4_2	QH4	223	223	180	180	123	123	-1	-1	-1	-1	224	224
QH4_3	QH4	223	223	181	195	123	123	243	243	87	87	224	224
QH4_4	QH4	223	223	181	195	104	124	-1	-1	85	87	224	224
QH5_5	QH4	223	223	180	181	123	124	-1	-1	87	89	224	224



**Fig.49.** Photo d'un chêne hybride station AK? (H != hybride génétiquement identifiée entre *Q. suber* et *Q. rotundifolia* (H3).



**Fig.50.** Ségrégation des allèles et identification génétique d'un chêne hybride entre *Q. rotundifolia* et *Q. suber*.

## Discussion et conclusion-Discusión y conclusión

### ***Outils Moléculaires: Microsatellites Nucléaires- Herramientas Moleculares: Microsatélites Nucleares***

Le Transfert des six microsatellites a été obtenu pour soutenir la théorie de ces marqueurs moléculaires présentant un certain degré de conservation dans certains taxons forestiers; comme le genre *Quercus*. Nous estimons que des marqueurs de transfert sont raisonnables entre les espèces (Tabl.16).

Malgré l'intérêt économique et écologique de ces espèces en méditerranée, Les connaissances restent limitées quant à la structure génétique et le flux génétique de ces espèces sclérophylles du genre *Quercus* (*Q. rotundifolia* et *Q. suber*) et caducifoliés (*Q. canariensis* et *Q. afares*).

Cette étude a mis en évidence la richesse arborescente de la zone d'étude (Akfadou-zone d'hybridation).

En ce qui concerne la structure génétique de l'hybride H3, les résultats obtenus indiquent qu'il contient des allèles de *Q. suber* et *Q. rotundifolia* par les microsatellites (loci) utilisés, ce qui rend possible une analyse plus poussée (Fig.50).

Les chênes sont des espèces communes dans une grande partie du monde et sont impliqués dans un nombre croissant d'étude génétique portant sur la structure et les flux de gènes. De nouvelles méthodes d'analyses des données génétiques multi locus donnent des informations des événements passés (climatiques ou autres), et l'attribution de la génétique ou la détection de sélection (Lorenzo, 2016).

L'application pratique évidente permettra d'éviter les problèmes d'inadaptation écologique et donnera une bonne productivité du matériel végétal. Néanmoins, cette présente recherche basée sur une première étude des marqueurs microsatellites chloroplastiques reste utile pour l'étude de la diversité génétique des chênes de l'Akfadou. D'une manière générale, l'échantillonnage effectué pour cette recherche est certainement insuffisant pour conclure pleinement. Pour cela, il faudrait augmenter le nombre d'individus par population et faire un choix précis des chênes à analyser.

Les marqueurs SSR sont un outil important pour une analyse plus fine de la structuration de la diversité génétique des populations d'arbres forestiers et de la reconstruction du flux de gènes intra et inter-populations. Ils permettront d'avoir une idée sur les événements historiques.

La connaissance de la structure génétique au niveau local des populations mixtes fournit des informations sur la biologie reproductive des espèces. Dans des conditions environnementales similaires, les événements reproducteurs ne sont conditionnés que par les caractéristiques génétiques de chaque espèce. Cette information est importante pour la compréhension de la dynamique des populations, la gestion et l'évaluation des effets des différents traitements sylvicoles utilisés dans la gestion. L'organisation spatiale a d'importantes conséquences évolutives puisque la répartition des individus dans la population affecte les processus de différenciation au sein de l'espèce (Levin, 1974; Epperson et Clegg. 1992). De même, la structure génétique des populations est conditionnée par les stratégies de reproduction de l'espèce et par le traitement auquel la masse a été soumise historiquement. À l'heure actuelle, nous manquons d'information sur les changements dans la structure génétique des populations de nos forêts, qui sont intensément soumises à l'anthropisation (Sork *et al.*, 1999).

Les essais de provenance fourniront à l'avenir des informations sur la variation adaptative et le comportement des différentes origines. Dans certains cas, il peut être nécessaire de recourir à conserver les génotypes pour une restauration ultérieure. L'étude génétique à petite échelle reste une démarche préliminaire mais représente un début et un atout d'une grande recherche d'avenir sur les hybrides algériens et l'hybridation en méditerranée.

# **Conclusion générale et perspectives-** **Conclusión general y perspectivas**



### ***Conclusion générale et perspectives- Conclusión general y perspectivas***

Les chênes sont des espèces communes dans une grande partie du monde et sont impliqués dans un nombre croissant d'études de recherches mondiales, y compris la structure morphologique et le flux génétique.

Les recherches menées dans le cadre de cette thèse ont été effectuées dans le massif d'Akfadou. Cette forêt est constituée d'espèces pures et hybrides du genre *Quercus*. Notamment dans les peuplement mixtes marqués par la présence de chêne liège (*Quercus suber* L.), de chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) ,de chêne vert (*Quercus rotundifolia* L.) et de chêne afares (*Quercus afares* Pomel) considéré comme hybride endémique stabilisé (Mir *et al.*, 2006 ). Toutefois nous ne disposons pas d'informations suffisantes sur la diversité des hybrides.

L'objectif de notre présente recherche consiste à prospecter la diversité des hybrides de chênes sur un certain nombre de caractères biométriques, morphométrique et génétiques. Dans la littérature forestière, deux hybrides ont été décrits; *Q. kabylica* et *Q. numidica*, issus du croisement de *Q. afares* x *Q. suber* et *Q. afares* x *Q. canariensis* (Quézel, 1956), mais il existe un grand nombre d'individus hybrides différents morphologiquement des deux déjà décrits.

Les hybrides sont identifiés en fonction de différentes caractéristiques morphologiques telles que les feuilles, le fruit et l'écorce. Dans un premier temps, nous nous sommes focalisés sur un travail de morphométrie pour répondre aux questions posées sur le statut actuel des populations pures et hybrides. A l'aide de traits morphologiques quantitatifs, nous avons entrepris une discrimination foliaire et avons caractérisé la diversité interspécifique de la morphologie foliaire et identifié la structure spatiale de cette variabilité au sein des espèces Pures et des hybrides.

Les résultats de notre étude ont montré l'existence d'une homogénéité morphologique entre les arbres appartenant à la même espèce, d'autre part leur nette ségrégation des sujets d'autres espèces. Nous avons déduit que le choix de 11 points repères (11 landmarks) est efficace pour discriminer les espèces pures.

Les conformations foliaires des sujets à travers les différentes stations (Akkfadou, Yakouren, Ait Salah, Ait Aicha) des quatre espèces pures de chêne montrent une grande similitude entre les arbres de la même espèce malgré les différences stationnelles.

Le résultat des analyses canoniques des espèces pures ont ressorti des ressemblances interspécifiques. Ces dernières, se caractérisent par l'apparition de groupes distincts des espèces échantillonnées qui suivent correctement la variation de la forme de la feuille. Il est noté que la forme de la feuille du chêne vert est proche du chêne liège et le chêne afarès proche du chêne zéen ce qui nous montre bien la différence morphologique des différents chênes. Tandis que l'analyse canonique des espèces pures et hybrides a ressorti que le chêne hybride est très proche morphologiquement du *Q. afares* puis du *Q. suber* et *Q. rotundifolia* et *Q. canariensis*. Ceci a montré efficacement la position des hybrides entre les quatre chênes purs.

L'analyse discriminante montre que ces individus sont similaires à certaines espèces de *Q. afares*, indiquant une origine probable d'hybridation entre *Q. suber* et *Q. canariensis*. Cependant, certains hybrides reconnus sont plus proches des individus *Q. suber* que les *Q. afares*. Par conséquent, une introgression probable avec *Q. suber* peut expliquer cette relation plus étroite avec *Q. suber* qu'avec *Q. afares*.

En complément à cette variabilité morphologique, nous avons effectué une étude de la biométrie des glands, de la croissance et de la morphologie des plants (glands) cultivés dans des conditions homogènes en pépinière. A travers cette recherche, nous avons constaté des différences de croissance interspécifiques importantes entre les plants.

Les principaux résultats ont montré que la croissance et le développement des semis de chênes supposés hybrides (putatifs), toutes origines confondues, sont influencés par l'altitude et l'effet des espèces voisines, comme dans le cas de la station Col Ait Salah (CA) où le chêne vert (*Q. rotundifolia*) est proche des chênes hybrides putatifs recensés.

En ce qui concerne la recherche basée sur les marqueurs microsatellites chloroplastiques de la diversité génétique des chênes de l'Akkfadou, l'échantillonnage est certainement insuffisant pour parvenir à des conclusions pertinentes, mais nous avons également identifié de nouveaux hybrides (*Q. suber* X *Q. rotundifolia*) en plus de ceux cités en bibliographie.

En perspective, pour une meilleure analyse génétique, il faudrait augmenter le nombre d'individus par population et faire un choix précis des chênes à analyser. Ainsi, les marqueurs SSR sont un outil important pour une analyse plus fine de la structure de la diversité génétique des populations d'arbres forestiers et de la reconstruction du flux de gènes intra et inter-populations. Ils permettront d'avoir une idée sur les événements historiques de l'installation et de la structuration génétique des populations pures et hybrides. Ceci est particulièrement rentable pour les programmes de conservation, qui visent à préserver les espèces pour plus de diversité possible à long terme.

Les méthodes utilisées (morphométrique, biométriques et génétique) pour la visualisation des résultats sont d'un grand apport à la fois pour la caractérisation de la conformation des espèces pures et aussi, pour voir la direction du changement de conformation d'une espèce à une autre en passant par la conformation de l'hybride intermédiaire entre les espèces pures.

Un suivi démo-génétique détaillé des populations et des espèces étudiées en Algérie, serait d'une grande utilité afin de comprendre le rôle de l'hybridation et de l'introgession dans l'histoire évolutive de l'espèce.

Les chênes étant caractérisés par une grande diversité d'espèces et un vaste flux de gènes. L'étude a démontré l'importance considérable de l'hybridation dans la structure génétique locale et ouvre le champ à de futures recherches pour analyser le rôle des hybrides en termes d'adaptation aux conditions futures dans le contexte des changements climatiques. En effet la diminution des précipitations, la fréquence des années sèches ne fera qu'augmenter il serait donc nécessaires notamment pour les pays qui seront touchés par l'aridité du futur climat comme l'Afrique du Nord, de repenser le développement de nouveaux itinéraires techniques adaptés au secteur du reboisement de demain.

## ***Bibliographie – Bibliografía***



- Abdenbi,Z.A., Mohamed,B., Assiya,B., Mohammed,S., Lamhamedi,A.Z., Fouad,M .2016 . Croissance et développement des plants de deux provenances de chêne-liège produits en pépinière dans des conteneurs de différentes profondeurs- *Forêt méditerranéenne t. XXXVII, n° 2*. <https://revues.cirad.fr/index.php /BFT/ article /view/ID-BFT-161117>.
- Acherar,M., Rambal .S., Leparat ,J. 1991. Evolution du potentiel hydrique foliaire et de la conductance stomatique de quatre chênes méditerranéens lors d'une période de dessèchement. *Annals of Forest Science* 54: 347-358.
- Achhal,A., Akbali,O., Barbero,M., Benabid,A., M'hirit,O., Peyre,C., Quezel,P. & Rivas-Marinez ,S., 1980. A propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques essences forestières au Maroc. *Ecol. Médit.*, 5 : 211-249.
- Achhal,A. 1980. Valeur Bioclimatique et Dynamique Pour Quelques Essences Forestières au Maroc. *Ecologia Mediterranea* N°5 : 211-249.
- Achhal,A. 1975. Le Chêne Vert Dans Le Haut Atlas Du Maroc. Thèse Du 3eme Cycle. Faculté De Saint Gerome. Marseille.116p.
- Adams,D.C., Rohlf, F.J. & Slice, D.E. 2004. Geometric morphometric: ten years of progress following the "revolution." *Italian Journal of Zoology*, 71(1), pp.5–16.ecular evidence. *American Journal of Botany* 91: 1352-1363.
- Aime,S., Bonin,G., Chabane,A., Loisel,R. & Saoudi,H. 1986. Contribution à l'étude phytosociologique des zénaies du littoral algéro- tunisien. *Ecol. Médit.*, 12 (3-4) : 113-131.
- Aime,S. 1976. Contribution à l'étude écologique du chêne-liège. Etude de quelques limites. Thèse Doctorat de spécialité, univ. Nice, France, 180 p.
- Aissi,A., Beghami,Y., Heuertz,M., 2019. Le chêne faginé (*Quercus faginea*, (*Fagaceae*)) en Algérie : potentiel germinatif et variabilité morphologique des glands et des semis *Plant Ecol. Evol.* 152(3): 437-449 .doi:10.5091/plecevo.155.7
- Alatou,D. 1994. Croissance rythmique du chêne liège et du chêne zéen. Première journée sur les végétaux ligneux. Constantine 14 et 15 Novembre 1994.
- Alifriqui,M., M'Hirit O., Michalet R. & Peltier J.P. 1995. Variabilité des précipitations dans le Haut Atlas occidental marocain. *Le Climat*, 13 (1), 11-28.
- Amandier,L. 2002. La subéraie: Colloque biodiversité et paysage. *CRPF-PACA*. Ann. For. Sci. 50.186s-202s DOI: 10.1051/forest: 19930717.
- Arbez,M.,Lacaze,J.F. 1999. Les ressources génétiques forestières en France. *édition Quae*.
- Aussenac,G., Guehl,J.M., Kaushal,P., Granier,A.&GrieuP., 1988.Critères physiologiques pour l'évaluation de la qualité des plants forestiers avant plantation. *Rev. For. Fr. n° spécial* : 131-149.
- Awadalla,P et Ritland, K., 1997. Microsatellite variation and evolution in the *Mimulus guttatus* species complex with contrasting mating systems, *Molecular Biology and Evolution* 14(10):1023-1034.
- Axelrod,D.I. 1983. Biogeography of oaks in the Arct-Tertiary province *Annals of the Missouri Botanical Garden* 70: 629-657.
- Babinot,J.F., Quézel,P., Médail,F et Verlaque,R. 1997. Endémisme végétale et Paléogéographique dans le bassin méditerranéen. *GEOBIOS*, 21: 159-166.
- Bacilieri, R.,Ducouso, A. & Kremer, A. 1995. Genetic Morphological Ecological and Phenological Northwest of France. *Silvae Genetica*, 44(1), pp.1–10.

- Bacilieri,R., Ducouso, A., Petit, R. J y Kremer, A. 1996.Mating system and asymmetric hybridization in a mixed stand of European oaks, *Evolution* 50(2):900-908.
- 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.
- Bacon,J.R. & Spellenberg,R. 1996. Hybridization in two distantly related Mexican black oaks *Quercus conzattii* and *Quercus eduardii* (Fagaceae: Quercus: section Lobatae). *SIDA, Contributions to Botany*, 17(1), pp.17–41. Available at: citeulike-article-id: 9446254.
- Badot,P.M., Lucot E & Bruckert S. 1994. L’humidité du sol en profondeur constitue, en milieu de journée, la principale source de variation du potentiel hydrique foliaire de peuplements chêne (*Quercus* sp.). *C.R.Acad. Sci Paris, Sciences de la Vie/Life Sciences*, 1994 ; 317 : 341-5.
- Baldocchi,D.D., Xu,L. 2007.What limits evaporation from Mediterranean oak woodlands 426 – the supply of moisture in the soil, physiological control by plants or the demand by the 427 atmosphere? *Advances in Water Resources* 30 (10):2113–2122.
- Balloux,F., y Lugon-Moulin, N. 2002. The estimation of population differentiation with microsatellite markers, *Molecular Ecology* 11(2):155-165.
- Baquedano,F.J., Valladares,F., Castillo,F.J. 2008. Phenotypic plasticity blurs ecotypic 429 divergences in the response of *Quercus coccifera* and *Pinus halepensis* to water stress430 *European Journal of Forest Research* 127(6): 495–506. 431. <https://doi.org/10.1007/s10342-008-0232-8>.
- Baranski, M. J. 1975. An analysis of variation within white oak {*Quercus alba* L.}. *North Carolina Agr. E.*
- Barbaro,M., Loisel,R.,Quézel,P. 1992.Biogeography,Ecology And History Of Mediterranean *Quercus Ilex* Ecosystems .*Vegetao* 99 -100: 19-34.
- Barbero, M.,Loisel,R. 1980. Le Chêne Vert En Région Méditerranéenne. *Revue Forestière , Française*.32p.
- Barbero,M., Loisel R. et Quézel P. 1991. Sclerophyllous *Quercus* forests in the Eastern Mediterranean area: ethological significance. *Flora Veg. Mundi.*, 9: 189-198.
- Barry, J., Pons,A., Reille,M., Triat H. 1976. Notice De La Carte Internationale Du Tapis Vegetal Et Les Conditions Ecol Ogi Ques . *Feuilles D’ Al Ger Au 1/100000000*. Crbt. Al Ger . 42p.
- Battandier,J.A., Maire,R. & Trabut,L.C. 1914: Rapport sur les herborisations faites par la Société pendant la session d’Alger. – *Bull. Soc. Bot. Fr.* 61(5): 325-<https://doi.org/10.1080/00378941.1914.10832611>
- Battandier,J.-A.1919. *Contribution à la Flore Atlantique*. Libr. Klincksieck, L’homme successeur.
- Belahbib,N., Pemonge,M. H., Ouassou,A., Sbay,H., Kremer,A. And Petit,R. J. 2001. Frequent cytoplasmic exchanges between oak species that are not closely related: *Quercus suber* and *Q. ilex* in Morocco. *Mol. Ecol.* 10, 2003–2012 .
- Belkaid,H. 2016 .Analyse spatiale et environnementale du risque d’incendie de forêt en Algérie : Cas de la Kabylie maritime. HAL Id: tel-01355757 <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01355757>

- Belkaid,H. 2009 : Incendies de forêt : un risque ou des risques. Mémoire de Master en Géographie. Risques environnementaux et vulnérabilités sociales. Université de Paris VIII, 71 p.
- Benhouhou,S et Vela,E. 2007. Evaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le Bassin méditerranéen (Afrique du Nord). *C.R. Biologies* 330: 589–605.
- Bentiba,B. 1982. Recherches pollenanalytiques dans les montagnes de Kroumirie (Tunisie septentrionale) : Premiers résultats. *Ecologia Mediterranea* Tome VIII (Fascicule 4).
- Beurton,P.J. 2002. Ernst Mayr through time on the biological species concept -a conceptual analysis.bioclimatiques, phytoclimatologiques, phytogéographiques et écologiques.In *Theory in Biosciences* 121, 81-98.
- Blears.M,J., De Grandis,S.A., Lee,H & Trevors, J,T.1998. Amplified fragment length polymorphism (AFLP): a review of the procedure and its applications. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* volume 21, pages99–114
- Blue,M.P. & Jensen, R.J., 1988. Positional and Seasonal Variation in Oak (*Quercus*; Fagaceae) Leaf Morphology. *American Journal of Botany*, 75(7), pp.939–947. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21642158>.
- Boavida,L.C.,Silva,J.P.,Feijo´,J.A.2001. Sexual reproduction in the cork oak (*Quercus suber* L.). II. Crossing intra- and interspecific barriers. *Sex Plant Reprod* 14: 143–152.
- Bodénès,C.,Laigret, F and Kremer,A.1996. Inheritance and molecular variations of PCR-SSCP fragments in Pedunculate oak (*Quercus robur* L.). *Theor Appl Genet*, (in press).
- Bodénès,C., Joandet,S., F Laigret.F & Kremer.A., 1997. Detection of genomic regions differentiating two closely related oak species *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L. *Heredity* volume 78, pages433–444 .
- Bonito,A.,Varone,L.,Gratani,L. 2011. Relationship between acorn size and seedling 432 morphological and physiological traits of *Quercus ilex* (L.)-from different climates.- 433 *Photosynthetica* 49: 75–86.[https:// doi.org/10.1007 /s11099-011-0014-2](https://doi.org/10.1007/s11099-011-0014-2).
- Bookstein,F.L. 1991. Morphometric tools for landmark data: geometry and biology [Orange book]. Cambridge New York: Cambridge University Press 435pp.
- Bookstein,F.L.,1996:Biometrics, biomathematics and the morphometric synthesis. *Bulletin of mathematical biology*, 58(2), 313-365.
- 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.
- Borazan,A., Babac,M.T. 2003. Morphometric leaf variation in oaks (*Quercus*) of Bulu, Turkey. *Annales Botanici Fennici* 40: 233–242.
- Bosch,M.,Waser,N.M. 1999. Effects of local density on pollination and reproduction in *Delphinium nuttallianum* and *Aconitum columbianum* (Ranunculaceae). *American Journal of Botany* 86, 871-879.
- Bouchon, J. 1979. Structure des peuplements forestiers.”*Annals of Forest Science* 36(3): 175- 209.

- Boudy, P.1950. Economie forestière Nord-Africaine Tome II. Monographie et traitement des essences forestières *Fasculus. I*, 505p.
- Boudy,P. 1952. Guide du forestier en Afrique du Nord. *La maison rustique*. Paris 505p.
- Boudy,P. 1959. Guide du forestier en Afrique du Nord. *La maison Rustique*: Paris. pp 172–184.
- Branco,M.,Branco,C.,Merouani,H.,Almeida,M.H. 2002. Germination success, survival and seedling vigour of *Quercus suber* acorns in relation to insect damage -Forest Ecol. Manage. 166, 159–164. <https://europepmc.org/article/agr/ind23292742>.
- Braun-Blanquet,J.,1953. Irradiations européennes de la végétation en Kroumirie. *Vegetatio.*, 4 (3) : 182-184.
- Bruschi, P., Grossoni, P. & Bussotti, F., 2003. Within- and among-tree variation in leaf morphology of *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. natural populations. *Trees*, 17, pp.164–172.
- Bruschi,P., Vendramin, Giovanni G., Bussotti, Filippo., Grossini, Paolo.2000. Morphological and Molecular Differentiation between *Quercus petraea*(Matt.) Liebl. and *Quercus pubescens* Willd. (Fagaceae) in Northern and Central Italy. *Annals of Botany*, 85(3), pp.325–333. Available at: <http://aob.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1006/anbo.1999.1046> [Accessed September 25, 2014].
- Bruschi,P., Vendramin,G.G., Bussotti,F., Grossoni, P. 2000. Morfological and Molecular Differentiation between *Quercus petraea* (Matt.) and *Quercus pubescens* Willd. (Fagaceae) in Northern and Cantral Italy. *Annals of Botany* 85: 325-333.
- Burger,W.C . 1975 .The species concept in *Quercus*. *Taxon* 24, 45-50.
- Bussotti,F.,Borghini.,F,Leonzio,C.,Bruschi. 2000. Leaf morphology an macronutrients in broadleaved trees in central Italy. *Trees* 14:361-368.
- Camus,A. 1936-54. Les Chênes: Monographie du genre *Quercus*, P. Lechevalier, Paris.
- Camus,A.1938. Les Chênes: Monographie du genre *Quercus*. Tome II: Genre *Quercus* Sous-genre *Euquercus* (Sections *Lepidobalanus* et *Macrobalanus*). Encyclopedie Economique de Sylviculture VII. Paul Lechevalie, Editeur, Paris, France.
- Cantat,R et Biazetta,R. 2005. La levée de liège. *Institut méditerranéen de liège*.
- Cardillo, E, Bernal ,C .J. 2006. Morphological response and growth of cork oak (*Quercus suber* L) seedling at different shade levels. *Forest Ecology and Management* 222: 296-301.
- Carlisle,A., Brown,A.g.F. & White,E.J.1965. The interception of precipitation by oak (*Quercus petraea*) on a .Q. *Jl For.*, 59, 140-143.
- Cato,S.A.,Richardson ,T.E.1996. Inter-andintraspecific polymorphism at chloroplast SSR loci and the inheritance of plastids in *Pinus radiata* D. Don. *Theor Appl Genet.* 1996 Sep; 93(4):587-92. doi: 10.1007/BF00417952.
- Cavender-Bares J, Cortes P, Rambal S, Joffre R, Miles B, Rocheteau A. 2005. Summer and winter sensitivity of leaves and xylem to minimum freezing temperatures: a comparaison of cooccurring Mediterranean oaks that differ in leaf lifespan. *New Phytologist*168: 597-612.
- Chase,M.W.,Zmarzty,S.,Lledó,M.D.,Wurdack,K.J.,Swensen,S.M.,Michael,F.1996.Wh en in Doubt, Put It in Flacourtiaceae: A Molecular Phylogenetic Analysis Based on

- Plastidrb cL DNA Kew Bulletin, Vol. 57, No. 1 (2002), pp. 141-18. Royal Botanic Gardens, KewStable .<http://www.jstor.org/stable/4110825> .
- Come,P.1975. Acquisition de l'aptitude à germer « la germination des semences»>> INRA Consequences .*Trends in Ecology and Evolution*8, 298-301. Ganthier- villars, Pari 75 –70p.
  - Cope, J.S., Corney,D.C., Remagnino,J.Y, Paolo Wilkin, Paul. , 2012. Plant species identification using digital morphometrics: A review. *Expert Systems with Applications*, 39(8), pp.7562–7573. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0957417412000863> [Accessed January 17, 2014].
  - Cornelissen, J.H .C., Lavorel ,S, Garnier E, Diaz S, Buchmann N, Gurvich D E, Reich P B, ter Steege, H, Morgan H D, van der Heijden M G A, Pausas J G, Poorter H. 2003. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits world wide. *Australian Journal Of Botany* 51, 335-380.
  - Cottam,W.P, Tucker,J.M, Santamour,F.S.1982. Oak hybridization at the University of Utah State Arboretum of Utah, Salt Lake City, USA.
  - Craft,K.J.,Ashley,M.V., Koenig.,W.D.2002. Limited hybridization between *Quercuslobata* and *Quercus douglasii* (Fagaceae) in a mixed stand in central coastal California. *American Journal of Botany* 89, 1792-1798.
  - Cruz P, Duru M, Therond O, Theau J P, Ducourtieux C, Jouany C, Al Haj Khaled R, Ansquer P. 2002. Une nouvelle approche pour caractériser les prairies naturelles et leur valeur d'usage. *Fourrages* 172: 335-354.
  - Cuenod,A., Poittier-Alapetite,G., Labbe,A. 1954. Cryptogamesvasculaires, gymnosperm--es et monocotylédones. Flore analytique et synoptique de la Tunisie. Imprimerie Office de l'expérimentation et de la vulgarisation agricoles de Tunisie, S.E. F.A.T. Tunis.
  - Curtu,A.L., Gailing,O., Finkeldey,R. 2007. Evidence for hybridization and introgression within a species-rich oak (*Quercus* spp.) community. *BMC Evolution Biology* 7: 218-233. doi:10.1186/1471-2148-7-218.
  - Daget ,P.,Ahdali,L &David P.1988.Le bioclimat méditerranéen et ses modalités dans les pays arabes.*Biocénoses*,3(1-2),73-107.
  - Daget Ph., 1984.l Introduction à une théorie générale de la méditerranéité. *Bull. Soc. Bot. Fr.*,131, *Actual. Bot.*, (2/3/4) : 31-36.
  - Dahmani, M.1984. Contribution à l'étude des groupements de Chêne Vert (*Quercus rotundifolia* Lamk.)des monts de Tlemcen (Ouest algérien): approche phytoécologique et phytosociologique .Thèse Doct 3éme cycle, USTHB, Alger, 238p.
  - Dahmani,M.1997. Le Chêne Vert En Algérie. Syntaxonomie, Phytoécologie Et Dynamique Des Peuplements. Thèse De Doctorat Es-Sciences. Ecologie. Institut Des Sciences Naturelles. Usthb. Alger.329p.
  - DeLillis,M.,Fontanella, A.1992. Comparative Phenology And Growth In Different Species Of Mediterranean Maquis Of Central Italy. *Vegetaon* 99/100 :83-96.
  - Debeaux,M.O., 1894. *Flore de la Kabylie du Djurdjura, ou catalogue méthodique et raisonné de toutes les plantes vasculaires et spontanées observées jusqu'à ce jour dans cette contée*, Paris.
  - Del Villar,E. 1947. Les *Quecus* De L'herbier D'algerie. Bulletin De L'Afrique Du Nord : Collection Du Globe .I :92-100.
  - Dillemann,G. 1954. L'hybridation interspécifique naturelle, Bulletin de la Société Botanique de France, 101:1-2, 36-87, DOI: 10.1080 /0037894 1.1954. 1083 4995.Claisen, B. Chem. Ber. 1912, 45, 3157.

- Dodd,R.S.,Afzal-Rafii,Z.2004. Selection and dispersal in a multispecies oak hybrid zone. *Evolution* 58, 261-269.
- Douguedroit,A.,1988. Les précipitations en Tunisie (période 1951-1980). *Méditerranée*, 4,23-33.
- Dryden, I.L. & Mardia, K. V.1998. Statistical shape analysis, John Wiley & Sons New York.
- Dubuis ,A. & Faurel,L., 1949. Essai sur la flore montagnarde du Djurdjura : endémisme et affinités floristiques. *Mém. Hist. Soc. Hist. Nat. d'Afr. N.*, II : 65-78. Trav. dédiés à R. MAIRE.
- Dumolin,S.,Demesure,B.,yPetit,R.J.1995. Inheritance of chloroplast and mitochondrial genomes in pedunculate oak investigated with an efficient PCR method, *Theoretical and Applied Genetics* 91(8):1253-1256.
- Dupouey,J.L, Badeau ,V .,1993. Morphological variability of oaks (*Quercus robur* L, *Quercus petraea* (Matt) Liebl, *Quercus pubescens* Willd) in northeastern France: preliminary results. *Annales Des Sciences Forestieres* 50, 35s-40s.
- 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. *Annales des Sciences Forestières* 50(1): 35-40.
- Dupouey,J.L. & Nancy, I.1993. Morphological variability of oaks ( *Quercus robur* L , *Quercus petraea* ( Matt ) Liebl , *Quercus pubescens* Willd ) in northeastern France : preliminary results. *Annales des Sciences Forestières*, 50, p.35s–40s.
- Durand J.H.1954. Carte des sols de l'Algérie, 1 ère éd. Alger. Inspection Générale de l'Agriculture. 1 carte en 8 coupures, en couleurs + Notice, 11
- Durand, J.H. 1951. Sur quelques sols de la forêt d'Akfadou et des environs de Yakouren. *Annales Agr.*, 2, 110-126.
- Dutartre,G.,1980. Contribution à l'étude de la flore de la région lyonnaise. *Bull. mens. Soc. linn. Lyon*, 5: 350-360.
- Ehleringer,J.R.,Smedley,M.P.1989. Stomatal sensitivity and water-use efficiency in oaks and their hybrids. *Forest Service General Technical Report INT-256:98–102*. USDA, Washington.
- El AanryTazi,S.,Abourouh.,M,Aafi,A.2008. Etat des connaissances scientifiques sur les subéraies: bilan et perspectives. *Annales des Recherches Forestiers*. Maroc. Tome special39 :9-18.
- ELoualidi,J.,Khamar,H.,Fennane,M.,IbnTattou,M.,Chauvet,S.&Taleb.M.S.2012.Chec klist des endémiques et spécimens types de la flore vasculaire de l'Afrique du nord. *Doc. Inst. Scient.* Rabat, Maroc, 189 p.
- Elewa, A.T., 2010. Why Morphometrics? In A. M. T. Elewa, ed. *Morphometrics for Nonmorphometricians SE - 1*. Lecture Notes in Earth Sciences. Springer Berlin Heidelberg, pp. 3–7. Available at: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-95853-6\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-95853-6_1).
- Emberger,L., 1971. Considérations complémentaires au sujet des recherches travaux de Botanique et d'écologie, Masson et Cie éd., Paris : 291-301.
- Emberger,L. 1939. Aperçu Général Sur La Végétation Du Maroc. Commentaire De La Carte Phytogéographique Du Maroc 1 :500000.Verof Geobot Inst Ur T.Eei Dgen Tech Hochsch Rubel.Zurich.14 : 40-157.
- Epperson,B. K., y Clegg, M. T.1992, Unstable White Flower Color Genes and Their Derivatives in the Morning Glory, *Journal of Heredity* 83(6):405-409.

- Fisher, R.A. 1936. The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems. *Ann Eugen* 7: 179–188.
- Florence, N. 2005. Biologie de la conservation appliquée aux plantes menacées des Alpes. Université Joseph Fourier-Grenoble I. Ecole doctorale Chimie et Sciences du Vivant. 227p.
- Fraser, D., Bernatchez, L. 2001. Adaptive evolutionary conservation: towards a unified concept for defining conservation units. *Molecular ecology* 10:2741-2752.
- Fraval, A. 1991. Contribution à la connaissance des rythmes de floraison du chêne-liège en forêt de la Mamora, *Annales des Recherches Forestières*. Maroc, T (25), 102 – 118.
- Gall, W.R., Taft, K.A., Rennie, J.C. 1973. Variation in height growth and flushing of northern red oak (*Quercus rubra* (L.))-South. *for. tree improve. conf.* 12:190-199.
- Gaston, K.J. 1994. *Rarity*. Chapman and Hall, London.
- Geeske, J., Aplet, G., Vitousek, P.M. 1994. Leaf morphology along environmental gradients in hawaiian *Metrosideros polymorpha*. *Biotropica* 26, 17-22. Sobrado.
- Gelard J-P., 1979.- Géologie du Nord-Est de la grande Kabylie. *Thèse Doct.* ès Sciences. Univ. de Dijon, France, 335p + planches et 1 carte au 1/25.000 h.t.
- Gellini, R., Grossoni, P. 1997. *Botanica Forestale*. Vol.2. Milano: CEDAM. pp. 92–162.
- Gil-Pelegrín, E., Ánge, S.M.I., María, C.J., Peguero-Pina, J.J., Sancho-Knapik, D. 2017. Oaks under Mediterranean-type climates: functional response to summer aridity. In: Gil-Pelegrín, E., Peguero-Pina, J.J., Sancho-Knapik, D. (eds) *Exploring the functional diversity of genus Quercus* (L.)-Tree Physiology 7: 137–177. Cham, Springer.
- Givnish, J.T., 1988. Adaptation to Sun and Shade: a Whole-Plant Perspective. *Functional Plant Biology* 15(2):63-92. DOI: [10.1071/PP9880063](https://doi.org/10.1071/PP9880063)
- Givnish, T.J. 1984. Leaf and canopy adaptations in tropical forests. In: Medina, E.; Mooney H. A. and Vasques-Yanes, C. (Eds.). *Physiological ecology of plants in the wet tropics*. Dr. W. Junk Publishers, The Hague. pp. 51-84.
- Gonzalez-Rodriguez, A., Arias, D.M., Valencia, S., Oyama, K. 2004. Morphological and RAPD analysis of hybridization between *Quercus affinis* and *Q. laurina* (fagaceae), two Mexican red oaks. *Am. J. Bot.* 91, 401-409.
- Gower, J.C., 1975. Generalized Procrustes Analysis. *Psychometrika*, 40(1), pp.33–51.
- Grant, V. 1981. *Plant Speciation*. New York: Columbia Univ. Press
- Guibert, M., Le Pichon, C. 2001. Influence de la température sur la germination, la levée et sur les taux de semis à tiges multiples chez le chêne sessile - *Revue Forestière Française* LIII, 44-54.
- Hamada, H., Petrino, M.G., Kakunaga, T., Seidman, M., Stollar, B.D. 1984. Characterization of Genomic Poly(Dt-Dg) . Poly(Dc-Da) Sequence - Structure, Organization, and Conformation, *Molecular and Cellular Biology* 4(12):2610-2621.
- Hardin, J.W. 1975. Hybridization and introgression in *Quercus alba*. *J. Arnold Arbor.* 56(3): 336-363.
- Harrison, R.G. 1990. Hybrid zones: Windows on evolutionary process. In: *Oxford surveys in evolutionary biology*, (Editions, Futuyma DAntonovics J) 7: 69-128.
- Harrison, R.G. 1993. *Hybrid zones and the evolutionary process* Oxford University Press, New York, USA.
- Hasnaoui, B. 1992. Chênaies du Nord de la Tunisie: Ecologie et Régénération. Thèse Université de Provence Aix –Marseille I, 202p.

- Hasnaoui,B.1998. Régénération naturelle du chêne-liège : Difficulté et propositions de solutions. Annales de l'I.N.G.R.E.F., Tunisie, 10p.
- Hasnaoui,B., Abbes,C., Elghzel,A., Yaccoubi,W., 2004. Structure et architecture des chênaies du nord-ouest tunisien : présent et devenir. Annales de l'I.N.G.R.E.F: 10-15.
- Hasnaoui,B.1992. Chênaies du Nord de la Tunisie: Ecologie et Régénération. Thèse Université de Provence Aix –Marseille I, 202p.
- Hedrick,P.W. 1999. Perspective Highly Variable Loci and Their Interpretation in Evolution and Conservation. *Evolution*, 53, 313-318
- Heiser (C.B.), jr., 1949 a. An evolutionary study of the sunflower species *Helianthus annuus* and *H. Bolanderi*, Univ. Calif. Publ. Bot., 23, 157-208.
- Hill,M.P.S, Buck, P. 1980. Interspecific hybridization in a natural oak population with particular regard to introgression. *Proc. Okla. Acad. Science* 60:48-53.
- Himrane,H. 2002. Etude de l'hétérogénéité de la progéniture de l'hybride *Quercus subpyrenaica* E.H. del Villar. *CIHEAM, Saragosa*.
- Hotelling, H., 1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *Journal of Educational Psychology*, 24, 417-441.
- Houston,D.B.1987. Variation in southern seed sources of Northern red oak. In: Proceedings 463 of the 5th North Central Tree Improvement Conference, August 10–12, Fargo, North Dakota: 464 132–140.
- Howard,D.J., Preszler,R.W., Williams,J., Fenchel,S., Boecklen,W.J. 1997. How discrete are oak species? Insights from a hybrid zone between *Quercus grisea* and *Quercus gambelii*. *Evolution* 51: 747–755.
- Howard,D.,Britch,S.C.,Braswell,E.W.2003. Evolution in hybrid zones. Department of Biology New Mexico. The evolution of population biology, ed. R K. Singh and M.K. Uyenoyama. Published by Cambridge university press.
- Howard,M W.,Rizzuto,D S., Jeremy B., Caplan, J R. Madsen, Lisman J, Richard AschenbrennerScheibe, Andreas Schulze-Bonhage and Michael J. Kahana, 2003. Gamma Oscillations Correlate with Working Memory Load in Human.
- Ishida,T.A.,Hattori,K.,Sato,H.,Kimura,M.T. 2003. Differentiation and hybridization between *Quercus crispula* and *Q.dentata* (Fagaceae): Insights from morphological traits, amplified fragment length polymorphism markers, and leaf miner composition. *American Journal of Botany* 90, 769-776.
- Ito,M. 2009. Variation in leaf morphology of *Quercus crispula* and *Quercus dentata* assemblages among contact zones: methods of detection of probable hybridization. *Journal Forest Research* 14:240-244.
- Jdaidi N., Chaabane,A., Khemiri,I. et Hasnaoui,B. 2017. Influence Des Facteurs Environnementaux Et Anthropiques Sur La Régénération Naturelle Du Chêne-Liège (*Quercus Suber*) Au Nord-Ouest De La Tunisie Durant La Période (1983-2009). *Algerian journal of arid environment*. vol. 7, n°1, juin 2017: 18-28.
- Jensen,R.J.1990. Detecting Shape Variation in Oak Leaf Morphology: A Comparison of Rotational-Fit Methods. *American journal of Botany*, 77(10), pp.1279–1293.
- Jensen,R .J., Hokanson,S .C., Isebrands,J,G., Hancock,J F. 1993. Morphometric variation in oaks of the Apostle Islands in Wisconsin: evidence of hybridization between *Quercus rubra* and *Q. ellipsoidalis* (Fagaceae). *American Journal of Botany* 80: 1358–1366.

- Jensen,R.J., DePiero,R.,Smith,B.K. 1984. Vegetative characters, population variation and the hybrid origin of *Quercus ellipsoidalis*. *American Midland Naturalist* 111:364–370.
- Kampfner,S.,Lexer,C.,Glössl,J y Steinkellner, H., 1998. Characterization of (GA)n microsatellite loci from *Quercus robur*., *Hereditas* 129:183-186.
- Kanno,M.,Yokoyama,J.,Suyama,Y.,Ohyama,M.,Itoh,T.,Suzuki,M.2004. Geographical distribution of two haplotypes of chloroplast DNA in four oak species (*Quercus*) in Japan. *Journal of Plant Research* 117, 311-317.
- Ke,G.,Werger ,M.J.A.1999. Different responses to shade of evergreen and deciduous oak seedlings and the effect of acorn size.-*Acta Oecologica* 20(6): 579–586. [https://doi.org/10.1016/S1146-609X\(99\)00103-4](https://doi.org/10.1016/S1146-609X(99)00103-4).
- Kelleher,C and Pausch,R.,2005. Lowering the Barriers to Programming: Taxonomy of Programming Environments and Languages for Novice Programmer. *ACM Computing Surveys*, Vol. 37, No. 2, June 2005, pp. 83–137.
- Kendall,D.G., Barden, D., Carne, T. K., Le, H., 2009. *Shape and shape theory*, John Wiley & Sons.
- Kendall,D.G. 1984. Shape manifolds, procrustean metrics, and complex Projective spaces. *Bulletin of the London Mathematical Society*, 16, pp.81–121. Kendall, D.G., 1981. The Statistics of shape. In V. Barnett, ed. *Interpreting multivariate data*. New York, pp. 75–80.
- Kendall, D.G.1985. Exact Distributions for Shapes of Random Triangles in Convex Sets. *Advances in Applied Probability*, 17(2), pp.308–329.
- Kendall,D.G.1989. A survey of the Statistical Theory of Shape. *Statistical Science*, 4(2), pp.87– 120.
- Kent,J and Richardson,T.E.1997.Fluorescently Labelled, Multiplexed Chloroplast Microsatellites For High-Throughput Paternity Analysis In *Pinus Radiata*. *New Zealand Journal Of Forestry Science* 27(3): 305-312 .
- Khalla,A.2006. Etude de facteurs de dépérissement dans la subéraie d’El-Kala (Nord-est algérien) cas de la subéraie sanobari, *Mem. Ing. Université d’Annaba*. 37 p.
- Kikuzawa K. 1991. A cost-benefit-analysis of leaf habit and leaf longevity of trees and their geographical pattern. *American Naturalist* 138:1250-1263.
- 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.
- Klingenberg, C.P. & Monteiro, L.R., 2005. Distances and directions in multidimensional shape spaces: implications for morphometric applications. *Systematic biology*, 54(4), pp.678–88. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16126663> [Accessed July 13, 2014].
- Klingenberg, C.P., 2013. Visualizations in geometric morphometrics : how to read and how to make graphs showing shape changes Shape and shape changes : two key concepts in geometric morphometrics. *Hystrix*, 24, pp.15–24
- Klingenberg,CP.2003.A developmental perspective on developmental instability: theory, models and mechanisms. In: Polak M, ed. *Developmental instability: causes and consequences*. New York: Oxford University Press, 14–34.
- Kolb, T.E. 1988. Development of northern red Oak and yellow poplar seedlings in response to light and root interference.Ph.D - Thesis,Pennsylvania state Univ.229p.

- Kolb,T.E., Steiner,K.C. 1989. Genetic variation among and within single tree progenies of northern red oak. *Forest Science* 35: 251–256.
- 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., de Heredia UL., 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 oak stands. *Annals of Forest Science* 59, 777-787.
- Kremer, A.,Petit,R.J., Ducouso,A .,2002B. Biologie évolutive et diversité génétique des chênes sessile et pédonculé. *Revue Forestière Française* 2, 111-130.
- Kremer, A.1990. Combined provenance and progeny test- Bordeaux,INRA éditions, 483 Laboratoire d'amélioration des arbres forestiers.
- Kremer, A.1994. Programme d'amélioration génétique du chêne rouge en France. In: 479 Timbal ,J., Kremer,A., Le Goff,N., Nepveu.,G - (eds) Le chêne rouge d'Amérique. Bordeaux, 480 INRA éditions.11-20p. 481 482.
- Kremer,A&Petit,R.2001. L'épopée des chênes européens. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 21, pp.133–138.
- Kremer,A., Petit,R.,1993. Gene diversity in natural populations of oak species *Ann. For. Sci.* 50.186s-202s DOI: 10.1051/forest: 19930717.
- Kremer,A.,Dupouey,J.L.,Deans,J.D.,Cottrell,J.,Csaikl,U.,Finkeldey,R.,Espinel,S., Jensen,J., Kleinschmit,J.,VanDam,B., Ducouso,A.,Forrest,I.,Heredia,U.L., Lowe,A.J., Tutkova,M., Munro,R.C.,Steinhoff,S.,Badeau,V.2003. Morphological variation in mixed oak stands (*Quercus robur* and *Quercus petraea*) is stable across western European populations. *Annals of Forest Science* 59:777–787.
- Kremer,A.2002. Identification of refugia and post –glacial colonisation routes of European white oaks based on chloroplast DNA and fossil pollen evidence. *Forest Ecology and Management* 156:49-74.
- Kriebel,H.B.1964.Parental and provenance effects on growth of red Oak seedling Cent. states for.tree Improv.conf.4:19-25.
- Krieger, J.D. 2010. Controlling for Curvature in the Quantification of Leaf Form. In A. M. T. Elewa, ed. *Morphometrics for Nonmorphometricians*. Lecture Notes in Earth Sciences. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, pp. 27–71. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-540-95853-6>.
- Ksontini,M.1996. Etude Eco physiologique des réponses à la contrainte hydrique du Chêne liège (*Quercus suber*) dans le Nord-Tunisie: comparaison avec le Chêne kermès (*Quercus coccifera*) et le Chêne zéen (*Quercus faginea*).Thèse Université Paris XII Val De Marne, 157p.
- Kunin,W E,Gaston,K J.1993. The biology of rarity: patterns, causes and
- Kunin,W.E.1997b. Population biology and rarity: on the complexity of density dependence in insect-plant interactions. In: The Biology of Rarity: causes and consequences of rarecommon differences (eds. Kunin WE and Gaston KJ). *Chapman & Hall*, London.
- Lamhamedi,M.S.,Fecteau B.,Godin L.,Gingras Ch.,El Aini,R.,Gader Gh. Et Zarrouk,M.A.,2006 .Guide pratique de production en hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie. Projet : ACDI E4936-K061229. Direction

- Générale des Forêts, Tunisie et Pampev Internationale Ltée, Canada, 114 p.  
[mrn.gouv.qc.ca /.../forets/.../ Guide-production-hors-sol-Tunisie.pdf](http://mrn.gouv.qc.ca/.../forets/.../Guide-production-hors-sol-Tunisie.pdf)
- Lamhamedi ,M.S.,Ammari ,Y.,Fecteau ,B.,Fortin ,J.A.,Margolis,H.2000.  
Problématique des pépinières forestières en Afrique du nord et stratégies d'orientation- *Cahiers Agricultures* 9: 369– 380.progenies of northern red Oak.for.Sci35(1):251-256.
  - Lamhamedi, M.S.,2000 : Fertilisation des essences méditerranéennes produites en plaque de cultures dans les pépinières modernes en Tunisie. Projet Fonds Nordique NIB/NDF. Projet d'aménagement de six pépinières forestières hors sol en Tunisie. Tunis : Direction générale des Forêts,
  - Lamhamedi,M.S.,Fectau,B.,Godin ,L.,Gingras ,C.H.,El Aini,R.,Gader ,G.H., 388.Zarrouk,M.A.1997. Guide pratique de production hors sol de plants forestiers, pastoraux et 487 ornementaux en Tunisie.projet : acdi e4936-k061229-Direction générale des forêts, Tunisie 488 et pampev- internationale ltee, Canada, 114 p.
  - Lamond,M.1978. Péricarpe et cinétique de germination des glands de chêne pédonculé. *Ann. Sci. Forest.*, 35 (3) : 203-210.
  - Lapie, G. & Maige, A., 1914. Flore forestière de l'Algérie. *Orlhac. Paris.*
  - Laribi ,M., Derridj A. & Acherar M. 2008. - Phytosociologie de la forêt caducifoliée à chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) dans le massif d'Ath Ghobri-Akfadou (Grande Kabylie, Algérie). *Fitosociologia* 45 (2) : 77-92.
  - Laribi ,M., Vela E., Acherar ,M., Mathez J. & Hamchi A., 2016b.- Sur la découverte de *Potentilla supina* l. en Algérie : écologie, taxinomie, biogéographie et statut de conservation. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, 71 (3) :266-277.
  - Laribi M., 2000. *Contribution à l'étude phytosociologique des formations caducifoliées à Quercus canariensis Willd. et Q. afares Pomel du massif d'Ath ghobri-Akfadou (Grande Kabylie)*. Thèse de Magister, Univ. M. Mammeri de Tizi Ouzou, 155 p.
  - Laribi,M., Acherar,M., Derridj,A. & Mathez,J.2009.- *Nardus stricta* L., espèce nouvelle pour la flore algérienne. *J. Bot. Soc.Bot. France*, 48 : 3-6.
  - Laribi,M., Acherar,M., Meddour,R. & Derridj,A., 2016a.- Sur une nouvelle station algérienne de *Damasonium alisma* subsp. *polyspermum* (Coss.) Maire (Alismataceae) : syntaxonomie et implications conservatoires. *Rev. d'Ecologie (Terre et vie)*, 71 (2) :129-141.
  - Laribi,M., Derridj,A. & Acherar,M. 2008. - Phytosociologie de la forêt caducifoliée à chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) dans le massif d'Ath Ghobri-Akfadou (Grande Kabylie, Algérie). *Fitosociologia* 45 (2) : 77-92.
  - Laribi,M., Vela,E., Acherar,M., Mathez,J. & Hamchi ,A.2016b. Sur la découverte de *Potentilla supina* l. en Algérie : écologie, taxinomie, biogéographie.
  - Laribi,M.,Acherar,M.,Mathez,J.&Derridj ,A.,2011a.Découverte de *Rhynchocorys elephas* (L.) Griseb. dans l'Akfadou (Grande Kabylie, Algérie) : première mention pour l'Afrique du Nord. *Journal de Botanique de la Société Botanique de France* 53 : 31-36.
  - Laribi,M., Acherar M., Mathez J. & Derridj A. ,2011b.- *Nardus stricta* L. et *Rhynchocorys elephas* (L.) Griseb : deux espèces nouvelles pour la flore vasculaire algérienne. Comm. Orale. Colloque International «nouvelles espèces végétales et microbiennes décrites en Algérie de 1962-2010», Oran, 18-20 octobre 2011.

- Lateb M., 2014: Contribution à l'étude des hybrides des chênes de la forêt de l'Akfadou, via l'approche « Geometric morphometrics ». Mémoire Magistère, UMMTO, 71 p.
- Lavergne,S., Garnier,E., Debussche,M. 2003. Do rock endemic and widespread plant species differ under the Leaf-Height-Seed plant ecology strategy scheme? *Ecology Letters* 6, 398-404.
- Le Houerou,H. N. 1995 . Bioclimatology and biogeography of the North African arid steppes: Biological diversity, sustainable development and desertisation. Options Méditerranéennes. Série B: Etudes et Recherches (CIHEAM). no. 10. ISSN : 1016-1228
- LE Houerou,H.N, 2004. An agro-bioclimatic classification of arid and semi-arid lands in the isoclimatic Mediterranean zones. *Arid land research and management*,18,301-346.
- Lele, S & Richtsmeier, J.T. 1991. Euclidean distance matrix analysis: a coordinate-free approach for comparing biological shapes using landmark data. *American journal of physical anthropology*, 86(3),pp.415–27. Available at: [http:// www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1746646](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1746646).
- Lele, S.1993. Euclidean Distance Matrix Analysis ( EDMA ): Estimation of Mean Form and Mean Form Difference. *Mathematical Geology*, 25(5), pp.573–602.
- Lepais ,O. 2008. Dynamique d'hybridation dans le complexe d'espèces des chênes blancs européens, Thèse doctorat. Université Bordeaux 1, 279 p.
- Lepais,O.,Petit,R.J.,Guichoux,E.,Lavabre,J.E.,Alberto,F.,Kremer,A.2009.Species relative abundance and direction of introgression in oaks. *Mol Ecol* 18:2228–2242. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2009.04137.x>
- Letreuch belarouci N., 1981.Etude de l'aménagement foreser de 5000 ha, zone pilote dans la forêt de Hassasna (W de Saida).MERS-ONRS- CERAG. Rapport n°1.
- Letreuch Belarouci, N. 1995. Réflexion autour du développement forestier : les zones à poteneles de producons . Les objecfs. OPU. Alger 69p.
- Letreuch Belarouci,N.1991. Les Reboisements En Algérie Et Leur Perspective D'avenir. Volume .I.Opu. Alger .294p.
- Levin,S.A.1974.Dispersion and Population Interactions, *American Naturalist* 108(960):207-228.
- Li, Y. C., Korol, A. B., Fahima, T., Beiles, A., y Nevo, E. 2002.Microsatellites: genomic distribution, putative functions and mutational mechanisms: a review, *Molecular Ecology* 11(12):2453-2465.
- Long,T.J., Jones ,R.H.1996. Seedling growth strategies and seed size effects in fourteen oak 495 species native to different soil moisture habitats. *Trees* 11(1): 1–8.
- Lorenzo. Z .,2006. Estudio de las pautas de reproducción de *quercus ilex* l. y *q. suber* l. mediante marcadores moleculares. Tesis doctoral .lda. cc. químicas ,2006.UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.
- M'hirit O.,1982.étude écologique et forestière des céderais du rif Marocain. Ann. rech. Forest.Maroc,22,1-502.
- Maire,R.1926.Carte Phytogéographique De L'Algérie Et De La Tunisie. Gouvernement General D'Algérie. Services Des Cartes Alger.78p.
- Maire,R. 1961. Flore de l'Afrique du Nord (Maroc, Algérie, Tunisie , Tripolitaine, Cyrénaïque et Sahara). *Editions Paul Lechevalier*: Paris. Vol 7, pp 117–120.

- Manos,P.S,Standorf,A.M.2001.The Historical Biogeography of Fagaceae: Tracking the Tertiary History of Temperate and Subtropical Forests of the Northern Hemisphere. *International Journal of Plant Sciences* 162, S77-S93.
- Manos,P.S,Steele,K.P.1997.Phylogenetic analyses plastid sequence data. *American Journal of Botany* 84 : 1407-1419.
- Manos,P.S., Doyle,J.J., Nixon,K.C. 1999. Phylogeny, Biogeography, and Processes of Molecular Differentiation in *Quercus* Subgenus *Quercus* (Fagaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 12: 333–349.
- Matet/CENEAP, 2008.- Etude relative à la délimitation et à la caractérisation des zones de montagne et des massifs montagneux. Massif montagneux du Djurdjura. Phase n°2.Analyse prospective de l'état des lieux du massif., 173 p.
- Mayr,E. 1942. Systematics and the origin of species. New York, USA: *Columbia University Press*.
- Mayr,E.1992. A local Flora and the Biological Species Concept. *American Journal of Botany* 79, 222-238.
  
- Medail, F.,Verlaque,R.1997. Ecological characteristics and rarity of endemic plants from southeast France and Corsica: Implications for biodiversity conservation. *Biological Conservation*80, 269-281.
- Medail,F.,Quézel.1999.Biodiversity hotspots in the mediterranean basin: setting global conservation priorities. *Conservation Biology* 13(6):1510-1513.
- Meddi,M. & Meddi.,1998.Etude des pluies annuelles et journalières dans le Sahara algérien .Cahiers Sécheresse, 9(3) ,1993-199.
- Meddi,M.,Meddi,H.,Mahr,N.&Humbert,J.2007.Quantification des précipitations: application au nord-ouest de l'Algérie, la méthode pluvia.geographia Technica,1,44-62.
- Meddour,R. & Bensettiti F., 2010. la contribution du Professeur JEAN- MARIE GEHU à la connaissance syntaxonomique et systématique des communautés végétales en Algérie. *Braun-Blanquetia*, 46 : 35-318.
- Meddour,M.,2010.-*Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie. Exemple des groupements forestiers et préforestiers de la Kabylie*. Thèse Doct. Agr. Option :Foresterie. U.M.M.TO, 398 p.
- Meddour,R. & Laribi,M., 1999. La ripisylve à *Alnus glutinosa* (L.) Gaeatn. De l'Akfadou(Grande Kabylie, Algérie. *Doc. Phytosoc.N.S.* 19: 386-400.
- Meddour,R.1993.Analyse phytosociologique de la chênaie caducifoliée mixte de Tala Kitane (Akfadou, Algérie). *Ecol. Medit.*, 19 (3-4) : 43-51.
- Meddour,R.1994.- *Etude phytosociologique de la portion Centro-orientale du parc national de Chréa. Essai d'interprétation synthétique des étages et des séries de végétation de l'Atlas blidéen*. Thèse de Magistère, INA, Alger, 330 p.
- Medina,E.,Garcia,V.,Cuevas,E.1990.Sclerophylly and oligotrophic environments: relationships between leaf, structure, mineral nutrient content, and drought resistance in tropical rain forest of the upper Rio Negro region. *Biotropica* 22:51-64. méditerranéen. Doc. Cart. Ecol., 16 : 1-32.
- Meharzi, M.k.1994.Le rôle de l'orographie dans la répartition spatiale des précipitations dans le massif de l'Aurès..
- Melchior,H. 1964: Angiospermen. 12. Aufl. Berlin-Nikolassee : *Borntraeger*.666 p. Méditerranée,3(4),73-78.

- Mercier,S.,Rainville,A.1996.Effet de la morphologie, du génotype et de la germination précoce des glands rouge sur la croissance des plants en récipient. Mémoire de recherche forestière no123, Québec ,gouvernement du Québec.
- Merouani,H.,Trubat,R., Lourenço ,M .J., Sampaio,T .,Santos, M.L ., Cortina, J., Pereira J.S.,Almeida,M.H.2005. Le développement de champignons, un facteur limitant la conservation à long terme des glands de chêne-liège (*Quercus suber* L.).Integrated Protection in Oak Forests IOBC/wprs Bull. 28(8), 2005 pp. 129-13
- Merouani,H.1996.Contribution à l'étude de la régénération naturelle du chêne liège (*Quercus suber* L.) Maturité et germination des glands. , Thèse Magi. Ecophysiol. Univ. Tizi-ouzou. 122p.
- Messaoudene,M.,1989. *Etude dendroécologique et dendroclimatologique du chêne zéen et du chêne afarès dans les massifs de Béni Ghobri et de l'Akfadou*. Thèse Doct. en Sciences., Univ. Aix-Marseille III, 105p.
- Messaoudene,M., Laribi,M. & Derridj A., 2007.- Étude de la diversité floristique de la forêt de l'Akfadou (Algérie), *Bois et forêts des tropiques*, 291 : 75-81
- Messaoudene,M.,Tessier,L.1997. Relations cerne-climat dans des peuplements de *Quercus afares* Pomel et *Quercus canariensis* Willd. en Algérie. *Annals of Forest Science* 54: 347- 358.
- MHAMDI,S.2013.Caractérisations morphologique, écologique et Eco physiologique d'une espèce endémique en voie d'extinction; le Chêne afarès (*Quercus afares* Pomel) en Tunisie compare aux chênes liège (*Quercus suber* L.) et zéen (*Quercus canariensis* Willd.) THESE DE DOCTORAT En Sciences Agronomiques (Spécialité : Génie Rural, Eaux et Forêts).Tunisie.
- MHIRIT,O.,1982. Etude écologique et forestière du Rif marocain. Essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la productivité du cèdre. Ann. Rech. Forest. Maroc. Tome 22. p. 502.
- Michaud,H., Toumi,L., Lumaret,R.,Li,T., Romane, X., Di Giusto,F. 1995. Effect Of Geografic Discontinuities Of Genetics Variation In The Holm Oak (*Quercus Ilex* L). *Heridity*.74 : 590-606.
- Miglioretti.1986. Evolution Comparée Des Architectures Et Structures Des Peuplements Mélangés A Chêne Vert Et A Chêne Pubescent En Forêt Domaniale De La Gardiole De Rians(Var).*Ecologia Mediterranea*. Xii (3 Et 4) : 133-147.
- Mir C, Toumi L, Jarne P, Sarda V, Di Giusto F, 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.
- Mitteroecker,P. & Gunz, P.2009. Advances in Geometric Morphometrics. *Evolutionary Biology*, 36(2), pp.235–247. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11692-009-9055-x> [Accessed July 16, 2014].
- Muir,G., Fleming,C.C., Schlotterer,C. 2000. Species status of hybridizing oaks. *Nature* 405:1016.
- Muller,C.H.1952, Ecological Control of Hybridization in *Quercus* - a Factor in the Mechanism of Evolution, *Evolution* 6(2):147-161.
- Mullis, K., Faloona, F., Scharf, S., Saiki, R., Horn, G., y Erlich, H.1986. Specific Enzymatic Amplification of DNA Invitro - the Polymerase Chain-Reaction, *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* 51:263-273.

- Murray,B.R., Thrall,P.H., Gill,A.M., Nicotra,A.B. 2002a. How plant life-history and ecological traits relate to species rarity and commonness at varying spatial scales. *Australian Ecology* 27, 291-310.
- Myers,N.,Mittermeier,R.A.,Mittermeier,C.G., Fonseca,d.a., Kent,J.2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853–858.
- Nason,J.D.,Ellstrand,N.C.,Arnold,M.L.1992a.Patterns of hybridization and introgression in populations of oaks, manzanitas and irises. *American Journal of Botany* 79, 101-111.
- Natividade,J.V.1956. Subericultura. Edit Francaise de l’ouvrage portugais de Subericulture. Ecole nationale des Eaux et Forets, Nancy 303 p.
- Navarro, FB.,Jimenez,M.M., Ripoll,M.A., Ondono,E., Gallego,E., Simon E.2006.Direct sowing of holm oak acorns: effects of acorn size and soil treatment- *Annals of Forest Science* 63(8): 961–967.
- Navas M L, Ducout B, Roumet C, Richarte J. Garnier J, Garnier E.,2003. Leaf life span, dynamics and construction cost of species from Mediterranean old-fields differing in successional status. *New Phytologist* 159:213-228.
- 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 Research* 130:623–635.
- Nixon,K.C. 1989. Origins of Fagaceae. In “*Evolution, Systematics, and Fossil History of the Hamamelidae*, Volume 2: ‘Higher’ Hamamelidae” pp. 23-44. Clarendon, Oxford.
- Nixon,K.C.1993. Infrageneric classification of *Quercus* (Fagaceae) and typification of sectional names. *Annals of Forest Science* 50:25–34.
- Ozenda,P., 1975 a. Sur les étages de végétation dans les montagnes du bassin méditerranée . Doc. Cart. Ecol., 16 : 1-32.
- Ozenda,P., 1975b.Sur la définitin d’un étage de végétation en Grèce. *Veröff. Geobot.Inst. Rübel*, ETH, 55 : 84-98.
- Palamarev,E .1989. Paleobotanical evidences of the tertiary history and origin of the Mediterranean sclerophyll dendrofolora. *Plant Systomatics and Evolution*. 162: 93-107.
- Panini,T&Amandier,L.,2005.Climats pluviométriques et thermiques en région Provence-Alpes-Côte d’Azur. Analyse des données météorologiques 1961-1996 et cartographie par système d’information géographique. *Foret Médit.*, XXVI , 4, 299-308.
- Pearson,K.,1901. On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space. The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 2, 559-572.
- Peguero-Pina,J.J.,Sancho-Knapik,D.,Barrón,E.,Camarero,J.J.,Vilagrosa,A.,Gil Pelegrín,E.2014. Morphological and physiological divergences within *Quercus ilex* support the existence of different ecotypes depending on climatic dryness - *Annals of Botany* 114(2): 301–313.
- Peguy,Ch.-P.1970- Précis de climatologie. Masson éd., Paris, 468p.
- Perrard, A., 2012. Systématique et morphométrie géométrique : L’évaluation de la nervation allaire au sein du genre *Vespa* (Hyménoptères : Vespidés).

- Petit, R.J., Bodénès, C., Ducouso, A., Roussel, G., Kremer, A., 2003. Hybridization as a mechanism of invasion in oaks. *New Phytologist*, 161(1), pp.151–164. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1469-8137.2003.00944.x> [Accessed August 13, 2014].
- Petit, R.J., Brewer, S., Bordacs, S., Burg, K., Cheddadi, R., Coart, E., Cottrell, J., Csaikl, U. M., Van Dam, B., Deans, J. D., Espinel, S., Fineschi, S., Finkeldey, R., Glaz, I., Goicoechea, P. G., Svejgaard, J., König, A. O., Lowe, A., Flemming Madsen, S., Ma-tyas, G., Munro, R. C., Popescu, F., Slade, D., Tabbener, H., de Vries, S. G. M., Ziegenhagen, B., de Beaulieu, J. L., Petit, R. J., Bodenes, C., Ducouso, A., Roussel, G., Kremer, A. 2004. Hybridization as a mechanism of invasion in oaks. *New Phytologist* 161:151-164.
- Petit, R.J., Latouche-Hallé, C., Pemonge, M. H., Kremer, A. 2002b. Chloroplast DNA variation of oaks in France and the influence of forest fragmentation on genetic diversity *Forest Ecology and Management* 156: 115–129.
- Petit, R.J., Kremer, A., Wagner, D. B. 1993. Geographic Structure of Chloroplast DNA Polymorphisms in European Oaks *Theoretical and Applied Genetics* 87, 122-128.
- Petit, R.J., Brewer, S., Bordacs, S., Burg, K., Cheddadi, R., Coart, E., Cottrell, J., Csaikl, U. M., Van Dam, B., Deans, J. D., Espinel, S., Fineschi, S., Finkeldey, R., Glaz, I., Goicoechea, P. G., Jensen, J. S., König, A. O., Lowe, A. J., Madsen, S. F., Mátyás, G., Munro, R. C., Popescu, F., Slade, D., Tabbener, H., De Vries, S. G. M., Ziegenhagen, B., De Beaulieu, J. L., Kremer, A. 2002a. Identification of refugia and post-glacial colonisation routes of European white oaks based on chloroplast DNA and fossil pollen evidence. *Forest Ecol. and Manag.* 156:49-74.
- Peyerimhof, P., 1941. Carte Forestière de L'Algérie et De La Tunisie : 1/1.500.000. *Noc E 70 : 1-7. Phylogenetics and Evolution* 12: 333–349 phytosociologique des zénaies du littoral algéro-tunisien. *Ecol. Médit.*, 12 (3-4) : 113- 131.
- Piazzetta, R. 2005. La levée du liège, guide technique et de vulgarisation, *institut méditerranéen du liège*. 23p.
- Pimm, S., Jones, H., Diamond, J. 1988. On the risk of extinction. *American naturalist* . 132:757-785.
- Pons, A., Vernet, J. 1971. Une Synthèse Nouvelle De L'histoire Du Chêne Vert (*Quercus Ilex* L). *Bulletin De La Societe Botanique De France*. 118 : 841-850.
- Ponton, S., Dupouey, J. L., Bréda, N., Dreyer, E. 2002. Comparison of water-use efficiency of seedlings from two sympatric oak species: genotype × environment interactions *Tree Physiology*, Volume 22, Issue 6, April 2002, Pages 413–422, <https://doi.org/10.1093/treephys/22.6.413>
- Poorter, H., Garnier, E. 1999. Ecological significance of inherent variation in relative growth rate and its components. *Functional Plant Ecology*, pp. 81-120.
- Pottier-Alapetite, G. 1958. Intérêt phytogéographique de la région de Sedjenane en Tunisie. *Vegetatio*, 8(3) : 176-180.
- Pottier-Alapetite, G. 1981. Flore de la Tunisie. Gamopetales. Imprimerie Officielle de la République Tunisienne, Tunis, 1190 p.
- Powell, W.; Morgante, M.; McDevitt, R.; Vendramin, G. G.; Rafalski, J. A. 1995: Polymorphic simple sequence repeat regions in chloroplast genomes: Applications to the population genetics of pines. *Proceedings of the National Academy of Science USA* 92: 77
- Prene, Y., S. & Bonvicini, M. P. 1997. Conche J. La récolte des glands de chêne pédonculé (*Quercus robur* L.) et de chêne sessile (*Quercus petraea* Liebl.). ONF ; *Bull. technique* n° 33, Office National de Forêts (service graine et plante)

- Quero, J.L., Villar R., Marañón T., Zamora R., Pooter L. 2007. Seed-mass effects in four Mediterranean *Quercus* species (Fagaceae) growing in contrasting light environments. *American Journal of Botany* 94(11):1795-1803. <https://doi.org/10.3732/ajb.94.11.1795>.
- Quero, J.L., Villar, R., Marañón, T., Zamora, R., Vega, D., Sack, L. 2008. Relating leaf photosynthetic rate to whole plant growth: drought and shade effects on seedlings of four *Quercus* species. *Functional Plant Biology* 35(8): 725–737. <https://doi.org/10.1071/FP08149>.
- Quézel, P. 1976. Les Forêts Du Pourtour Méditerranéen. In *Forêts Et Maquis Méditerranéens : Ecologie, Conservation Et Aménagements. Note Techniques*. Mab.2 : 9-39. Unesco. Paris.
- Quézel, P. 1979. La région méditerranéenne française et ses essences forestières. Signification écologique dans le contexte circum-méditerranéen. *Forêt. Médit.*, 1 (1) : 7-18.
- Quézel, P., Barbero, M., Benabid, A., Loisel, R., Rivas, Martinez, S. 1988. Contribution à l'étude des groupements pré-forestiers et des matorrals rifains. *Ecologia Mediterranea* Année 1988 14-1-2 pp. 77-122
- Quézel, P. & Médail, F. 2003a. *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier, Collection Environnement, Paris, 573p.
- Quézel, P. 2002. *Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen*. Ibis Press, 112 p.
- Quézel, P., Bonin, G. 1980. Les forêts feuillues du pourtour méditerranéen constitution écologie situation actuelle perspectives. *R. F. F. XXXII-3*, 253-260.
- Quézel, 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.*
- Quézel, P., 1956. Contribution à l'étude des forêts de chênes à feuilles caduques d'Algérie. *Mém. Soc. Hist. Nat. Afr. N. n. s. 1/ 1-57*. Alger
- Quézel, P., 1957. Peuplement végétal des hautes montagnes d'Afrique du Nord. *Encyclop. Biogéogr. et Écol.* 10, Lechevalier éd., Paris, 463 p.
- Quézel, P., 1979. La région méditerranéenne et ses essences forestières, signification écologique dans le contexte circum méditerranéen
- Quézel, P. 1956. Contribution à l'étude des forêts de chênes à feuilles caduques d'Algérie. *Mém. Soc. Hist. Nat. Afr. N. n. s. 1/ 1-57*. Alger.
- Quilichini, A. 1999. *Biologie et Ecologie d'une espèce endémique corso-sarde rare et protégée: Anchusa crispa Viv. (Boraginaceae)*. Thèse doctorat, Université de Corse Pascal Paoli, Corse: 116 p.
- Rabehi, K., 2011. Ajustement de modèles hauteur – circonférence – âge pour le chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) dans la forêt d'Akfadou (Tizi Ouzou); effet de la densité et de la station. Thèse de magistère. Université de Tlemcen.
- Rattenbury, J.A. 1962. Cyclic hybridization as a survival mechanism in the New Zealand forest flora. *Evolution* 16, 348-363.
- Regimbeau, M. 1879. Le chêne yeuse ou chêne vert dans le Gard. Nîmes, 162 p.
- Reich, P.B., Walters, M.B., Ellsworth, D.S. 1992. Leaf life-span in relation to leaf, plant and stand characteristics among diverse ecosystems. *Ecological Monographs* 62:365-392.

- Reich P B, Walters M B, Ellsworth D S. 1997. From tropics to tundra: global convergence in plant functioning. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*. 94:13730-13734.
- Reich,P,B.,Wright,I.J.,Cavender-Bares,J.,CraineJ,M.,Oleksyn,J,Westoby,M,  
*Rhynchocorys elephas* (L.) Griseb : deux espèces nouvelles pour la flore vasculaire
- Rivas Martinez,S.,2005.Mapa de series,geoseries y geopermaseries de vegetation de Espana(memoria del mapa de vegetacion potencial de Espana,2005).Parte 1.www.globalbioclimatics.org(version29/07/2005).
- Rivas-Martinez ,S.1996. *Geobotanica y bioclimatologia*. Universidad Granada, MCMXCVI : 23-75.
- Rivas-Martinez, S. 1975. La vegetacion de la classe *Quercetea ilicis* en Espana y Portugal. *Ann. Ist. Bot. Cavanilles*, 31, 2: 205–259.
- Rohlf, F.J. & Bookstein, F.L., 2003.Computing the Uniform Component of Shape Variation. *Systematic biology*, 52(1), pp.66–69.
- Rohlf, F.J. & Marcus, L.F., 1993. A revolution morphometrics. *Trends in Ecology & Evolution*, 8(4), pp.129–132.
- Rohlf, F.J. & Slice, D., 1990. Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Systematic Biology*, 39(1), pp.40–59.
- Rohlf, F.J., 1999. Shape statistics: Procrustes superimpositions and tangent spaces. *Journal of Classification*, 16(2), pp.197–223.
- Rohlf, F.J., 2003b. tpsSmall, version 1.20. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook.
- Rohlf, F.J., 2004a. TPSDig, 1.4. Stony Brook, NY: Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook.
- Rohlf, F.J., 2004b. tpsUtil, file utility program. version 1.53. Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook.
- Routley,M., Mavraganis,K. & Eckert.1999. C. Effect of population size on the mating system in a self-compatible, autogamous plant, *Aquilegia canadensis* (Ranunculaceae ). *Heredity* 82, 518–528. <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6885220>.
- Rushton,B.S.1993. Natural hybridization within the genus *Quercus* (L.) *Ann. For. Sci.* 50(Supplement): 73s–790s.
- Ryser P, Urbas P. 2000. Ecological significance of leaf life span among Central European grass species. *Oikos* 91:41-50.
- Salmon, Y. 2004. Déphasages, phénologiques chez le chêne vert (*Quercus ilex* L.) et conséquences fonctionnelles. Rapport de DEA Biologie de l'évolution et écologie, Montpellier II.
- Savage, C.,1969. Fichier Des Especies Climax. (*Quercus Ilex* L). *Alawania*.20: 103-124.
- Scareli-Santos,C.,Herrera-Arroyo,MaL.,Sanchez-Mondragan,MaL,Gonzalez-Rodreguez ,A,Bacon, J, Oyama ,K .2007. Comparative analysis of micromorphological characters in two distantly related Mexican oaks, *Quercus conzattii* and *Q. eduardii* (Fagaceae), and their hybrids. *Brittonia*, 37-48.
- Schlotterer, C., y Tautz, D., 1992. Slippage Synthesis of Simple Sequence DNA, *Nucleic Acids Research* 20(2):211-215.
- Schlotterer,C et Wiehe,T.1999, Microsatellites, a neutral marker to infer selective sweeps., en: *Microsatellites: Evolution and Applications* (Goldstein, D. B., y Schlotterer, C., eds.), Oxford University Press, Oxford, pp. 238-247.

- Schwartz,M.D.2003 .Phenology: An Integrative Environmental Science. *Kluwer Academic Publishers*, Netherlands.
- Seltzer,P., 1950.La métrologie algérienne .Documents algériens, série culturelle, n°48 , 15 juillet 1950,4p+4p de cartes et graphiques.
- Seltzer,P.,1946.- Le climat de l'Algérie. *Trav. Inst. Météor. et de Phys. du Globe.*, Alger, 219 p + carte h.t.
- Serra,G.,Loddo,S.,Bacchetta,G.2002. Relationships between soils, climate and vegetation in Quercus Suber L. formations of the Sulcis-Iglesiente (Southern Sardinia, Italy) In : Zdruli P. (ed.), Steduto P. (ed.), Kapur S. (ed.). *7. International meeting on Soils with Mediterranean Type of Climate (selected papers)*. Bari : CIHEAM, 2002. p. 127-133. (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 50). 7. International Meeting on: Soils with Mediterranean Type of Climate, 2001/09/23-28, Valenzan (Italy). [http:// om.ciheam.org /om/pdf/a50/04002026.pdf](http://om.ciheam.org/om/pdf/a50/04002026.pdf)
- Shoenenberger ,S.1967. Carte Phytoécologique De La Tunisie Septentrionale, Notice Détaillée. Carte Au 1/200000. Feuilles 2,3,4 Et 5. Annales Inra Tunis. Volume 40. Fascicule 1.340 P Et Fascicule 2.426p.
- Sia,E.A.,JinksRobertson,S y Petes, T. D.1997.Genetic control of microsatellite stability, *Mutation Research-DNA Repair* 383(1):61-70.
- Slatkin, M.1994. Gene flow and population structure, en: *LA Real (Ed.) Ecological Genetics*. (Press, P. U., ed.), Princeton.
- Slatkin,M.1985, Gene Flow in Natural-Populations, *Annual Review of Ecology and Systematics* 16:393-430.
- Slice, D.E., 2005. Modern Morphometrics. In D. Slice, ed. *Modern Morphometrics in Physical Anthropology SE - 1. Developments in Primatology: Progress and Prospects*. Springer US, pp. 1–45. Available at: [http://dx.doi.org/10.1007/0-387-27614-9\\_1](http://dx.doi.org/10.1007/0-387-27614-9_1).
- Slice,D.E.,2007.Geometric Morphometrics. Annual review of anthropology, 36(1), pp.261–281. Available at: <http://arjournals.annualreviews.org /doi/ abs/ 10.1146/annurev. anthro.34. 081804 .120613>.
- Small, C.G.1996. The Statistical Theory of Shape, New York: Springer-Verlag.
- Smith,D.N.,and M. E. Devey. 1994. Occurrence and inheritance of microsatellites in *Pinus radiata*. *Genome* 37:977–983.
- Sobrado,M.A & Medina,E .1980.General morphology, anatomical structure, and nutrient content of sclerophyllous leaves of the 'bana' vegetation of amazon *Oecologia* volume 45, pages341–345 .
- Sork, V. L., Nason, J., Campbell, D. R., y Fernandez, J. F.1999. Landscape approaches to historical and contemporary gene flow in plants, *Trends in Ecology & Evolution* 14(6):219-224.
- SOTO,A., LORENZO,Z., GIL,L.2002. Nuclear Microsatellite Markers for the Identification of Quercus ilex L. and Q. suber L. hybrids. *Silvae Genetica* 52, 2 .
- Spellenberg, R. 2014. Quercus. barrancana (sect. Quercus, white oaks), a new species from northwestern Mexico. *Phytoneuron* 2014-105: 1–12. Published 12 November 2014. ISSN 2153 733X.
- Stace,C. 1989. Plant taxonomy and biosystematics. London, UK: Edward Arnold.
- Steinkellner, H., Fluch, S., Turetschek, E., Lexer, C., Streiff, R., Kremer, A., Burg, K., y Glossl, J., 1997b.Identification and characterization of (GA/CT)(n)-microsatellite loci from Quercus petraea, *Plant Molecular Biology* 33(6):1093-1096.
- Steinkellner, H., Lexer, C., Turetschek, E., y Glossl, J.1997a. Conservation of (GA)(n) microsatellite loci between Quercus species, *Molecular Ecology* 6(12):1189-1194.

- Stiti,B.,Piazzetta.,R.,Khaldi.A.2014. Régénération de la subéraie tunisienne : état des lieux, contraintes et avancées techniques. Forêt Méditerranéenne, Forêt Méditerranéenne, XXXV (2), pp.151-160. fffal-03556655f.
- Suszka,B.,Muller,C & Bonnet-Masimbert,M.1994: Graine des feuillus forestiers : de la récolte au semis. INRA Editions, Paris, 291 p.
- Tachida, H et Iizuka, M., 1992, Persistence of Repeated Sequences That Evolve by Replication Slippage, *Genetics* 131(2):471-478.
- Thompson,K., Rabinowitz,D .1989.Do big plants have big seeds? -The American Naturalist 535 133(5): 722–728. <https://doi.org/10.1086/284947>.
- Thompson,J.D.1999.Population differentiation in Mediterranean plants: insights into colonization history and the evolution and conservation of endemic species. *Heredity* 82: 229-236.
- Tilki,F.,Alptekin,C.U.2005. Variation in acorn characteristics in three provenances of *Quercus aucheri* Jaub et Spach and provenance, temperature and storage effects on acorn germination-*Seed Science and Technology* 33(2): 441–447. <https://doi.org/10.15258/sst.2005.33.2.16> .
- Tovar-Sanchez,E., Oyama,K. 2004. Natural hybridization and hybrid zones between *Quercus crassifolia* and *Quercus crassipes* (Fagaceae) in Mexico: morphological and mol
- Trabaud, L., Methy, M. 1994. Stress Thermique Des Feuilles Et Aire De Repartition De (*Quercus Ilex L*). *Ecologia Mediterranea*.20 : 77-85.
- Trabaud,L., 1992. Influence du régime des feux sur les modifications à court terme et lastabilité à long terme de la flore d'une garrigue de *Quercus coccifera*. *Revue d'Ecologie (Terre Vie)* 47, 209-230. [https://www.researchgate.net/publication/308120822\\_Synthese\\_des\\_connaissances\\_sur\\_l%27impact\\_du\\_feu\\_en\\_region\\_mediterraneenne](https://www.researchgate.net/publication/308120822_Synthese_des_connaissances_sur_l%27impact_du_feu_en_region_mediterraneenne) [accessed May 09 2022].
- Turland, N.J., Wiersema, J.H., Barrie, F.R., Greuter, W., Hawksworth, D.L., Herendeen, P.S., Knapp, S., Kusber, W.-H., Li, D.-Z., Marhold, K., May, T.W., McNeill, J., Monro, A.M., Prado, J., Price, M.J. and Smith, G.F.2018. International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Shenzhen Code) *Regnum Vegetabile* 159. *Glashütten: Koeltz Botanical Books*.
- Tutin,T.G,Burges,N.A,Chater,A.O,Edmonson,J.R,Heywood,V.H,Moore,D.M..1993. *Flora Europaea*, 2nd edn. Cambridge University Press: *Cambridge* Vol 1, pp 72–75.
- Uribe-Salas,D., Saenz-Romero,C., Gonzalez-Rodriguez,A., Tellez-Valdez,O., Oyama K.2008. Foliar morphological variation in the white oak *Quercus rugosa* Nee (Fagaceae) along a latitudinal gradient in Mexico: Potential implication for management and conservation. *Forest Ecology and Management* 256: 2121-2126.
- Valbuena-Carabana,M., Gonzalez-Martinez SC., Sork VL., Collada C., Soto,A., Goicoechea P.G, Gil,L .2005.Gene flow and hybridisation in a mixed oak forest (*Quercus pyrenaica* Willd. and *Quercus petraea* (Matts.) Liebl.) in central Spain. *Heredity* 95, 457-465.
- Van Valen,L. 1976. Ecological species, multispecies, and oaks. *Taxon*, 25(2–3): 233–239.

- Vázquez,P.F.M.,García,A.D.,Rodríguez,C .F. & García,S , Á. 2018.Observaciones al género *Serapias* L., (ORCHIDACEAE) en Extremadura. *Fol. Bot. Extremadurensis*, 12: 169-174.
- VázquezP,F.M.,Coombes,A.J.,García,A.D.,MárquezG,F.,Rodrigues M,C.,GuerraB,M.J.L.,Vila-Viçosa,C.,2018.Anotaciones a la nomenclatura del género *Quercus* (L.), (FAGACEAE) en la Península Ibérica y NW de África. 6- 35p.
- Vazquez, F.M.; Coombes, A.J.; Garcia,A.D.; Marquez, F.; Rodriguez-Meireles, C.; Guerra Barrena, M.J.; Vila-Viçosa, C.,2018. Anotaciones a la nomenclatura del género *Quercus* L., (FAGACEAE) en la Península Ibérica y NW de África. *Folia Bot. Extrem*, 12, 5–79.
- Veillon,S.1998. Guide technique de puériculture dans les Pyrénées-Orientales. Typologie de peuplement et étude préliminaire. Stage de fin d'étude, FIF- ENGREF, France, 68 p + annexes.
- Vela,E.&Benhouhou,S.2007. Evaluation d'un nouveau point chaud de biodiversité végétale dans le bassin méditerranéen (Afrique du Nord). *Comptes rendus Biol.*, 330 : 589- 605.
- Vendramin,G.G.,Degen,B.,Petit,R.J.,Anzidei,M.,Madaghiele, A., y Ziegenhagen, B., 1999. High level of variation at *Abies alba* chloroplast microsatellite loci in Europe, *Molecular Ecology* 8(7):1117-1126.
- Vendramin,G.G;Lelli,L;Rossi,P;Morgante,M.1996:Aset of primers for the amplification of 20 chloroplast microsatellites in Pinaceae. *Molecular Ecology* 5: 595—598.
- Vignes,E.1990. Le traitement des taillis de chene dans le Var. O.N.F .*Arborescence*. N°26.pp21-23.
- ViscosI,V,2015. Geometric morphometrics and leaf phenotypic plasticity: assessing fluctuating asymmetry and allometry in European white oaks (*Quercus*) . *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2015, 179, 335–348.
- Viscosi,V.,Fortini,P.,Slice, D., Loy, A., Blasi, C., 2009a. Geometric morphometric analyses of leaf variation in four oak species of the subgenus *Quercus* (Fagaceae). *Plant Biosystems*, 143(3), pp.575–587.
- Viscosi,V., Lepais, O., Gerber, S., Fortini, P, 2009b. Leaf morphological analyses in four European oak species ( *Quercus* ) and their hybrids : A comparison of traditional and geometric morphometric methods. *Plant Biosystems*, 143(3), pp.564–574.
- Viscosi,V., Loy, A. & Fortini, P.2010. Geometric morphometric analysis as a tool to explore covariation between shape and other quantitative leaf traits in European white oaks. In *Nimis P. L., Vignes Lebbe R. (eds.) Tools for Identifying Biodiversity: Progress and Problems*.University Press, pp. 257–261. Available at:[http://hdl.handle.net/10077/3\\_787](http://hdl.handle.net/10077/3_787).
- Viscosi,V.&Cardini,A.2011. Leaf morphology, taxonomy and geometric morphometrics: a simplified protocol for beginners. *PloSone*, 6(10), p.e25630. Available at: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=3184990&tool=pmcentrez&rendertype=abstract> [Accessed July 13, 2014].
- Viscosi,V., Antonecchia,G., Lepais,O., Fortini,P., Gerber ,S., Loy,A. 2012. Leaf shape and size differentiation in white oaks: a-884assessment of allometric relationships among three sympatric species and their hybrids. *International Journal of Plant Sciences* 173:875-884.

- Viscosi,V., Lepais, O., Gerber, S., Fortini, P. 2009b. Leaf morphological analyses in four European oak species ( *Quercus* ) and their hybrids : A comparison of traditional and geometric morphometric methods. *Plant Biosystems*, 143(3), pp.564–574.
- Viscosi,V., Loy,A. & Fortini,P.2010. Geometric morphometric analysis as a tool to explore covariation between shape and other quantitative leaf traits in European white oaks. In *Nimis P. L., Vignes Lebbe R. (eds.) Tools for Identifying Biodiversity: Progress and Problems*. University Press, pp. 257–261. Available at: <http://hdl.handle.net/10077/3787>.
- Vitasse,Y.,Delzon,S.,Dufrene,E. 2009. Leaf phenology sensitivity to temperature in European trees: Do within-species populations exhibit similar responses? *Agricultural and Forest Meteorology* 149, 735-744.
- Vos,P., Hogers,R., Bleeker,M., Reijans,M., Van de Lee,T., Hornes,M., A Friters,A., Pot,J., Paleman,J., Kuiper,M ... Show more. 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting get access. *Nucleic Acids Research*, Volume 23, Issue 21, 11 November 1995, Pages 4407 4414, <https://doi.org/10.1093/nar/23.21.4407>.
- Walters,M.B.2003. The evolution of plant functional variation: traits, spectra, and strategies. *International Journal of Plant Sciences*164:S143-S164.
- Welter,S., Bracho-Nunez,A., Mir,C., Zimmer,I, Kesselmeier,J.,Lumaret ,R, Schnitzler J P., Staudt,M .2012. The diversification of terpene emissions in Mediterranean oaks: lessons from a study of *Quercus suber*, *Quercus canariensis* and its hybrid *Quercus afares*. *Tree physiology* 32, 1082–1091. doi:10.1093/tree physiology/tps069
- Williams,D.,Ehleringer,R.2000.Carbon isotope discrimination and water relations of oak hybrid populations in southwestern utah. *Western North American Naturalist* 60(2), pp. 121- 129.
- Williams,J.H., Boecklen,WJ., Howard,DJ .2001.Reproductive processes in two oak (*Quercus*) contact zones with different levels of hybridization. *Heredity* 87, 680-690.
- Willian, R.L. (1985). A guide to forest seed handling. FAO Forestry Paper 20/2, p.379. Guidance on drying seeds.
- Wilson,P.J,Thompson K, Hodgson J G. 1999. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. *New Phytologist* 143: 155-162.
- Winge,O.1917.The chromosomes: their number and general importance. *Comptes Rendues des Travaux du Laboratoire Carlesberg* 13, 131-275.
- Wojterski,T.1988.in *Guide de l'excursion internationale de phytosociologie. Algérie du Nord*. Association internationale pour l'étude de la végétation & INA El Harrach, Glotze Druck ed., 274 p. Göttingen.
- Wright,I.J.,Reich,P.B.,Westoby,M.,Ackerly,D.D.,Baruch,Z.,Bongers,F.,Cavender-Bares,J.,Chapin,T.,Cornelissen,J.,H.C,Diemer,M.,FlexasJ.,Garnier,E., Groom,P.K., Gulias,J., Hikosaka,K., Lamont,B. B, Lee,T.,Lee,W.,Lusk ,C, Midgley ,J. J., Navas ,M.L. , Niinemets ,U., Oleksyn, J., Osada, N., Poorter, H., Poot,P.,Prior,L.,Pyankov, V.I.,Roumet,C.,Thomas,S.C.,Tjoelker,M.G., Veneklaas,E. J., Villar,R. 2004. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature* 428:821-827.
- Wright,I.J., Reich,P.B, Cornelissen,J .H. C., Falster,D.S., Garnier,E., Hikosaka ,K., Lamont,K.B., Lee,W., Oleksyn,J., Osada,N., Poorter,H., Villar,R., Warton,D I,Westoby,M. 2005. Assessing the generality of global leaf traits relationships. *New Phytologist* 166:485-496.
- XU,L.A. 2004. Diversite de l'AND chloroplastique et relations phylogenetiques au sein des Fagacees du genre *Quercus*.These Universite Henri Poincarre, Nancy I.

- Yessad,S.A.2000. Le Chêne liège et le liège dans les pays de la méditerranée occidentale,190 p.
- Zeraia,L.1981. Essai d'interprétation comparative des données écologiques, phenologiques et production subero-ligneuse dans les forêts de chêne-liège de Provence cristalline (France méridionale) et d'Algérie. Thèse de Doct. Es-Sciences, Fac. Sci. Et Tech. St-Jerome, Aix- Marseille III, 367 p. + annexes.
- Zhou,Z.K.1992.Origin, phylogeny and dispersal of *Quercus* from china. *Acta Botanica Yunnanica* 14: 227-236.
- Zine El Abidine., Fennane,M.1995. Essai de taxonomie numérique sur le chêne Zeen (*Quercus faginea* LAM) au Maroc. *Lagascalia* 18(1): 39-54.
- Zohary ,M. 1952. A monographystudy of the genus Pistacia.J.Series.V. Palestine *Journal of Botany*.4:187-228.
- Zurlini ,G.,Grossi L., Rossi ,O. 2002. Spatial-accumulation pattern and extinction rates of mediterranean flora as related to species confinement to habitats in preserves and larger areas. *Conservation Biologique* 16: 948-963.



# ***Annexes***

a. Corrélations station LN) Corrélations significatives marquées à  $p < ,05000$  N=9

	log	lag	Pg	La	Dc	Nf	Nr
log	1,00	0,52	-0,44	0,12	0,19	-0,06	-0,39
lag	0,52	1,00	-0,41	-0,21	-0,37	-0,24	-0,30
Pg	-0,44	-0,41	1,00	-0,21	-0,10	-0,36	0,29
La	0,12	-0,21	-0,21	1,00	0,91	0,82	0,63
Dc	0,19	-0,37	-0,10	<b>0,91</b>	1,00	0,61	0,56
Nf	-0,06	-0,24	-0,36	<b>0,82</b>	0,61	1,00	0,34
Nr	-0,39	-0,30	0,29	0,63	0,56	0,34	1,00

b. Corrélations station AS) Corrélations significatives marquées à  $p < ,05000$  N=49

	La	Dc	Nf	Nr	Log	Lag	Pg
La	1,00	<b>0,40</b>	<b>0,30</b>	0,01	0,04	0,08	0,09
Dc	0,40	1,00	<b>0,34</b>	<b>0,34</b>	-0,12	0,18	0,10
Nf	0,30	0,34	1,00	<b>0,64</b>	-0,16	0,17	-0,10
Nr	0,01	0,34	0,64	1,00	-0,20	0,18	-0,01
Log	0,04	-0,12	-0,16	-0,20	1,00	<b>-0,82</b>	<b>0,34</b>
Lar	0,08	0,18	0,17	0,18	-0,82	1,00	0,13
Pg	0,09	0,10	-0,10	-0,01	0,34	0,13	1,00

c. Corrélations (station CY) Corrélations significatives marquées à  $p < ,05000$  N=23

	La	Dc	Nf	Nr	Log	Lag	Pg
La	1,00	<b>0,63</b>	<b>0,49</b>	0,19	-0,27	-0,07	0,40
Dc	0,63	1,00	0,24	0,15	-0,13	0,16	0,37
Nf	0,49	0,24	1,00	<b>0,68</b>	-0,12	0,10	0,06
Nr	0,19	0,15	0,68	1,00	0,14	0,26	-0,32
Log	-0,27	-0,13	-0,12	0,14	1,00	0,25	<b>-0,63</b>
Lag	-0,07	0,16	0,10	0,26	0,25	1,00	-0,03
Pg	0,40	0,37	0,06	-0,32	-0,63	-0,03	1,00

d. Corrélations (station TK) Corrélations significatives marquées à  $p < ,05000$  N=21

	La	Dc	Nf	Nr	Log	Lar	Pg
La	1,00	0,55	0,35	0,03	-0,12	-0,09	0,18
Dc	<b>0,55</b>	1,00	0,51	0,35	-0,03	-0,02	0,18
Nf	0,35	<b>0,51</b>	1,00	0,66	-0,02	0,14	-0,13
Nr	0,03	0,35	<b>0,66</b>	1,00	-0,12	-0,08	-0,40
Log	-0,12	-0,03	-0,02	-0,12	1,00	0,39	0,08
Lar	-0,09	-0,02	0,14	-0,08	0,39	1,00	-0,07
Pg	0,18	0,18	-0,13	-0,40	0,08	-0,07	1,00

e. Corrélations (station **AK**) Corrélations significatives marquées à  $p < ,05000$  N=30

	La	Dc	Nf	Nr	Log	Lar	Pg
La	1,00	0,62	0,31	0,37	-0,21	-0,07	0,05
Dc	0,62	1,00	0,23	0,27	-0,21	0,03	-0,35
Nf	0,31	0,23	1,00	0,84	0,27	0,34	0,06
Nr	0,37	0,27	0,84	1,00	0,32	0,24	-0,03
Log	-0,21	-0,21	0,27	0,32	1,00	-0,02	0,04
Lar	-0,07	0,03	0,34	0,24	-0,02	1,00	-0,14
Pg	0,05	-0,35	0,06	-0,03	0,04	-0,14	1,00

f. Corrélations (VM) Corrélations significatives marquées à  $p < ,05000$  N=87

	La	Dc	Nf	Nr	Log	Lar	Pg
La	1,00	0,39	0,42	0,17	-0,12	0,16	0,09
Dc	0,39	1,00	0,34	0,44	0,00	-0,03	0,04
Nf	0,42	0,34	1,00	0,65	0,06	-0,01	0,02
Nr	0,17	0,44	0,65	1,00	0,18	-0,07	0,03
Log	-0,12	0,00	0,06	0,18	1,00	-0,07	-0,04
Lar	0,16	-0,03	-0,01	-0,07	-0,07	1,00	0,00
Pg	0,09	0,04	0,02	0,03	-0,04	0,00	1,00

g. Corrélations (CA) Corrélations significatives marquées à  $p < ,05000$  N=25

	La	Dc	Nf	Nr	Log	Lar	Pg
La	1,00	0,28	0,45	0,13	0,10	-0,17	0,01
Dc	0,28	1,00	0,25	0,40	-0,30	0,03	-0,13
Nf	0,45	0,25	1,00	0,59	0,02	-0,27	-0,14
Nr	0,13	0,40	0,59	1,00	-0,23	-0,14	-0,21
Log	0,10	-0,30	0,02	-0,23	1,00	0,11	0,18
Lar	-0,17	0,03	-0,27	-0,14	0,11	1,00	-0,01
Pg	0,01	-0,13	-0,14	-0,21	0,18	-0,01	1,00

h. Corrélations (HO) Corrélations significatives marquées à  $p < ,05000$  N=21

	La	Dc	Nf	Nr	Log	Lar	Pg
La	1,00	0,66	0,19	0,05	0,37	0,11	0,29
Dc	0,66	1,00	0,36	0,19	0,24	-0,10	0,09
Nf	0,19	0,36	1,00	0,23	0,29	0,44	-0,33
Nr	0,05	0,19	0,23	1,00	0,16	-0,09	-0,20
Log	0,37	0,24	0,29	0,16	1,00	0,12	-0,10
Lar	0,11	-0,10	0,44	-0,09	0,12	1,00	-0,12
Pg	0,29	0,09	-0,33	-0,20	-0,10	-0,12	1,00

i.Corrélations Ya ) Corrélations significatives marquées à  $p < ,05000$  N=28

	La	Dc	Nf	Nr	Log	Lar	Pg
La	1,00	0,06	0,19	0,17	-0,13	-0,21	-0,03
Dc	0,06	1,00	0,33	0,10	-0,21	-0,02	-0,28
Nf	0,19	0,33	1,00	0,49	0,04	0,20	-0,17
Nr	0,17	0,10	0,49	1,00	0,30	0,39	0,13
Log	-0,13	-0,21	0,04	0,30	1,00	0,07	-0,07
Lar	-0,21	-0,02	0,20	0,39	0,07	1,00	0,28
Pg	-0,03	-0,28	-0,17	0,13	-0,07	0,28	1,00

**Tableau1 .An. a. b .c .d. e .f. g .h .i-** Tableaux de Corrélation entre Les variables biométriques dans les différentes Stations inventoriées

**Tableau 2.An :** Tableau des contributions des individus basées sur les corrélations.

Contributions des individus, basées sur les corrélations

	Fact. 1	Fact. 2	Fact. 3	Fact. 4	Fact. 5	Fact. 6	Fact. 7
LN	5,44311	1,46486	66,55698	0,00761	11,66201	0,01628	0,61195
AS	11,07287	37,15181	0,61759	2,41698	9,77222	0,53227	25,83695
CY	70,41593	1,91006	9,92195	1,37980	3,58290	1,64735	0,03091
TK	7,23558	1,18256	2,82374	0,85996	3,45107	58,13394	3,17473
AK	2,17075	9,48980	5,71809	3,30597	28,66747	6,24304	14,38220
VM	2,46883	0,21702	9,29246	1,60196	39,74698	0,66349	22,07602
CA	0,39135	1,46445	3,87617	17,74153	0,06887	24,61407	5,99489
HO	0,02403	7,23019	1,17105	36,85151	2,61526	1,41501	22,79917
YA	0,77753	39,88924	0,02197	35,83470	0,43322	6,73455	5,09319

**Tableau 3. Ann** : Contribution des variables basées sur les corrélations.

Contributions des var., basées sur les corrélations)							
	<b>Fact. 1</b>	<b>Fact. 2</b>	<b>Fact. 3</b>	<b>Fact. 4</b>	<b>Fact. 5</b>	<b>Fact. 6</b>	<b>Fact. 7</b>
<b>La</b>	0,123712	0,206358	0,003873	0,533910	0,004577	0,126648	0,000922
<b>Dc</b>	0,202458	0,012335	0,120464	0,052477	0,228378	0,379827	0,004061
<b>Nf</b>	0,210148	0,027262	0,050496	0,137210	0,117127	0,410952	0,046806
<b>Nr</b>	0,131792	0,168509	0,135876	0,001471	0,478106	0,000028	0,084217
<b>Log</b>	0,018217	0,369190	0,341138	0,078802	0,002234	0,000065	0,190354
<b>Lar</b>	0,142695	0,213408	0,022114	0,131565	0,151146	0,075286	0,263785
<b>Pg</b>	0,170979	0,002938	0,326038	0,064564	0,018432	0,007194	0,409855

## **Annexe. 2.Photos des zones et des échantillons étudiés.**

Photo A-K. Vue générale de la station « centre cynégétique »

Photo B. Q.hybride de chêne station « Akfadou »

Photo C-L-N. Plants des chênes hybrides en pépinière.

Photo d. Chêne zéen. « Station Akfadou »

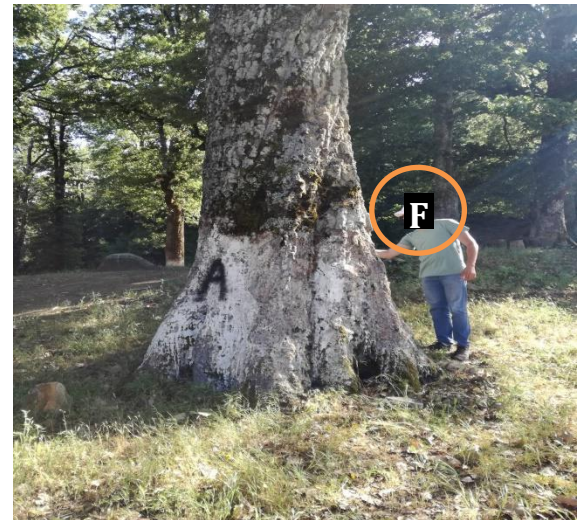
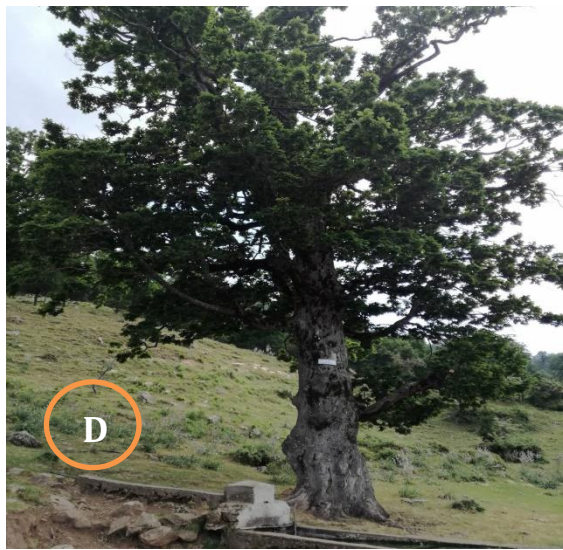
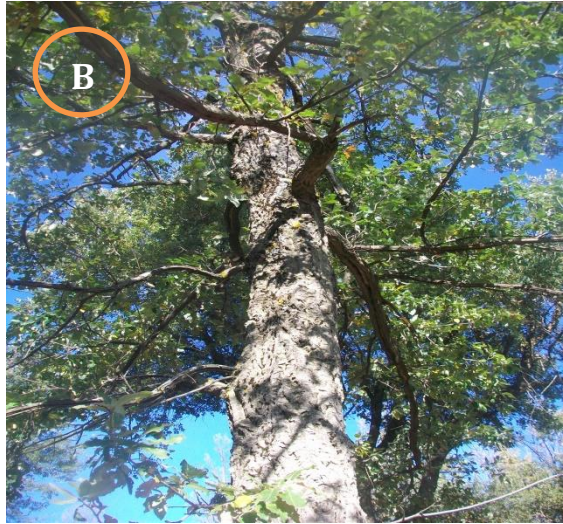
Photo e. chêne suber « station Ait Aicha »

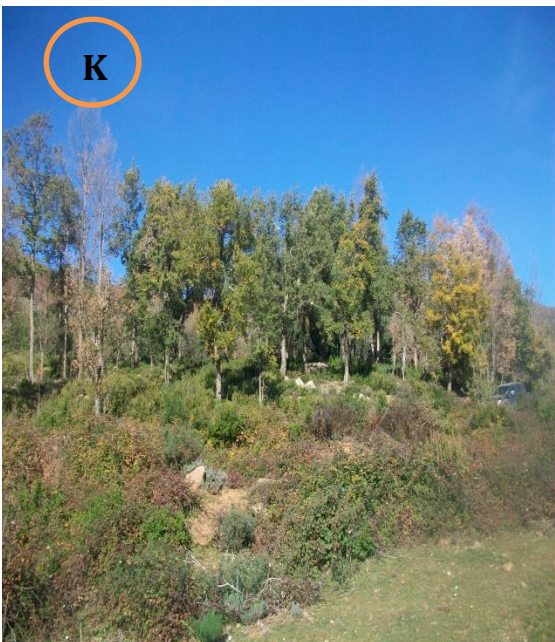
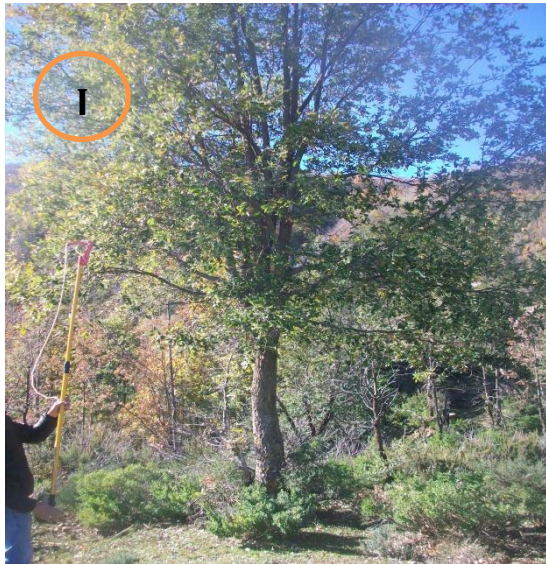
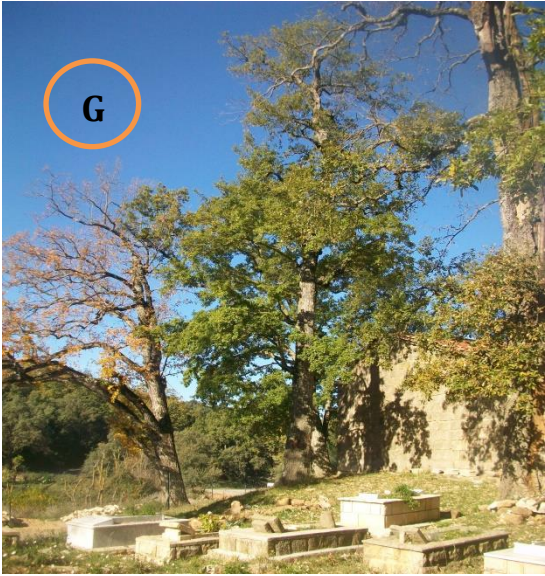
Photo f. chêne afares « station Sidi el Hadi »

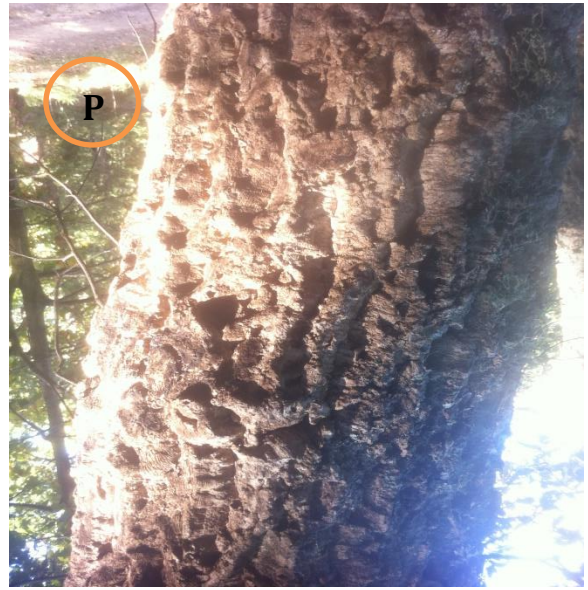
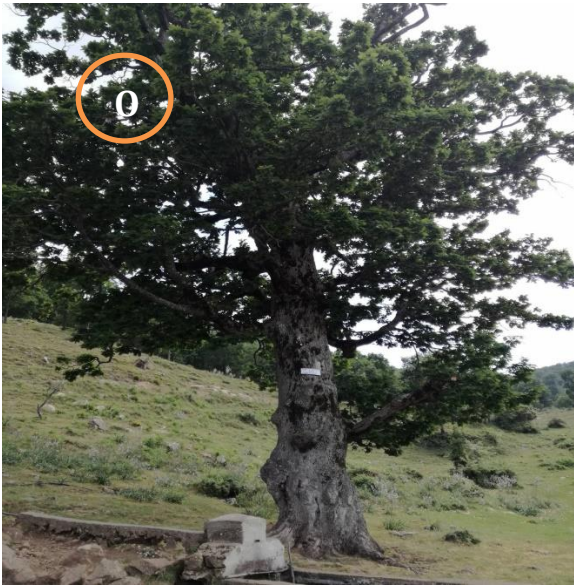
Photo g. *Q.numedica* “station Yakouren”

Photo h. Q.hybride station »Lac Noir »

Photo I. Gland de chêne hybride.









# Publications

### ***Publications - Publicaciones***

1. Akli, A.; Lorenzo, Z.; Alía, R.; Rabhi, K.; Torres, E. Morphometric Analyses of Leaf Shapes in Four Sympatric Mediterranean Oaks and Hybrids in the Algerian Kabylie Forest. *Forests* 2022, 13, 508. [https://doi.org/ 10.3390/f13040508](https://doi.org/10.3390/f13040508).
2. Amel Akli<sup>1</sup>, Khellaf Rabehi<sup>2</sup>; Enrique Torres Alvarez<sup>3</sup>, Ricardo Alía<sup>4</sup>; Lynda Kheloul<sup>5</sup>, Mahand Messaoudene<sup>6\*</sup>. Biometry of acorn of the putative oak from Akfadou forest in North Africa (Algeria). *FORESTIST* 2022; 72: 212-224. DOI: 10.5152/forestist.2022.21055

## Article

# Morphometric Analyses of Leaf Shapes in Four Sympatric Mediterranean Oaks and Hybrids in the Algerian Kabylie Forest

Amel Akli <sup>1,\*</sup>, Zaida Lorenzo <sup>2</sup>, Ricardo Alía <sup>3</sup> , Khellaf Rabhi <sup>1</sup> and Enrique Torres <sup>4</sup> 

<sup>1</sup> Department of Agronomic Sciences, Université Tizi Ouzou-Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou 15000, Algeria; khellafrabhi@gmail.com

<sup>2</sup> INIA, CSIC, DTEVL, Avda A Coruña s/n., 28040 Madrid, Spain; zaida.lorenzo@inia.csic.es

<sup>3</sup> INIA, CSIC, Forest Research Centre, Avda A Coruña s/n., 28040 Madrid, Spain; alia@inia.csic.es

<sup>4</sup> Department of Agroforestry Sciences, Universidad de Huelva, 21006 Huelva, Spain; etorres@uhu.es

\* Correspondence: akli.amel@yahoo.fr; Tel.: +213-34-641-560-974

**Abstract:** (1) Background: local morphological variation can provide useful information to clarify the role of hybridization in Mediterranean oaks. Accordingly, we have characterized putative hybrids and oak species coexisting in a highly diversified oak forest in Algeria with four native oak species (*Quercus suber* L., *Q. ilex* L., *Q. canariensis* Willd., and *Q. afares* Pomel). (2) Methods: sixteen plots, including 89 trees from the four native species and their putative hybrids were sampled. Leaves were scanned and their geometric morphometry analyzed by using 11 landmarks on the right side on their abaxial surface. Variation within and among species, and the relationship among oak species and their hybrids were analyzed, utilizing an ANOVA and a canonical analysis using morphoJ software. (3) Results: using the geometric morphometry analysis, we observed that *Q. afares* shape is intermediate between *Q. suber* and *Q. canariensis*, being *Q. ilex* very different from the others, and that there is no overlap among them. Putative hybrids are morphologically close to *Q. afares* and, to a lesser extent, to *Q. suber* and, finally, to *Q. ilex* and *Q. canariensis*. (4) Conclusions: the study opens the field for future molecular characterization of hybrids, and for determining their role in terms of adaptation to actual and predicted future climatic conditions. The morphological proximity of hybrids to *Q. afares* demonstrate this species advantage in the area of study and its importance for the future evolution of the species in the Mediterranean.

**Keywords:** hybrids; morphological variation; *Quercus*



**Citation:** Akli, A.; Lorenzo, Z.; Alía, R.; Rabhi, K.; Torres, E.

Morphometric Analyses of Leaf Shapes in Four Sympatric Mediterranean Oaks and Hybrids in the Algerian Kabylie Forest. *Forests* **2022**, *13*, 508. <https://doi.org/10.3390/f13040508>

Academic Editors: Igor Poljak and Marilena Idžojić

Received: 14 January 2022

Accepted: 23 March 2022

Published: 25 March 2022

**Publisher's Note:** MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



**Copyright:** © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

Natural hybridization and introgression are two general evolutionary factors in plants with major evolutionary implications [1] related to the appearance of new entities [2] or new variants more adapted to environments different from those of the parental species [3], or even favoring the colonization of new environments [4,5]. Therefore, hybridization and introgression have practical implications in genetic resources conservation and breeding, as they determine the value of different individuals or populations in defining those activities [6,7]. Accordingly, hybrid zones can provide a wealth of novel genetic variation of value under future climatic conditions [8].

Oaks represent good models for hybridization studies, as interspecific hybridization is a frequent mechanism related to the presence of individuals morphologically and ecologically intermediate between different oak species [9–13] at different spatial scales (local vs. broad range). Hybridization in oaks is related to the extensive sharing of organelle and nuclear genes between different species in a given population [5,14,15]. Different factors influence the frequency and the distribution of hybrids in a population, mainly, reproductive barriers and the direction of introgression [12,16–19]. The extent and pattern

of hybridization can also be influenced by environmental heterogeneity, and the spatial distribution [5,20,21] related to the selective advantages of the species and hybrids.

The study of hybrids in mixed stands could be of great interest in understanding the dynamics and evolution of oaks, and different studies have already characterized the extent of hybridization and the mechanisms involved [10,11]. Phenotypic differentiation between species can provide insights into understanding the mechanisms underlying species differentiation in a given area [22]. These are of special interest under climate change scenarios, as mixed oak forests present a large phenotypic variation in morphological and physiological traits related to adaptation [23,24], derived from the large level of intrapopulation variation of the different oak species [10,24,25], and its implications in local adaptation [26].

Oaks (*Quercus* spp.) are well represented throughout the Mediterranean basin, and have been described as a complex made of the species and its hybrids. High levels of intrapopulation variation and differentiation have been shown in Mediterranean oak forests [11,27]. Oaks represent an example of a Mediterranean taxonomic group in which individual species maintain morphological and ecological identities despite extensive hybridization and introgression [5,28]. The use of leaf morphology traits has allowed the analysis of the complex genetic structure in populations of this group of species [29–32]. Leaf morphological traits are highly variable among species [11,33], and can be used to discriminate among them [34]. It has been shown that a morphological classification [21,35,36] has a clear correspondence with the genetic assignment of individuals. These traits have also implications in the adaptation of the species and hybrids to different ecological conditions [37]. However, there is an ongoing critical revision at the taxonomic level, based on multidisciplinary approaches, demonstrating that extremely varied taxonomic frameworks often do not correspond to a real genetic and morphological diversity [38–41].

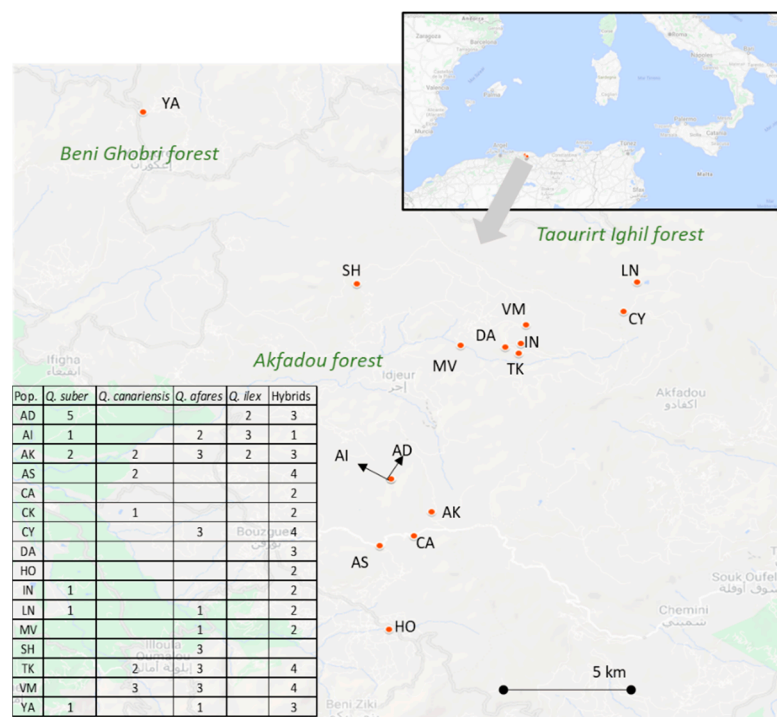
The Kabylie forests in Algeria is a mixed forest, which allows the analysis of leaf morphology diversity of oak species and hybrids. This particular forest consists of a mixture of sympatric species living in the same geographic area: *Quercus afares* Pomel (Afares oak, a stabilized hybrid [42]), *Q. canariensis* Willd. (Zéen oak), *Q. ilex* L. (Evergreen oak) and *Q. suber* L. (Cork oak). *Q. canariensis* is the dominant species, occupying about 45% of the wooded area; while the pure cork oak occupies 15% of the peripheral zone [43]. The endemic afares oak can be found on certain ridgelines, and is continuously distributed from the Kabylie region in Algeria to the Kroumiria region in Tunisia [43]. Additionally, pure stands occupy about 15% of the wooded area, in occasions mixed with hybrids, while mixed stands cover about 25% of the forested area of cork and afares oaks. Some *Q. canariensis* and *Q. afares* over 250 years old have been identified in many Kabylie forests sites, showing their ancestral origin [44].

Our study concerns the leaf characterization of four oak species and their hybrids in the Kabylie forest: *Q. afares*, *Q. canariensis*, *Q. ilex*, and *Q. suber*. Geometric morphometry [45] quantifies the size and shape of the leaves by analyzing the relative positions of anatomical landmarks and sets of points in them, and has a strong relationship with other morphological traits [46]. Our hypothesis is that mixed Mediterranean oak forests present a high level of inter- and intra-specific variability in leaf morphology, with hybrids increasing the level of phenotypic variation in the area. To study the pattern of phenotypic variation in these mixed stands, we analyze the geometric morphometry of the leaves of hybrids and individuals from the different oak species in the area. Finally, we discuss the implications of our results in the improvement of Mediterranean oaks management and conservation, given that phenotypic variation is the basis for natural selection operating under changing climatic conditions.

## 2. Materials and Methods

Sampling was carried out in 89 trees located in 16 plots in three Kabylie forests (Akdadou, Beni Ghobri and Taourirt Ighil forests) (Figure 1 and Figures S1–S6). The identification of species and hybrids was based on their taxonomical descriptions, using leaf morphological traits [34,47,48]. Leaf morphology has also been used in the characterization

of hybrids in the studied area [49]. Bark has additionally been used to confirm the identification of *Q. suber* and its hybrids (Figures S1–S6). In total, we sampled *Q. afares* (20 trees), *Q. canariensis* (10), *Q. ilex* (7), *Q. suber* (11), and putative hybrids (41). The number of sampled trees differs from one plot to another depending on the presence of putative hybrid trees. From each tree, we collected 5 to 10 intact mature leaves at the same period—when leaves were fully developed (10/2015 to 11/2015)—, in the four directions of the crown and at the same height, to avoid dimorphism.



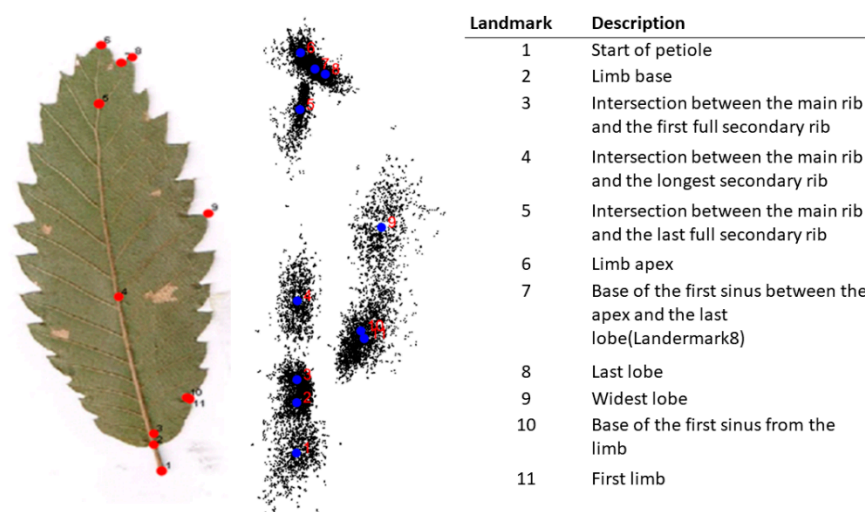
**Figure 1.** Geographical location of sampled populations and number of sampled trees. (Name of the locations: AD-Adrar, AI-Ait Aicha, AK-Akfadou, AS-Ait Salah, CA-Col Ait Salah, CK-Col Akfadou, CY-Cynegetic centre, DA-Damous, HO-Houra, IN-Intersection, LN-Lac noir, MV-Mehaga village, SH-Sidi El Hadi, TK-Tala Kittan, VM-Vide Mehaga, YA-Yakouren.

### 2.1. Morphometric Analysis

The leaves were pressed and dried (Figure S7), and the abaxial surface was scanned using a Brother scanner at a resolution of 300 DPI. The digitalized images were used to record 11 landmarks on the right half side of each leaf [45,50] (Figure 2). In this study, we assessed 532 leaves coming from the 89 sampled trees (a mean of 6 leaves per tree). We scanned two images per leaf (1064 images), and we made two assessments for each scanned image to minimize digitization errors [45,51]. These landmarks were converted into a configuration of 11 pairs of Cartesian coordinates of each leaf. The analysis was made by the software morphoJ [52].

### 2.2. Data Analysis

Cartesian coordinates of the landmarks were used for data analysis. We performed an outlier analysis based on the visualization of the cumulative distribution of distances of individual samples of the average form of the complete sample, showing no outliers in the data (Figure S8).



**Figure 2.** Position and description of landmarks on the right side of a leaf in the Akfadou forest and generalized procrustean overlay of all samples. Average conformations (consensus) are represented by blue dots.

The data were used to test the morphological discrimination of the trees (pure and hybrid) present in the forest. Having carried out a limited genetic study in order to discriminate pure oak species in the first place, we checked the homogeneity of the leaf shape conformation in the individuals of the species and putative hybrids.

We used the variation of leaf shape hierarchically (procrustean ANOVA) distributed among leaves, trees, and species to create mean configurations at each of these levels. Leaf-level data were analyzed for leaf shape variation, tree-level data for species discrimination, and species-level data (including hybrid individuals) for multivariate analysis. Centroid size and conformation components of leaves were used for further analysis.

In a second step, a canonical analysis was applied to the individuals, excluding the hybrids, to check for differences among the species described in the Akfadou forest. Canonical analysis was used to find the morphological feature that best separates groups of specimens. The method describes, explains and predicts the membership of predefined groups (species) of a set of observations (trees) from a series of predictive variables (cartesian coordinates). The main purpose of the method is to reduce the number of data's dimensions, by looking for those where individuals are most separate. These new variables are linear combinations with the original ones. Factorial graphs in scatter plots are constructed enabling a distinction between data groups. A discriminant analysis of comparison (DA) was used to compare each of the two pairs of species.

In a third step, a canonical analysis and a discriminant comparison analysis were applied to all the individuals—including hybrids- to check for the distribution of hybrids in the morphometric space of the pure species in the forest.

### 3. Results

#### 3.1. Morphological Variation in Oaks Species in the Akfadou Forest

The Procrustes overlay (Figure 2) indicates the dispersion of the landmarks in the samples. Each landmark is surrounded by a cloud of dots representing the different coordinates of all leaves, and the variability from the consensus (higher for landmarks 1, 4, 9, 10 and 11).

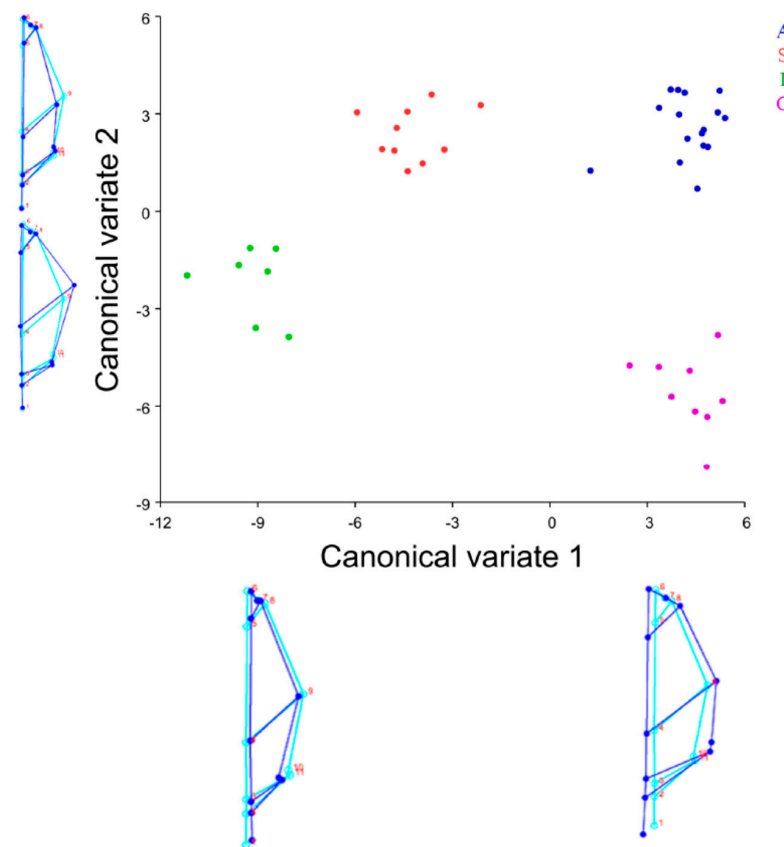
The results obtained by the ANOVA analysis (Table 1), indicates the importance of the species (46.77% of total variation in size and 22.11 in conformation or shape) in leaf morphology, followed by that of the plot (21.53 and 9.66% respectively) and, to a lesser extent, of the tree within species and plot (9.63 and 20.14% respectively).

**Table 1.** Hierarchical analysis of variance for the centroid size (size) and conformation (shape) of the leaves. (DF refer to degrees of freedom. Significance: \*\*\*:  $p < 0.001$ , \*\*:  $p < 0.01$ ).

Effect	Size				Shape			
	DF	Sum of Squares	F	Percentage of Variation (%)	DF	Sum of Squares	F	Percentage of Variation (%)
Plot	15	27,722,600.99	19.35 ***	21.53	270	6.71 ***	9.66	
Species	35	60,215,876.60	18.02 ***	46.77	630	8.13	5.02 ***	22.11
Trees	81	12,391,290.78	1.6 **	9.63	1458	7.41	1.98 ***	20.14
Leaves	293	27,979,062.07	92.49 ***	21.73	5274	13.56	19.85 ***	36.87
Error	415	428,489.35		0.33	7470	0.97		2.63

### 3.2. Morphometric Leaf Variation between Species

The canonical analysis diagram (Figure 3) shows the segregation of groups according to the average conformations per tree of the same species. Along axes 1 and 2, the species are significantly discriminated, and these two axes explain 93.05 % of the total variation. We observe that the shape of *Q. afares* is intermediate between *Q. suber* and *Q. canariensis*, being *Q. ilex* very different from the other species, and without overlap among them.

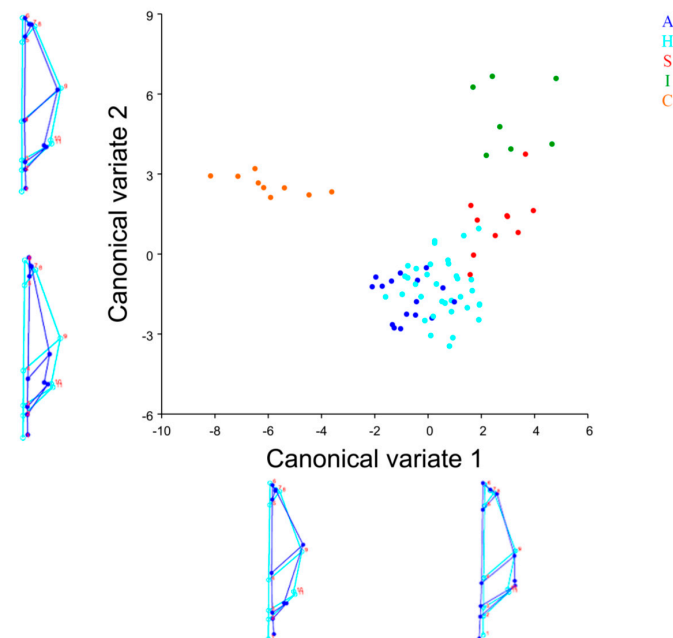


**Figure 3.** Canonical analysis of the four species in the Akfadou forest [*Q. afares* (A), *Q. suber* (S), *Q. ilex* (I), *Q. canariensis* (C)], and representation of leaf differences along the two canonical axes (CV1 = 66.93%, CV2 = 26.12%).

The discriminant analysis of comparison confirms the proximity between *Q. afares* and *Q. suber* (Figure 3), and the differences with the other species. Boxplots of the populations confirm the differences among the species (Figure S9).

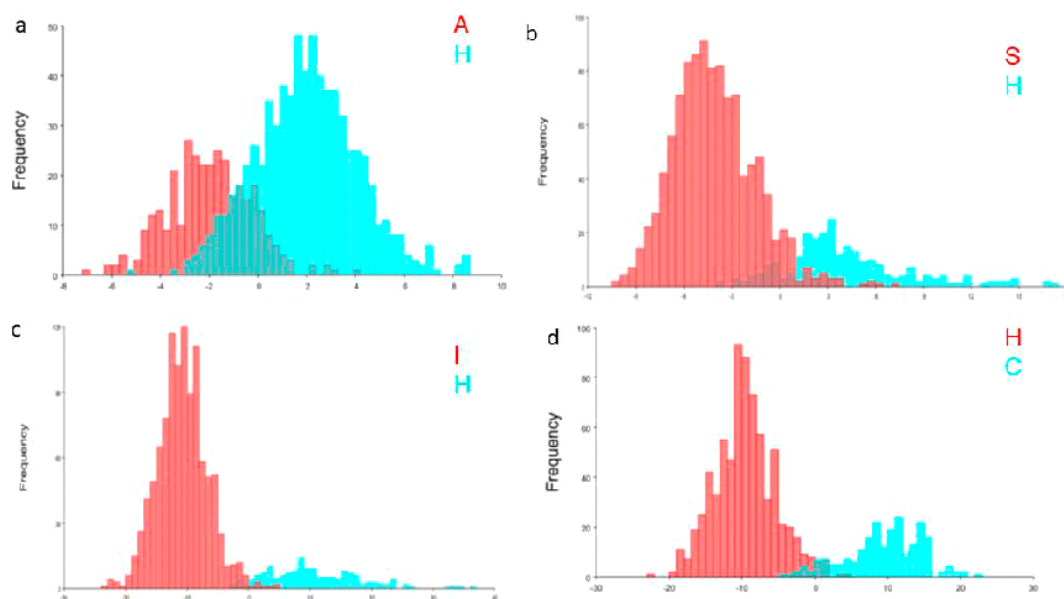
### 3.3. Morphometric Variations of Hybrids

When including the putative hybrids in the analysis, the canonical analysis shows that those individuals are morphologically close to *Q. afares* and, to a lesser extent, to *Q. suber* and, finally, to *Q. ilex* and *Q. canariensis* (Figure 4).



**Figure 4.** Canonical analysis of the four species and hybrids in the Akfadou forest [*Q. afares* (A), *Q. suber* (S), *Q. ilex* (I), *Q. canariensis* (C) and the hybrids (H)], and representation of leaf differences along the two canonical axes (CV1 = 47.08%; CV2 = 35.88%).

The Cross-validation of DA has revealed an overlap of hybrids with *Q. afares*, and to a lesser extent with *Q. suber* (T2 values significant,  $p < 0.0001$ ). The overlaps with *Q. canariensis* and *Q. ilex* are non-significant (Figure 5).



**Figure 5.** Discrimination analysis (DA) of leaf shape for pairs of species. (a) *Q. afares* (A) vs. Hybrids (H), (b) *Q. suber* (S) vs. Hybrids (H), (c) *Q. ilex* (I) vs. Hybrids (H), (d) *Q. canariensis* (C) vs. Hybrids (H).

#### 4. Discussion

Our study shows that geometric morphometry can explain the pattern of variation among oak species and hybrid individuals at a reduced spatial scale. The results suggest that, in the studied area, the hybrids identified are close to *Q. afares* and *Q. suber*, but clearly differ from *Q. canariensis* and *Q. ilex* there.

Oak species variation in mixed forest stands has been an open topic for decades [35,36,50] and, in particular, for *Q. afares*, which has been described as a stabilized hybrid between *Q. suber* and *Q. canariensis* [42,44,49]. Our results confirm, after a discriminant analysis, the clear separation of *Q. afares* from the parental species. *Q. afares* is closer to *Q. suber* than to the other parental species (*Q. canariensis*) in leaf geometric morphometry. The pattern of variation in these morphological traits (a significant effect of site and trees indicative of within-species variation at the local scale), is consistent with other studies [49,51,53], and reflect the existence of standing variation for natural selection to act [54]. The significant within-tree effect is indicative of the phenotypic plasticity of these traits, an important evolutionary factor in Mediterranean oaks at different levels [55,56].

The existence of a significant number of hybrids allows the identification and the analysis of the relationship with the parental species using leaf morphological traits. Based on our results, the hybrids are similar to some of the *Q. afares* individuals, indicating a likely similar origin (*Q. suber* × *Q. canariensis* crosses), or a backcrossing of *Q. afares* with *Q. suber* individuals. In all the cases, the similarity with *Q. canariensis* or *Q. ilex* is quite low. The leaf morphology of the hybrids is similar to *Q. afares*, and it is predominant in the area. This leaf morphology could be related to the different sensitivity of this species to the climate [44], and to an absence of particular evidence of decline of the hybrids with respect to the parental species [49]. In our case, we lack a precise genetic characterization to determine the genetic background of *Q. afares* and the hybrids. In a preliminary genetic characterization of the parental species and the hybrids using five nSSR developed for *Q. suber* and *Q. ilex* (Annex 1), the genotypes of 4 out of the 5 hybrids analyzed are compatible with different types of hybrids (eg. *Q. afares* × *Q. suber* or *Q. suber* × *Q. canariensis*). However, we cannot discard *Q. ilex* as one of the maternal species, even if geometric morphology does not show any relationship with it. These results are concordant with the analysis of *Q. afares* and lack of spatial structure [42,49], and with the value of leaf morphology in the analysis of variation in oaks [31,57,58]. However, a complete genetic analysis is needed to discriminate the discrepancies of genetic assignment using morphological traits in a group as complex as that of Mediterranean oaks [29,59]. We also need to consider the necessary sample sizes to better understand this process, related to the inter- and intra-specific variability of Mediterranean oaks [35,53].

One question still open is the impact of hybrids on the genetic structure of the parental species in the long term. Hybrids of *Q. ilex* and *Q. suber* [17] are mainly derived from a crossing event, with no clear effects in the long term. However, our results suggest that *Q. afares*, as a stabilized hybrid, could have an impact on the future genetic structure of the populations, as some of the hybrids are increasing the leaf morphological space of oaks. This is an important aspect for local diversity, a pattern that has not previously been reported at the local scale. However, in some cases, interspecific gene exchanges with molecular markers have been detected in the absence of obvious morphologically intermediate forms [14,60]. In conclusion, we need further genetic research to address this important question.

The implications for management and conservation are related to the use of the different species and to how their hybrids can represent important genetic resources for the future in terms of adaptation or use of those species. At this moment, hybrids are not appreciated, as their main, production-related, characteristics are dissimilar to those of *Q. suber*, which can have a higher economic value. However, hybrids can have some role in the adaptation to intermediate ecological conditions with respect to the parental species. For instance, *Q. afares* and *Q. canariensis* present contrasting differences in relation to the

area's climatic variability [44] and, therefore, we need to increase our knowledge of the role of these hybrids.

This study demonstrates the importance of hybridization in Mediterranean oaks at a local scale, opening the field for future studies analyzing the genetics of the hybrids in terms of molecular characterization and the implications for adaptation to future conditions in a changing global context. We also need to determine if hybridization at the local scales is a mass effect due to the high diversity of oak species and their extensive gene flow, with small effects in the short term in these mixed forests. This information will be essential for implementing efficient conservation measures [61].

## 5. Conclusions

Mediterranean oaks present a complex genetic structure among the species and populations. Mixed forests, such as the Argelian Kabylie are frequent, consisting of pure species of the genus *Quercus*; *Q. canariensis*, *Q. afares*, *Q. suber* and *Q. ilex* and natural hybrids. This study demonstrates the prevalence of hybrids with leaf morphology similar to that of *Q. afares*, a stabilized hybrid in the area. The new hybrids defined in this work are similar to *Q. afares* individuals, indicating a bias towards their morphology. In addition, it demonstrates the extensive importance of hybridization in the complex genetic structure at the local scale, and opens the field for future studies. We need to develop population and species genetic studies to further our understanding of the role of hybridization and introgression in the evolutionary history of this species, and to confirm the degree of hybridization in this forest. We also need to analyze the role of hybrids in the adaptation to future conditions. All this information is essential to improve the management and/or genetic conservation programs of the species in the Mediterranean.

**Supplementary Materials:** The following are available online at <https://www.mdpi.com/article/10.3390/f13040508/s1>, Figure S1: Hybrid oaks (Location: CY-Cynegetic centre); Figure S2: *Quercus afares* (Location: SH- Sidi El Hadi); Figure S3: *Quercus afares*: a –tree, b-bark (Location: SH- Sidi El Hadi); Figure S4: *Quercus suber* (Location: AD-Adrar); Figure S5: Hybrids (a-Location: YA-Yakouren, b- VM- Vide Mehaga); Figure S6: Hybrids (Location: LN- Lac noir); Figure S7. Leaves from the different species analysed, Figure S8: Cumulative distribution of distances of individual samples of the average distribution of the complete sample; Figure S9: Size Centroid variation after average species within trees (box plot). [*Q. afares* (A), *Q. suber* (S), *Q. ilex* (I), *Q. canariensis* (C) and the hybrids (H)]. Annex 1. Genetic characterization.

**Author Contributions:** Conceptualization, A.A., K.R. and E.T.; Formal analysis, A.A. and R.A.; Funding acquisition, R.A. and E.T.; Methodology, Z.L. and E.T.; Project administration, E.T.; Supervision, K.R.; Writing—original draft, A.A. and R.A.; Writing—review & editing, A.A., Z.L., R.A., K.R. and E.T. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** Amel Akli was financed by a grant (Pne2019/2020) from the Algerian Ministry of Higher Education and Scientific Research (MESRS) for co-supervision agreement between the Mouloud Mammeri University (Algeria) and the Huelva University (Spain) for PhD studies. Ricardo Alia was funded by the European Union Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 773383 (B4EST project), and the Ministry of Science (RTI2018-094691-B-C32).

**Institutional Review Board Statement:** Not applicable.

**Informed Consent Statement:** Not applicable.

**Data Availability Statement:** Data is available at the Zenodo repository (<https://zenodo.org/> (accessed on 13 January 2022)), doi: 10.5281/zenodo.6376254.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

## References

1. Abbott, R.J.; Barton, N.H.; Good, J.M. Genomics of hybridization and its evolutionary consequences. *Mol. Ecol.* **2016**, *25*, 2325–2332. [[PubMed](#)]
2. Seehausen, O. Hybridization and adaptive radiation. *Trends Ecol. Evol.* **2004**, *19*, 198–207. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Rieseberg, L.H.; Raymond, O.; Rosenthal, D.M.; Lai, Z.; Livingstone, K.; Nakazato, T.; Durphy, J.L.; Schwarzbach, A.E.; Donovan, L.A.; Lexer, C. Major ecological transitions in wild sunflowers facilitated by hybridization. *Science* **2003**, *301*, 1211–1216. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Potts, B.M.; Reid, J.B. Hybridization as a dispersal mechanism. *Evolution* **1988**, *42*, 1245–1255. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
5. Petit, R.J.; Bodénès, C.; Ducouso, A.; Roussel, G.; Kremer, A. Hybridization as a mechanism of invasion in oaks. *New Phytol.* **2003**, *161*, 151–164. [[CrossRef](#)]
6. Potts, B.M.; Dungey, H.S. Interspecific hybridization of *Eucalyptus*: Key issues for breeders and geneticists. *New For.* **2004**, *27*, 115–138. [[CrossRef](#)]
7. Chan, W.Y.; Hoffmann, A.A.; van Oppen, M.J.H. Hybridization as a conservation management tool. *Conserv. Lett.* **2019**, *12*, e12652.
8. Janes, J.K.; Hamilton, J.A. Mixing it up: The role of hybridization in forest management and conservation under climate change. *Forests* **2017**, *8*, 237. [[CrossRef](#)]
9. Howard, D.J.; Preszler, R.W.; Williams, J.; Fenchel, S.; Boecklen, W.J. How discrete are oak species? Insights from a hybrid zone between *Quercus grisea* and *Quercus gambelii*. *Evolution* **1997**, *51*, 747–755. [[CrossRef](#)]
10. Curtu, A.L.; Gailing, O.; Finkeldey, R. Evidence for hybridization and introgression within a species-rich oak (*Quercus* spp.) community. *BMC Evol. Biol.* **2007**, *7*, 218.
11. Curtu, A.L.; Gailing, O.; Leinemann, L.; Finkeldey, R. Genetic variation and differentiation within a natural community of five oak species (*Quercus* spp.). *Plant Biol.* **2007**, *9*, 116–126. [[PubMed](#)]
12. Antonecchia, G.; Fortini, P.; Lepais, O.; Gerber, S.; Léger, P.; Scippa, G.S.; Viscosi, V. Genetic structure of a natural oak community in central Italy: Evidence of gene flow between three sympatric white oak species (*Quercus*, *Fagaceae*). *Ann. For. Res.* **2015**, *58*, 205–216.
13. Petit, R.J.; Pineau, E.; Demesure, B.; Bacilieri, R.; Ducouso, A.; Kremer, A. Chloroplast DNA footprints of postglacial recolonization by oaks. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **1997**, *94*, 9996–10001. [[PubMed](#)]
14. Whittemore, A.T.; Schaal, B.A. Interspecific gene flow in sympatric oaks. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **1991**, *88*, 2540–2544. [[CrossRef](#)]
15. Dumolin-Lapégue, S.; Kremer, A.; Petit, R.J. Are chloroplast and mitochondrial DNA variation species independent in oaks? *Evolution* **1999**, *53*, 1406–1413. [[CrossRef](#)]
16. Sofletea, N.; Enescu, C.M.; Curtu, A.L. Small-Scale Morphological Descriptors Analysis in four Romanian Oak Stands reported to Series Lanuginosae Simk. *Bull. Transilv. University Brasov.* **2011**, *4*, 77–84.
17. Burgarella, C.; Lorenzo, Z.; Jabbour-Zahab, R.; Lumaret, R.; Guichoux, E.; Petit, R.J.; Soto, A.; Gil, L. Detection of hybrids in nature: Application to oaks (*Quercus suber* and *Q. ilex*). *Heredity* **2009**, *102*, 442–452.
18. Lepais, O.; Petit, R.J.; Guichoux, E.; Lavabre, J.E.; Alberto, F.; Kremer, A.; Gerber, S. Species relative abundance and direction of introgression in oaks. *Mol. Ecol.* **2009**, *18*, 2228–2242.
19. Lepais, O.; Gerber, S. Reproductive patterns shape introgression dynamics and species succession within the European white oak species complex. *Evolution* **2011**, *65*, 156–170.
20. Gugger, P.F.; Fitz-Gibbon, S.T.; Albarrán-Lara, A.; Wright, J.W.; Sork, V.L. Landscape genomics of *Quercus lobata* reveals genes involved in local climate adaptation at multiple spatial scales. *Mol. Ecol.* **2021**, *30*, 406–423.
21. Curtu, A.L.; Alizoti, P.; Ballian, D. Marginal/peripheral populations of forest tree species and their conservation status: Report for southeastern Europe. *Ann. Silv. Res.* **2017**, *41*, 41–47.
22. Kremer, A.; Zanetto, A.; Ducouso, A. Multilocus and Multitrait Measures of Differentiation for Gene Markers and Phenotypic Traits. *Genetics* **1997**, *145*, 1229–1241. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
23. Kleinsmit, J.; Bacilieri, R.; Kremer, A.; Roloff, A. Genetic, morphological, ecological and phenological differentiation between *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L. in a mixed stand of Northwest of France. *Silvae Genet.* **1995**, *44*, 1–10.
24. Jensen, J.S. Provenance Variation in Phenotypic Traits in *Quercus robur* and *Quercus petraea* in Danish Provenance Trials. *Scand. J. For. Res.* **2000**, *15*, 297–308. [[CrossRef](#)]
25. Ducouso, A.; Guyon, J.P.; Kremer, A. Latitudinal and altitudinal variation of bud burst in western populations of sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). *Ann. Sci. For.* **1996**, *53*, 775–782. [[CrossRef](#)]
26. Ramírez-Valiente, J.A.; Santos del Blanco, L.; Alía, R.; Robledo-Arnuncio, J.J.; Climent, J. Adaptation of Mediterranean forest species to climate: Lessons from common garden experiments. *J. Ecol.* **2021**, 1–21. [[CrossRef](#)]
27. Jiménez, P.; de Heredia, U.L.; Collada, C.; Lorenzo, Z.; Gil, L. High variability of chloroplast DNA in three Mediterranean evergreen oaks indicates complex evolutionary history. *Heredity* **2004**, *93*, 510–515. [[CrossRef](#)]
28. Belahbib, N.; Pemonge, M.-H.H.; Ouassou, A.; Sbay, H.; Kremer, A.; Petit, R.J. Frequent cytoplasmic exchanges between oak species that are not closely related: *Quercus suber* and *Q. ilex* in Morocco. *Mol. Ecol.* **2001**, *10*, 2003–2012. [[CrossRef](#)]
29. Fortini, P.; Viscosi, V.; Maiuro, L.; Fineschi, S.; Vendramin, G.G. Comparative leaf surface morphology and molecular data of five oaks of Comparative leaf surface morphology and molecular data of five oaks of the subgenus *Quercus* Oerst (Fagaceae). *Plant Biosyst.* **2009**, *143*, 543–554. [[CrossRef](#)]

30. Fortini, P.; Di Marzio, P.; Di Pietro, R. Differentiation and hybridization of *Quercus frainetto*, *Q. petraea*, and *Q. pubescens* (Fagaceae): Insights from macro-morphological leaf traits and molecular data. *Plant. Syst. Evol.* **2015**, *301*, 375–385. [[CrossRef](#)]
31. Di Pietro, R.; Conte, A.L.; Di Marzio, P.; Gianguzzi, L.; Spampinato, G.; Caldarella, O.; Fortini, P. A multivariate morphometric analysis of diagnostic traits in southern Italy and Sicily pubescent oaks. *Folia Geobot.* **2020**, *55*, 163–183. [[CrossRef](#)]
32. Di Pietro, R.; Marzio, P.D.; Medagli, P.; Misano, G.; Silletti, G.N.; Wagensommer, R.P.; Fortini, P. Evidence from multivariate morphometric study of the *Quercus pubescens* complex in southeast Italy. *Bot. Serbica* **2016**, *40*, 83–100.
33. Proietti, E.; Filesi, L.; Di Marzio, P.; Di Pietro, R.; Masin, R.; Conte, A.L.; Fortini, P. Morphology, geometric morphometrics, and taxonomy in relict deciduous oaks woods in northern Italy. *Rend. Lincei. Sci. Fis. Nat.* **2021**, *32*, 549–564. [[CrossRef](#)]
34. Vazquez, F.M.; Coombes, A.J.; Garcia-Alonso, D.; Marquez, F.; Rodriguez-Meireles, C.; Guerra Barrena, M.J.; Vila-Viçosa, C. Anotaciones a la nomenclatura del género *Quercus* L., (FAGACEAE) en la Península Ibérica y NW de África. *Folia Bot. Extrem.* **2018**, *12*, 5–79.
35. Kremer, A.; Dupouey, J.L.; Deans, J.D.; Cottrell, J.; Csaikl, U.; Finkeldey, R.; Espinel, S.; Jensen, J.; Kleinschmit, J.; Van Dam, B.; et al. Leaf morphological differentiation between *Quercus robur* and *Quercus petraea* is stable across western European mixed oak stands. *Ann. For. Sci.* **2002**, *59*, 777–787. [[CrossRef](#)]
36. Gugerli, F.; Walser, J.C.; Dounavi, K.; Holderegger, R.; Finkeldey, R. Coincidence of small-scale spatial discontinuities in leaf morphology and nuclear microsatellite variation of *Quercus petraea* and *Q. robur* in a mixed forest. *Ann. Bot.* **2007**, *99*, 713–722. [[CrossRef](#)]
37. Ramírez-Valiente, J.A.; Etterson, J.R.; Deacon, N.J.; Cavender-Bares, J. Evolutionary potential varies across populations and traits in the neotropical oak *Quercus oleoides*. *Tree Physiol.* **2019**, *39*, 427–439. [[CrossRef](#)]
38. Enescu, C.M.; Curtu, A.L.; Sofletea, N. Is *Quercus virgiliana* a distinct morphological and genetic entity among European white oaks? *Turk. J. Agric.* **2013**, *37*, 632–641. [[CrossRef](#)]
39. Di Pietro, R.; Conte, A.L.; Di Marzio, P.; Fortini, P.; Farris, E.; Gianguzzi, L.; Müller, M.; Rosati, L.; Spampinato, G.; Gailing, O. Does the genetic diversity among pubescent white oaks in southern Italy, Sicily and Sardinia islands support the current taxonomic classification? *Eur. J. For. Res.* **2021**, *140*, 355–371. [[CrossRef](#)]
40. Midolo, G.; Wellstein, C.; Faurby, S. Individual fitness is decoupled from coarse-scale probability of occurrence in North American trees. *Ecography* **2021**, *44*, 789–801. [[CrossRef](#)]
41. Wellstein, C.; Spada, F. The status of *Quercus pubescens* willd. in Europe. In *Warm-Temperate Deciduous Forests around the Northern Hemisphere, Geobotany Studies*; Box, E., Fujiiwara, K., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2015; pp. 153–163.
42. Mir, C.; Toumi, L.; Jarne, P.; Sarda, V.; Di Giusto, F.; Lumaret, R. 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* **2006**, *96*, 175–184. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
43. Messaoudène, M.; Laribi, M.; Derridj, A. Étude de la diversité floristique de la forêt de l'Akfadou (Algérie). *Bois For. Trop.* **2007**, *291*, 75–81.
44. Messaoudène, M.; Tessier, L. Relations cerne-climat dans des peuplements de *Quercus afares* willd et *Quercus canariensis* Pomel en Algérie. *Ann. Sci. For.* **1997**, *54*, 347–358. [[CrossRef](#)]
45. Viscosi, V.; Cardini, A. Leaf morphology, taxonomy and geometric morphometrics: A simplified protocol for beginners. *PLoS ONE* **2011**, *6*, e25630. [[CrossRef](#)]
46. Viscosi, V.; Loy, A.; Fortini, P. Geometric Morphometric Analysis as a Tool to Explore Covariation between Shape and Other Quantitative Leaf Traits in European White Oaks. Tools for Identifying Biodiversity: Progress and Problems. In Proceedings of the International Congress, Paris, France, 20–22 September 2010; Nimis, P.M., Vignes Lebbe, R., Eds.; EUT Edizioni Università di Trieste: Trieste, Italy, 2010; pp. 257–261.
47. Quézel, P.; Santa, S. *Nouvelle Flore de l'Algérie et des Régions Désertiques Méridionales, Volume 1*; CNRS ed.: Paris, France, 1962; pp. 1–565.
48. Quézel, P.; Santa, S. *Nouvelle Flore de l'Algérie et des Régions Désertiques Méridionales, Volume 2*; CNRS ed.: Paris, France, 1963; pp. 566–1170.
49. Mhamdi, S.; Brendel, O.; Montpied, P.; Ghoul-Amimi, H.; Hasnaoui, I.; Dreyer, E. 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. *Ann. For. Sci.* **2013**, *70*, 675–684. [[CrossRef](#)]
50. Liu, Y.; Li, Y.; Song, J.; Zhang, R.; Yan, Y.; Wang, Y.; Du, F.K. Geometric morphometric analyses of leaf shapes in two sympatric Chinese oaks: *Quercus dentata* Thunberg and *Quercus aliena* Blume (Fagaceae). *Ann. For. Sci.* **2018**, *75*, 90. [[CrossRef](#)]
51. Viscosi, V. Geometric morphometrics and leaf phenotypic plasticity: Assessing fluctuating asymmetry and allometry in European white oaks (*Quercus*). *Bot. J. Linn. Soc.* **2015**, *179*, 335–348. [[CrossRef](#)]
52. Klingenberg, C.P. MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. *Mol. Ecol. Resour.* **2011**, *11*, 353–357. [[CrossRef](#)]
53. Viscosi, V.; Lepais, O.; Gerber, S.; Fortini, P. Leaf morphological analyses in four European oak species (*Quercus*) and their hybrids: A comparison of traditional and geometric morphometric methods. *Plant Biosyst.* **2009**, *143*, 564–574. [[CrossRef](#)]
54. Alberto, F.J.; Aitken, S.N.; Alía, R.; González-Martínez, S.C.; Hänninen, H.; Kremer, A.; Lefèvre, F.; Lenormand, T.; Yeaman, S.; Whetten, R.; et al. Potential for evolutionary responses to climate change—evidence from tree populations. *Glob. Chang. Biol.* **2013**, *19*, 1645–1661. [[CrossRef](#)]

55. Valladares, F.; Matesanz, S.; Guilhaumon, F.; Araújo, M.B.; Balaguer, L.; Benito-Garzón, M.; Cornwell, W.; Gianoli, E.; van Kleunen, M.; Naya, D.E.; et al. The effects of phenotypic plasticity and local adaptation on forecasts of species range shifts under climate change. *Ecol. Lett.* **2014**, *17*, 1351–1364. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
56. Ramírez-Valiente, J.A.; Valladares, F.; Delgado, A.; Nicotra, A.B.; Aranda, I. Understanding the importance of intrapopulation functional variability and phenotypic plasticity in *Quercus suber*. *Tree Genet. Genomes* **2015**, *11*, 35. [[CrossRef](#)]
57. Viscosi, V.; Antonecchia, G.; Lepais, O.; Fortini, P.; Gerber, S.; Loy, A. Leaf Shape and Size Differentiation in White Oaks: Assessment of Allometric Relationships among Three Sympatric Species and Their Hybrids. *Int. J. Plant Sci.* **2012**, *173*, 874–875. [[CrossRef](#)]
58. Franjić, J.; Liber, Z.; Škvorc, Ž.; Idžojtić, M.; Šoštarić, R.; Stančić, Z. Morphological and molecular differentiation of the Croatian populations of *Quercus pubescens* Willd. (*Fagaceae*). *Acta Soc. Bot. Pol.* **2006**, *75*, 123–130. [[CrossRef](#)]
59. Fortini, P.; Antonecchia, G.; Di Marzio, P.; Maiuro, L.; Viscosi, V. Role of micromorphological leaf traits and molecular data in taxonomy of three sympatric white oak species and their hybrids (*Quercus* L.). *Plant Biosyst.* **2013**, *149*, 546–558. [[CrossRef](#)]
60. Dodd, R.S.; Afzal-Rafii, Z. Selection and dispersal in a multispecies oak hybrid zone. *Evolution* **2004**, *58*, 261–269. [[CrossRef](#)]
61. Radford, E.; Catullo, G.; de Montmollin, B. *Important Plant Areas of the South and East Mediterranean Region: Priority Sites for Conservation*; IUCN: Gland, Switzerland; Malaga, Spain, 2011.

# Biometry of Acorn of the Putative Oak from Akfadou Forest in North Africa (Algeria)

Amel Akli<sup>1</sup>, Khellaf Rabehi<sup>2</sup>, Enrique Torres Alvarez<sup>3</sup>, Ricardo Alia<sup>4</sup>, Lynda Kheloul<sup>5</sup>, Mahand Messaoudene<sup>6</sup>

<sup>1</sup>University Tizi Ouzou-Mouloud Mammeri, Algeria, INRF, Azazga and University de Huelva, Spain

<sup>2</sup>University Tizi Ouzou-Mouloud Mammeri, Algeria, INRF, Azazga, Algeria

<sup>3</sup>University de Huelva, Huelva, Spain

<sup>4</sup>INIA-CSIC. Avda A Coruña sn., Madrid, Spain

<sup>5</sup>University Mouloud Mammeri, Algeria

<sup>6</sup>INRF-Institute National of Research Forestry, Azazga, Algeria

## ABSTRACT

In this study, we are interested in the acorn biometry of the putative oak of Akfadou forest in Algeria. We measured the size of acorns of 34 putative species' trees collected from 9 stands in the Akfadou forest massif (Algeria) and then we evaluated the growth of the seedlings by sowing the acorns in a nursery. We found that the performance of oak seedlings is strongly influenced by a "stand effect" and a "close pure species effect." Indeed, the position and the ecological region influence acorn morphology. The growth of putative oaks in the nursery is remarkably homogeneous in terms of seedling height and diameter. However, the "close pure species" effect appears in the case of the high altitude stand where holm oak is present. This diversity is probably the consequence of genetic variations and/or environmental conditions of the stands. With climate change and decreasing precipitation, the frequency of dry years will only increase. These putative hybrids trees could constitute a future alternative for reforestation, improvement, and diversification of species in Algeria.

**Keywords:** Akfadou massif, biometric parameters, Hybrid species, morphological parameters, Pure species, Quercus.

## Introduction

The Mediterranean basin is considered an undisputed hotspot for global biodiversity, due to the diversity and richness of its flora. Indeed, it shelters approximately 10% of the flora known in the world on an area representing less than 2% of the surface of the earth, and about half of these species are found nowhere else in the world (Radford et al., 2011).

*Quercus* genus L. (oaks) is one of the most important economical and ecological tree genera, widespread in the Northern Hemisphere (Kubitzki, 1993; Messaoudene et al., 2007; Nixon, 1993). Oaks are cultivated in the Northern Hemisphere, but ornamental or forestry is also cultivated in the Southern Hemisphere (Vázquez et al., 2018). It is one of the richest in species, which includes about 500 forest species accompanied by many hybrids and is well represented in the spontaneous state throughout the Mediterranean basin (Bonfils et al., 2005).

*Quercus* L. is one of the most species-rich forest genera with up to 400 woody species of temperate and Mediterranean zones, including America, Europe, and Asia, among which some species are of high socio-economic and ecological importance (Nsibi et al., 2003; Sarir & Benmahioul, 2017).

Algeria has six species of oaks: *Quercus canariensis* Willd, *Quercus afares* Pomel, *Quercus suber* L, *Quercus coccifera* L, *Q. faginea*, and *Quercus ilex* L (Aissi et al., 2019; Cuénod et al., 1954; Hasnaoui, 1992). These species cover nearly 40% of the Algerian forest and play an undeniable role on the ecological, economical, and social levels (Alatou, 1994; Sarir et Benmahioul, 2017). Most oak species have a very complex evolutionary history, related to the existence of interspecific hybridization (Müller, 1952) and introgressions (Leroy et al., 2017 in Aissi et al., 2019; Hardin, 1975; Van Valen, 1976). Interspecific hybridization is a common phenomenon in oaks and can have important evolutionary consequences on taxonomy (Arnold, 1997 and Rieseberg, 1997; Matthew et al., 2004). The latter is complex due to the high variability and gene flow between these species (Mir et al., 2006); hence, the current representation of the range of these taxa needs to be reviewed and explored (Aissi et al., 2021).

The putative hybrids are detected from their morphological traits or using molecular markers (Cottam et al., 1982; Rusthon, 1993 in Mhamdi, 2013). Among the criteria for the infrageneric classification of the

## Cite this article as:

Akli, A., Rabehi, K., Torres Alvarez, E., Alia, R., Kheloul, L., & Messaoudene, M. (2022). Biometry of acorn of the putative Oak from Akfadou forest in North Africa (Algeria). *Forestist*, 72(3), 212-224.

## Corresponding Author:

Amel Akli  
e-mail:  
amel.akli@alu.uhu.es

Received: December 25, 2021

Accepted: April 13, 2022

Available Online Date: July 26, 2022



genus *Quercus*, the morpho-anatomy of the floral organs, acorns, and their cups are mostly used to recognize different levels of taxa within the genus, especially they help to delineate species complexes (Maire, 1961).

Many authors in the world have analyzed the effects of certain techniques (culture substrates, volume and shape of containers, quality of plants, conservation of acorns, etc.) on the recovery and growth of oak, for example, Abourouh et al. (1995); Aissi et al.(2021); Aussenac et al.(1988); Beissalah et al.(1987); Belghazi et al.(2011); EL Abou (2009); EL Ghazi (2005); Favre (1970, 1977); Jarvis (1986); Josiah and Jones (1992); Lamhamedi et al.(2000); Merouani et al.(2001); Nahidi (2006); Riedacker (1986).

In Algeria, Vázquez et al. (2018) reported the presence of two hybrids in Akfadou (AK) which are *Q.numidica* and *Q.kabylica*, but Algerian experts observed the existence of several putative species that mix with the pure oaks in AK alongside the four pure species of the genus *Quercus* (*Q. canariensis*, *Q.afares*, *Q.ilex*, and *Q.uber*), making taxonomic delimitation delicate and unstable (Amaral, 1990; Bussotti & Grossoni, 1998; Maire, 1961; Trabut, 1892). Without knowing the parents with certainty, these hybrids would result from the crossing of these pure species (Vázquez et al., 2018).

We think approaching the hybridization phenomenon by the means of a biometric analysis of the acorns produced and morphological analysis of the plants results from breeding in the nursery. Acorn is very important because it constitutes the primordial organ of regeneration which strongly depends on the regularity and abundance of acorns, the size (energy value), and the phytosanitary state (Merouani et al., 2001; Suszka et al., 1994).

The objectives of this work were to study the acorn biometry of putative species in AK, to follow the growth and the behavior of plants in the nursery, and to demonstrate the existence of the stand and near-pure species effects.

This study constitutes an easy management tool for the forester. It allows describing the forest population and its evolution, re-evaluating their taxonomic definition.

## Methods

### Study Area

The AK forest is located approximately 160 km east of Algiers and 20 km from the sea. The forest massif covers an area of approximately 11,000 ha or 18% of the deciduous oak grove of Algeria. Its orography is quite complicated; it revolves around a succession of ridgelines oriented to the northeast and southwest. Generally, the relief is quite rugged (slopes of 15%–45%), especially in its south-eastern part, the altitude of AK varies from 800 to 1646 m. The climate is humid to temperate variant (Messaudene et al., 2007).

Sampling was carried out in trees located in nine stands (plots) in the forest massif of AK (Figure 1). Putative hybrid trees were identified in these plots by local experts, and trees from the species close to the hybrids were also sampled and located using global positioning system.

The fall of acorns often occurs in the first week of October and is still carried out in November and even December. Approximately, five suspected hybrid trees per stand were sampled and 100 acorns/trees were

collected. Between the stands, a distance of 60 m was maintained to sample a maximum genetic variability. The presence of close pure species is also mentioned (see Table 1) (*Q.suber*, *Q.canariensis*, *Q.afares*, and *Q.ilex*).

### Biometry of Acorns

In the laboratory, the acorns were first separated by tree and stand of origin. They were cleaned and sorted by the ordinary water flotation test, and the non-viable (floating) acorns were removed (Dupouey & le Boulter, 1989). Their morphological parameters were measured: weight (Pg), length (Log), width (Lar), and length to width ratio (Lar/Log) using a precision scale and digital caliper (Tilki & Alpetkin, 2005). Mean values of phenotypic traits were examined by the analysis of variance at the inter-stand level.

### Seedlings Growth

To examine the variability in seedling growth and assess overall seedling development at inter-stands. The experiment launched in December 2015 was conducted in a nursery at the regional forestry research station of Azazga, (Figure 2a, b). once measured, the acorns are put to soak for a few minutes in water, to let them germinate in vermiculite saturated with water at an ambient temperature of 16°C in the dark for 20–30 days (to ensure good conservation) (Guibert & Pichon, 2001). The germinated acorns were sown in polyethylene bags (35 cm × 25 cm). The pots containing the seeds were arranged in a completely randomized, prevalent-growth design. The substrate on which the acorns were sown consisted of potting soil taken from the same sampling site of origin (forest soil). The pots were regularly weeded and watered, three times a week depending on the temperature of the day and variations in the water content of the substrate.

The pots are placed according to a randomized experimental design, taking into account the stand effect and nursery with regular watering.

The measurement of height and diameter are the variables mostly used in the morphological characterization of plants. Neck diameter is generally correlated with several morphological variables (height, total dry weight, and dry weight of the aerial part) because height is a good indicator of photosynthetic capacity and transpiration area which are closely correlated with leaf area. It is a variable that integrates the morphological response to environmental factors (Razika Sarir & Benamar benmahioul, 2017).

The experimental setup remained in place during the 2 years of cultivation. The measurements were made at the end of the second year. The following morphological parameters were measured to assess the vigor of the putative oak seedlings studied. Growth in languor: the languor of the stems was measured with a ruler graduated to the millimeter.

Growth in diameter: seedling diameter at the collar is measured with a digital caliper.

- Leaf production: the number of leaves per plant was monitored and recorded weekly. Indeed, the estimation of the number of leaves is a good indicator of the assimilative capacities of the plant and its production of biomass (Abdenbi et al., 2016).
- Root growth: it is important to focus on root growth, especially when it is known that some oaks favor root growth at the expense of aerial growth early in their development (Abdenbi et al., 2016).
- Lar/Log: ratio between the width and length of the acorns in % (lar = width; log = length).

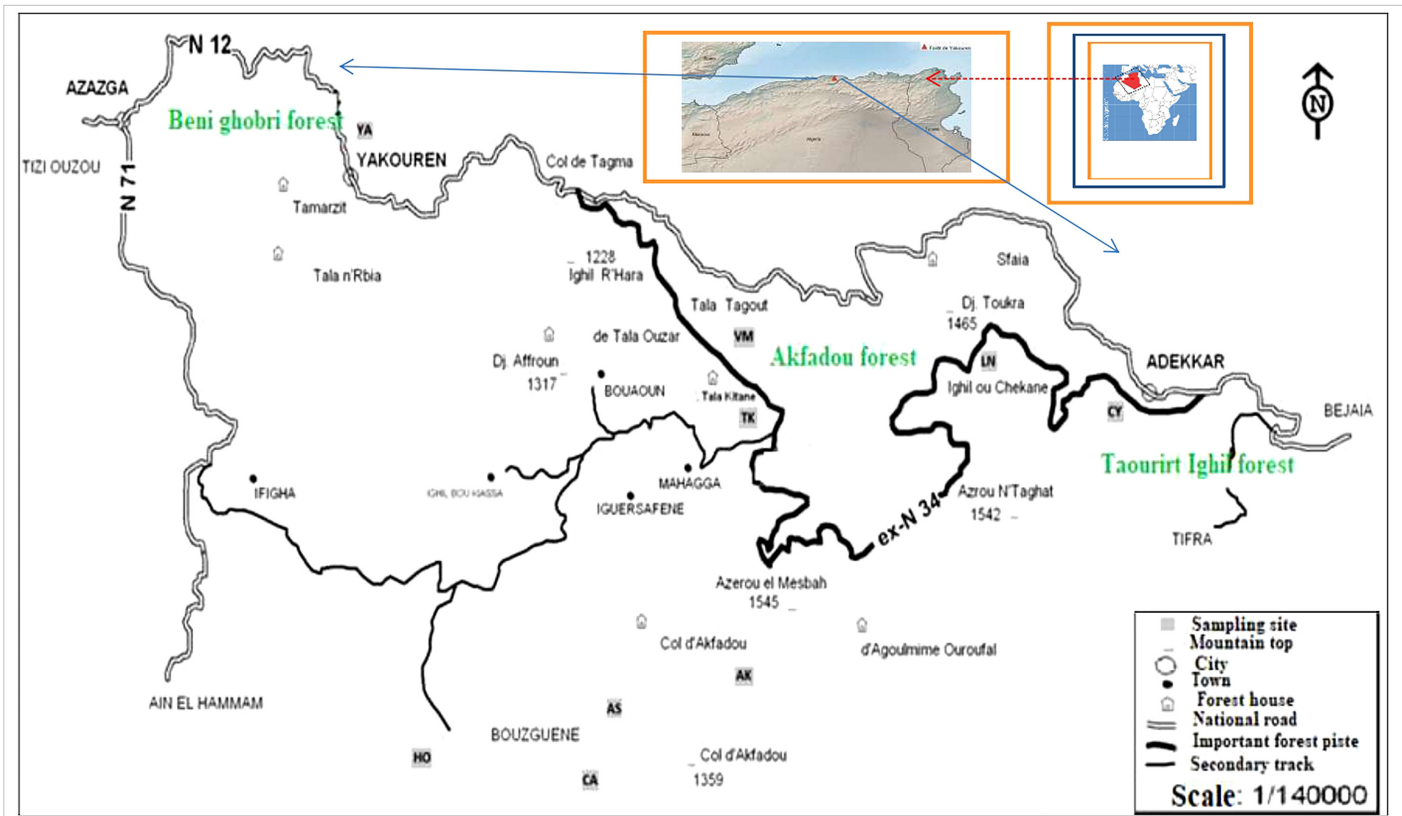


Figure 1. Map of Akfadou Showing the Position of All Inventoried Plots. Map Produced Using Mapinfo V 7.5 Software, Resized with CSE Extebted Photoshop Software.

Table 1. Description of the Inventoried Stand of Akfadou (Hybrid/Stand)

Plots	Geographical Coordinates	Altitude (m)	Slope (%)	Number of Trees Sampled	Exposition	Presence of Pure Species and Putative Hybrids Trees				
						S	Z	A	V	H
LN	36°41'47.74"N 4°35'56.99"E	1280	8	5	N	X		XX		XX
AS	36°36'54.35"N 4°30'50.58"E	1220	20	3	S		XX	X	XXX	XXX
CA	36°37'4.58"N 4°31'30.67"E	1400	43	2	S		XX	X		XXX
VM	36°40'59.68"N 4°33'45.12"E	1160	15	4	SE		X	XX		XX
TK	36°40'28.36"N 4°33'35.81"E	1092	20	3	NE		XX	X	X	XX
AK	36°37'31.29"N 4°31'52.69"E	1327	15	6	E		X	XX	XX	XX
HO	36°35'20.93"N 4°31'1.99"E	1031	12	4	S			X	XX	XX
YA	36°44'56.88"N 4°26'9.10"E	1280	8	5	N	X	X	XX		XXX
CY	36°41'14.91"N 4°35'43.57"E	1166	20	6	E		X	XX		XXX

Note: AS = Ait Salah; LN = Lac Noir; CY = Cynegetic Center; TK = Tala Kitten; AK = Akfadou; VM = Vide Mehaga; CA = Col Ait Salah; HO = Houra; YA = Yakouren; (S = *Q.suber*; Z = *Q.canariensis*; A = *Q.afares*; I = *Q.ilex*; X = presence).



**Figure 2.**  
 View of the Experimental Device Used for the Culture of Akfadou Oak Hybrids in the Nursery, Where Each Box Represents a Stand at the Start and After Germination.

### Statistical Analyses

Using different stands as classification variables, the following analyses were performed. The main goal is to distribute the different stands (populations) examined in homogeneous classes of different hybrids from the point of view of the most characteristic biometric and morphological traits. Descriptive statistical analyses (min, max, X, CV,  $\delta$ ) were used to assess the inter-population (between stands) biometric and morphological variability of traits (**Pg**: acorn weight in grams; **Log**: acorn length in millimeter; **Lar**: acorn width in millimeter and **La**: height, **Dc**: diameter of the crown and collar **Nr**: number of branches, **Nf**: number of leaves); it has been expressed by the coefficients of variation (CV) and by a graphical representation in mustache boxes which describe the dimensional characteristics of these organs and differences between stands (5%) threshold.

Pearson correlation tests were performed between phenotypic and germinative traits of acorns and between phenotypic traits of acorns and growth traits of seedlings. The significance thresholds of these multiple tests were corrected by the Bonferroni method (Bollen, 1989) (Supplementary Tables S1 and S2).

Principal component analysis (PCA) was used to transform the qualitative variables into quantitative variables that were later used to perform

classification. This analysis allowed us to explore the relationships between the studied traits, identify morphological similarities between the sampled populations (stands/plots) and map the produced samples using Mapinfo V 7.5 software resized with CSE Extebted photoshop software of 297 × 210 mm (300 × 300 jpg [DPI]).

Statistical descriptive processing of the data has been carried out using S DESPCRIPTIVE STATISTICS BY EXCEL (XLSTAT). The software R (box-plots) Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. This test identifies possible homogeneous groups to evaluate the stand or preventive effect. The choice of R is motivated by the innumerable facilities offered by this program; it offers rich documentation and allows collaborations on an international scale. The creation of scripts for various analyses allows sharing and exchanging within the scientific community (Rabehi, 2021).

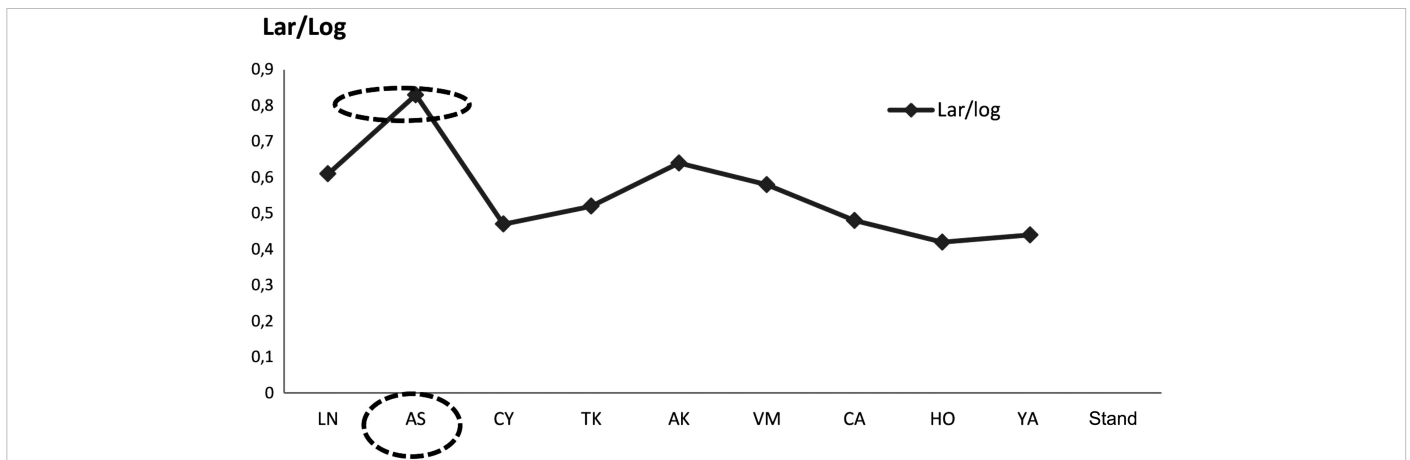
### Results

#### Biometry of Acorns

Our results show that the phenotypic traits (biometric parameters) do not show significant differences ( $p > .05$ ) in the nine stations for the width (Lar) and the width/length ratio (Lar/Log) of acorns.

The statistical results obtained indicate that the average width (24.6 mm; 20.66 mm) and the Lar/Log ratio (.83; .64) of the acorn oak are significantly more marked at the Ait Salah (AS) and AK stands. We note that the width (Lar) (14.49 mm) and the Lar/Log ratio (.47) of the acorns of the stand cynegetic center (CY) are the least marked, but this is compensated by the average width length (log = 30.61 cm) of its acorn (Table 2). Acorns from Houra stand (HO) are distinguished by a high length (Log) and weight which are 38.33 cm and 6.78 g, respectively, and a lower width/length ratio (Lar/Log) than those from other stands (Figure 3).

Overall, in the stands of AK, Tala kitten (TK), and Vide Mehaga (VM), the parameters weight, width, and length of the acorns do not show significant differences between trees or the average weight (Pg) of acorns ranging from (6.81–9.11 g, Table 2). These results relate acorn biometry to its environment/tree/population origin stand (humidity/exposure/altitude).



**Figure 3.**  
 Variation of the Report (Lar/Log) of Acorns in the Inventoried Stands/Plots.

**Table 2.**  
*Descriptive Statistics of the Parameters Measured at the Surveyed Stands*

Plots	Descriptives Statistics	Biometric Parameters					Morphologic Parameters			
		Log (mm)	Lar (mm)	Pg (g)	Lar/Log	La (cm)	Dc (mm)	Qv = La/Dc	Nf	Nr
<b>LN</b>	Min	13.73	11.03	.91	.80	12	3.14	3.82	8	0
	Max	35.89	21.98	9.02	.61	38	6.02	6.31	47	8
	X	26.24	16.18	3.55	.61	24.71	4.40	5.61	24.22	2.44
	CV	.20	.16	.48	–	.41	.24	–	.68	.29
	$\delta$	5.24	2.58	1.70	–	10.13	1.05	–	16.46	.70
<b>AS</b>	Min	17.16	16.63	5.47	.96	10.10	2.23	4.52	9	0
	Max	44.26	39.18	14.81	.88	32.5	5.7	5.70	67	9
	X	29.67	24.65	9.08	.83	18.86	4.45	4.23	28.04	2.48
	CV	.28	.31	.23	–	.28	.17	–	.53	.91
	$\Delta$	8.30	7.64	2.08	–	5.28	.75	–	14.86	2.25
<b>CY</b>	Min	23.66	11.96	2.24	.50	15	2.64	5.68	19	0
	Max	39.16	17.8	6.91	.45	42.6	5.35	7.96	67	3
	X	30.61	14.49	3.91	.47	27.84	4.11	6.77	37.47	.78
	CV	.11	.1	.29	–	.27	.18	–	.38	.38
	$\delta$	3.36	1.44	1.13	–	7.51	.73	–	14.23	.29
<b>Tk</b>	Min	20.68	13.12	2.42	.63	11	2.66	4.13	12	0
	Max	45.63	24.62	15.58	.53	39	5.76	6.77	78	12
	X	36.27	19.22	9.11	.52	22.07	4.22	5.22	33.66	2.9
	CV	.12	.18	.37	–	.33	.16	–	.52	.15
	$\delta$	4.35	3.45	3.37	–	7.28	.67	–	17.50	.43
<b>Ak</b>	Min	23.45	10.77	3.47	.45	14	2.44	5.73	2.0	0
	Max	39.45	24.65	15.8	.62	29	5.15	5.63	54	7
	X	32.12	20.66	9.32	.64	21.78	4.06	5.36	26.66	1.86
	CV	.11	.11	.27	–	.19	.17	–	.47	1.10
	$\delta$	3.53	2.27	2.51	–	4.13	.69	–	12.53	2.04
<b>VM</b>	Min	13.5	11.66	1.2	.86	6	1.57	3.82	2	0
	Max	45.25	37.09	13.41	.81	44	6.62	6.64	60	11
	X	32.62	19.22	6.81	.58	22.13	4.29	5.15	26.81	3.66
	CV	.24	.26	.37	–	.33	.23	–	.50	.71
	$\delta$	7.82	4.99	2.51	–	7.30	.98	–	13.40	2.59
<b>CA</b>	Min	23.93	14.12	2.49	.59	13.40	2.79	4.80	6	0
	Max	44.02	23.02	13.37	.52	35.40	6.65	5.23	49	5
	X	36.94	17.90	7.85	.48	22.30	4.18	5.33	21.36	2.72
	CV	.12	.08	.24	–	.27	.23	–	.48	.63
	$\delta$	4.43	1.43	1.88	–	6.02	.96	–	10.25	1.71
<b>HO</b>	Min	8.57	13.5	3.25	1.57	13.7	3.15	4.34	7	0
	Max	44.5	20.69	12.10	.46	35.4	5.48	6.45	39	6
	X	38.33	16.25	6.78	.42	22.35	4.38	5.10	23.80	2.71
	CV	.14	.08	.22	–	.28	.15	–	.34	.62
	$\delta$	5.36	1.3	1.49	–	6.25	.65	–	8.09	1.68

(Continued)

**Table 2.**  
*Descriptive Statistics of the Parameters Measured at the Surveyed Stands (Continued)*

Plots	Descriptives Statistics	Biometric Parameters				Morphologic Parameters				
		Log (mm)	Lar (mm)	Pg (g)	Lar/Log	La (cm)	Dc (mm)	Qv = La/Dc	Nf	Nr
YA	Min	29.13	14.36	4.08	.49	15	3.18	4.71	14	0
	Max	45	20.09	12.31	.44	38.9	5.98	6.50	55	11
	X	38.88	17.29	7.80	.44	28.27	4.65	6.07	31.60	3.5
	CV	.08	.07	.22	–	.19	.16	–	.38	.72
	$\delta$	3.11	1.21	1.71	–	5.37	.74	–	12	2.52

Note: **Lh** = Length in Height; **Dc** = Diameter at the Neck; **Nf** = Number of Leaves; **Nr** = Number of Branches; **Log** = Length of the Acorn; **Lar** = Width of the Acorn; **Pg** = Weight of the Acorn.

From the results in Figure 5, we can see that the rate of acorn germination in the sampled stands is appreciable where it reached its ceiling in the stands of village Mehaga “VM,” “AK,” Yakouren “YA,” and “AS” with a rate of 100% except the case of the stands of the Lac noir (LN) with a low rate of 30% (Figure 5) (noticeable low production for LN).

The detailed descriptive analysis of the growth of the plants involving several parameters (aerial height, diameter at the collar, and number of leaves and branches) measured in the nursery show that overall, the measurements of the morphometric variables (La, Dc, Log, Lar, and Pg) are not widely dispersed within each stand (Table 2) since the CV does not exceed .20 except for the stands LN, AS, YA, HO, and VM where the CV is greater than .50 for the number of leaves and branches. However, the stands AS and HO stand out as showing the lowest values for growth in crown diameter.

The graphical approach allows for comparing the morphological and biometric parameters according to the stands (in graphical form (box plot) Figures 4a-f and 6). This shows the morphological variability of the hybrid oak acorns and the comparative growth of the resulting plants. Figures 4 and 5a-h show that, for the width of the acorns, the dispersion appears weak through all the stands except for the AS stand, which is characterized by the presence of clumps of holm oak and is also at high altitude. The value of the width of the acorns is the highest in the stand “TK,” and the lowest is noted between CY ; however, the weight of acorns is more homogeneous (low dispersion). With regard to crown diameter, this parameter appears stable across all stands. The degree of variability is low with all values between 4.1 and 4.5 cm. The mean of the parameter “La” appears almost identical on all the stands (AK–CA–HO–TK–VM–YA) where it reaches its maximum value at the LN stand and minimum at AS. The interquartile range is more spread out at stand CY. The diameter at the neck varies from 4.06 to 4.65 mm and is more marked at the two stands CA and YA. The interquartile is more spread out at the CA stand, which tells us about its high variability (characterized by favorable stand conditions and located near holm oak stands).

The results related to the parameter “Qv” ratio of the height of the stem to the diameter of the neck are visualized in Figure 7, which allows recognizing the plants with ideal size in height, diameter, and good robustness (EL Boukhari et al., 2013).

### Discussion and Conclusion

Discussion in this study, we have shown that the biometric and morphometric parameters of the acorns of putative species that mix with

the pure species give us information on the origin of the acorns, the place of origin of the trees (stand effect), and the surrounding pure species. It emerges from the biometric study that the acorns of putative oaks from the stands AK, AS, and Tk are distinguished from the other stands by relatively longer (Log) or wider (Lar) and heavier (Pg) acorns. This difference would be the result of wetter stand conditions in altitude and the effect of the nearby pure species which are the *Q.afares* oak and *Q.canariensis* as the case of the stand TK where we found the most marked weight. The influence of environmental and micro-environmental characteristics and genetic variation may be related to the nearby pure species, and as in the case of the stand AS which is fresh, the close pure species is the holm oak. A combination of these two factors could be the origin of this morphological variability (Aissi et al., 2019). Mercier, 1996 study indicates that the morphology of Quebec oak acorns is not influenced by field conditions but rather is controlled by genotype. In addition, the morphological variability of the acorns could have an origin related to the stand close pure species; on the germination potential and the subsequent development of seedlings and plants. Climatic conditions on the stands can also generate variations in acorn size and morphology (Baquedano et al., 2008; Bonito et al., 2011).

The final germination of acorns in pots (bags) can be extended to provenances (stands) as well as to families of the same provenance. Although it is not currently possible to identify whether the phenomenon is influenced by the weight of the acorns, there appears to be a close relationship between germination and the weight of the acorns and some authors note that the variation between different seedlings only becomes clear after a few years of development (Houston, 1987; Kremer, 1994), as in the case of the stands (AS–AK–VM–YA) where the weight of the acorns is more marked, respectively (9.08 g; 9.32 g; 6.81 g; 7.80 g) (Figure 4(a-b-c-d-e-f)) (see Table 2). The difference would be the result of wetter stand conditions in altitude and the effect of the close pure species which are the *Afares* oak as in the case of the stand TK in length of the acorns (Log) or the holm oak which is the pure species close to the AK and AS stands, where we found the most marked acorn weights (Pg) and width/length ratios (Lar/Log), which reflects the richness of the favorable conditions of the harvesting stands (origin) (see Table 2).

The results obtained showed that acorn size has no influence on acorn germination, as well as on seedling development, which is consistent with the observations and results of researchers; Ke and Werger (1999); Houston (1987) and Thompson and Rabinowitz (1989); Tilki and Alpetkin (2005) and Navarro et al. (2006) who also noted the lack of a correlation between acorn size and oak seedling size, which they interpreted as

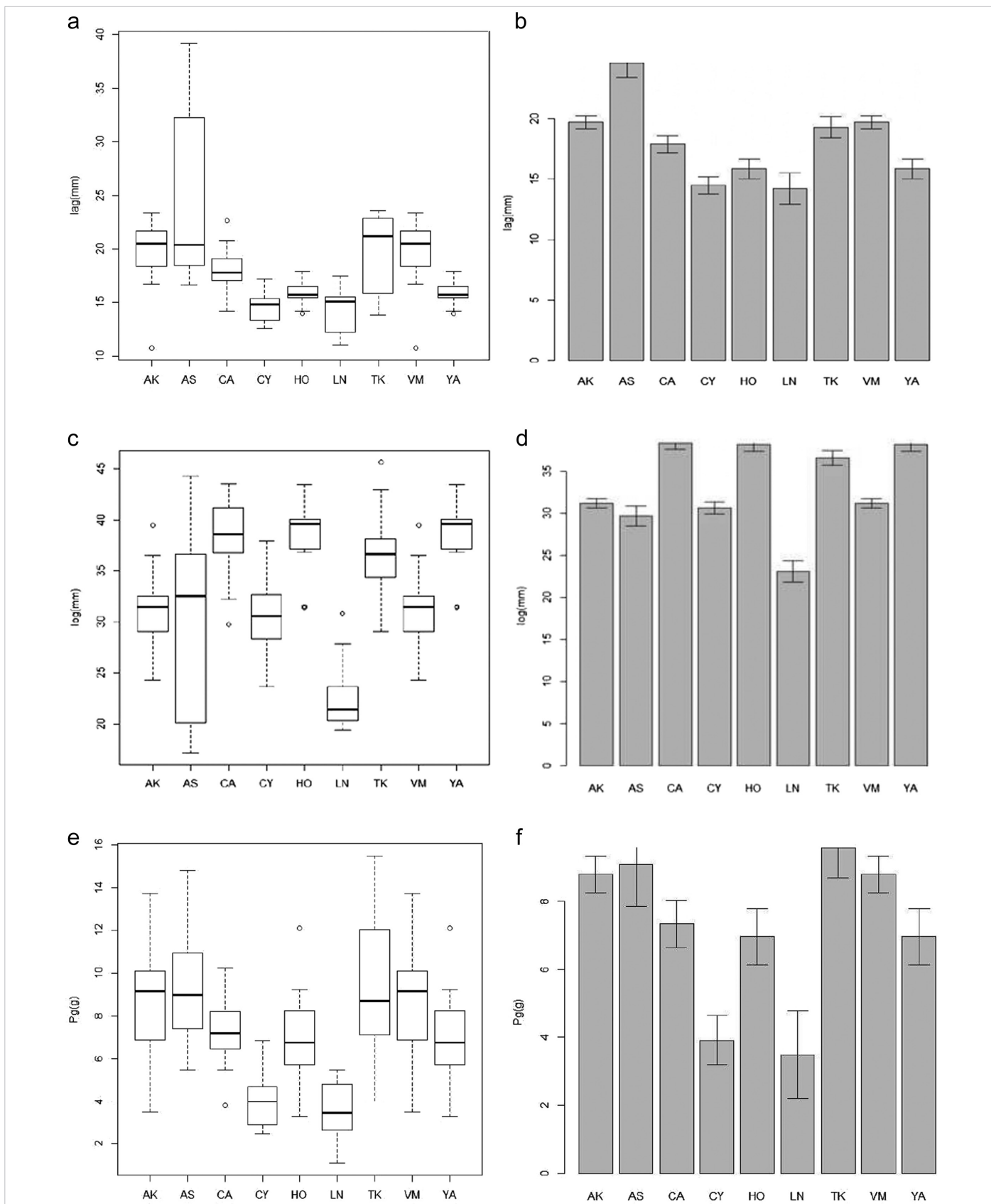
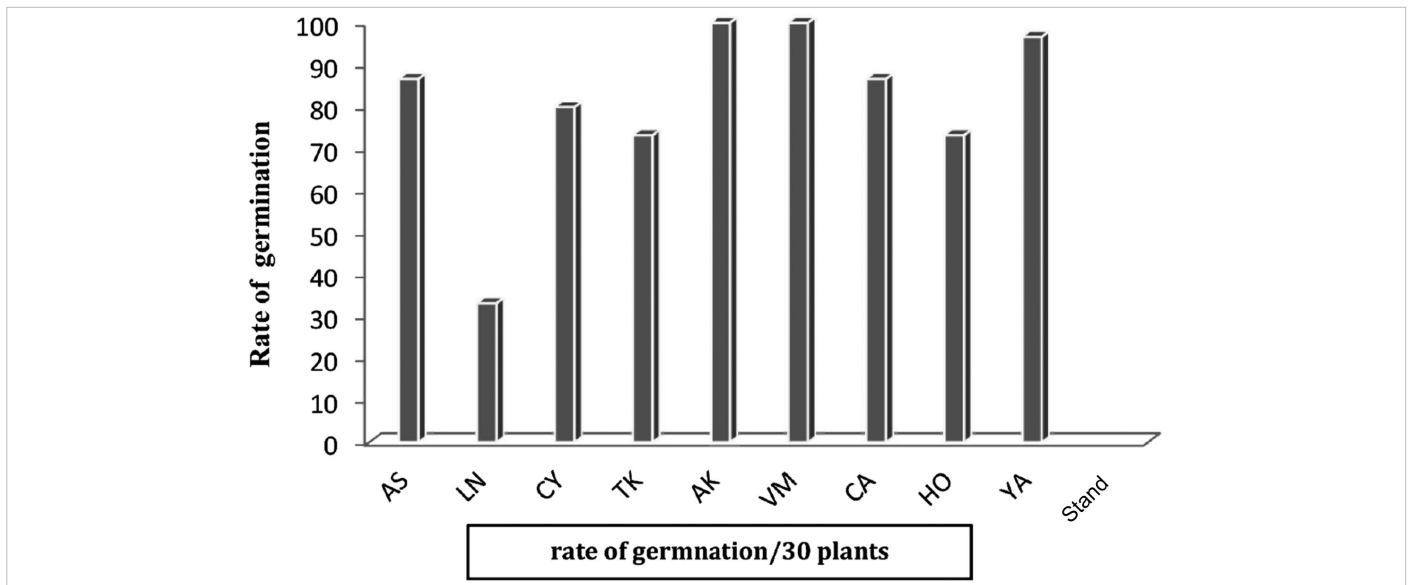


Figure 4. (a-f). Box Plots of Biometric Parameters of Putative Oak Acorns in the Nine Stand Studied in Algeria (Akfadou) (Pg=Weight of Acorns in Grams; Log=Length of Acorns in Millimeter; Lar=Width of Acorns in Millimeter).



**Figure 5.**  
 Acorn Germination Rate in the Inventoried Stands After 2 Months of Cultivation in 30 Seed Pots in Each Stand.

the result of high variation between stands. In contrast, other authors suggested that the height of red oak (*Quercus rubra* L.) seedlings after 2 years of cultivation correlates positively with acorn weight (Kolb & Steiner, 1989; Kremer, 1994).

In addition, Long and Jones (1996) and Quero et al. (2007, 2008) report that plant size is strongly dependent on acorn size during the early years of development. This effect fades progressively until it disappears after a few years, (Lamhamedi et al., 1997, 2000), and has shown that collar diameter can explain more than 97% of the observed variation in total plant mass. Plants with a large diameter generally have well-developed lateral roots while giving the plants a better survival rate.

The analysis of the morphological traits of the seedlings shows that the stands AS, CY, and TK are distinguished by large dimensions in height (La) and diameter at the collar (DC). The decrease in seedling size presents a form of adaptation to climatic figures 4 conditions for Mediterranean oaks, generating a better resistance to water deficit (Baldocchi & Xu, 2007; Gil-Pelegri n et al., 2017; Peguero-Pina et al., 2014). Given that the growth conditions of the seedlings were homogenous, it can be suggested that the observed differences are possibly related to genetic (population) variation that would originate from adaptation to environmental (stand) conditions.

The study of seedling growth shows no differences within and between the different study stands. Indeed, some authors note that variation between different seedlings only becomes clear after a few years of development (Houston, 1987; Kremer, 1994).

The comparison of the average aerial heights and diameters at the collar shows a strong growth at the stand AK where the growth in height is about 29 cm. While the diameter at the collar is almost the same for all plants, ranging from 4.06 to 4.65 mm, also for the parameter number of leaves which is a good indicator of assimilative capacities of the plant and is production in biomass. The histogram of the number of leaves per plant parameter shows directly that it follows the aerial height. The longer the plants are, the more leaves they have (Figure 6). However,

height does not show a systematic correlation with survival but a good relationship with growth (Lamhamedi et al., 2000).

In most of the plots, the inferred relationships show highly significant positive correlations at  $\alpha=.05$  threshold; the correlations obtained are between .39 and .91. The strongest relationships are between the diameter at the crown (Dc) and the width of the tassel (Dc and Lar) and between the aerial length and the number of leaves (La and Nf). This could be explained by changes in the physiological state of the acorns reflected by a decrease in fresh weight, accompanied by an increase in moisture content (Branco et al., 2002). In fact, acorn mass was used as a covariate in a family study by Kolb and Steiner (1989) on 1- and 2-year-old seedlings. This could be explained by changes in the physiological state of the acorns resulting in a decrease in fresh weight, accompanied by an increase in moisture content (Branco et al., 2002).

Although these two plots, CA and AK, are similar, they differ in terms of their ecological conditions: low slope, high density, and mechanized land for the first. It should also be noted that the highest aerial lengths are accompanied by the largest collar diameters. The aerial length is remarkably higher in the two stands VM and TK; this may be related to the variety and size of the acorns. Some studies have already highlighted a significant positive correlation between acorn mass and seedling growth (Gall & Taft, 1973; Kolb, 1988; Kriebel, 1964). The AS stand is characterized by a larger diameter at the collar. This criterion is rather sought for a better quality of the seedling (Mercier et al., 1996).

The observed diameter of hybrids plants varies from 4.1 to 4.5 cm and the aerial length ranges from 32.4 to 44 cm, while Lamhamedi et al. (2000) report that a good forest seedling should reach a target of 28–40 cm when the diameter at the crown varies between 4 and 5 cm. Examination of the eigenvalues from the PCA allows us to retain the 1 x 2 factorial design, which explains 78.91% of the total variance, that is 56.01% for axis 1 and 22.90% for axis 2. The projection of the variables on the factorial plane and the examination of the correlation matrix (Table.1S and Table.2S IN SUPPLEMENTARY) show a positive relationship

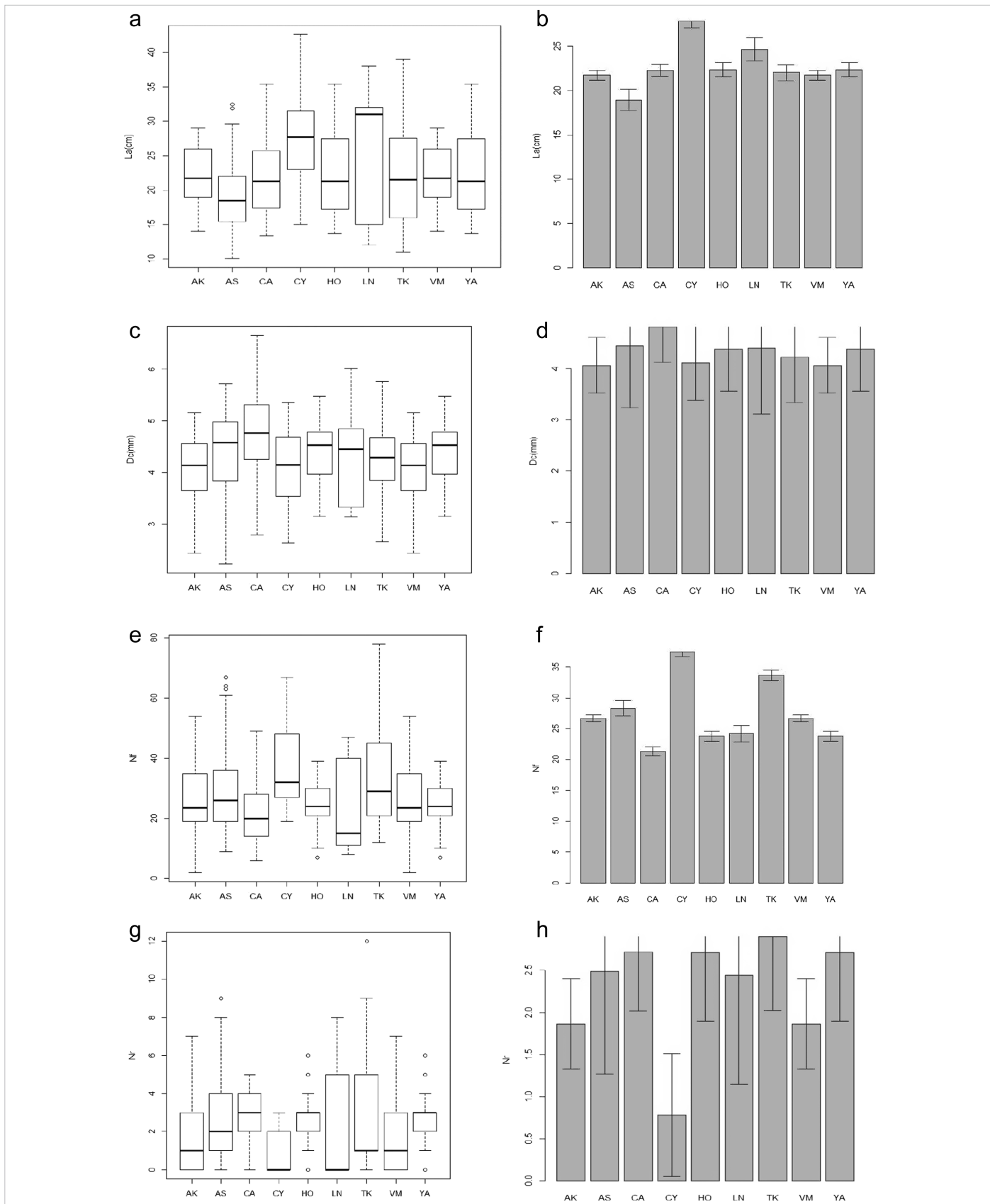


Figure 6. (a-h). Box Plots of Morphometric Parameters of Putative Oak Acorns in the Nine Stands Studied in Algeria (Akdadou) (La=Height; Dc=Diameter at the Collar; Nr=Number of Branches; Nf=Number of Leaves at the 5% Threshold).

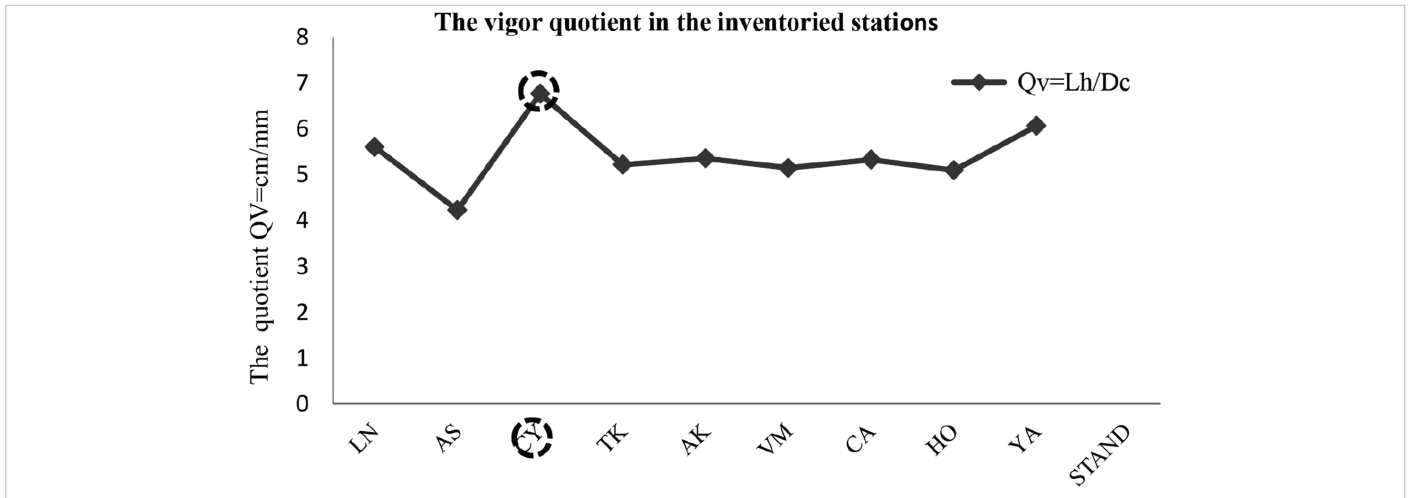


Figure 7. Variation of the Robustness Quotient (Lh/Dc) of Oak Seedlings Vigor Quotient (Qv) in the Inventoried Stand. AS=Ait Salah; LN=Lac Noir; CY=cynegetic center; TK=Tala Kitten; AK=Akfadou; VM=Vide Mehaga; CA=Col Ait Salah; HO=Houra; YA=Yakouren.

between the aerial length and the length of the acorn, between the number of leaves and the number of branches of the young plants. Finally, the positive influence of the weight does not appear in the morphological parameters studied.

The results obtained did show that acorn size has no influence on acorn germination, as well as on seedling development. In contrast, other authors suggested that the height of red oak (*Quercus rubra* L.) seedlings after 2 years of cultivation is positively correlated with acorn weight (Kolb & Steiner, 1989; Kremer, 1994). Furthermore, according to Long & Jones (1996) and Quero et al. (2007, 2008), the size of the

seedlings depends strongly on the size of the acorns during the first years of their development (Quero et al., 2007) (Figure 7). It is a variable that integrates the morphological response to environmental factors (close stand — species effect).

The projection of the variables on the factorial plane and the analysis of the contributions of the individuals allow us to identify divergences and analogies (Figure 8). In relation to axis 1, the aerial length and the diameter at the neck increase in one direction and the width and length of the acorn increase in an opposite direction, and we notice a relevant link between the mass of the acorns, the growth in height, and the

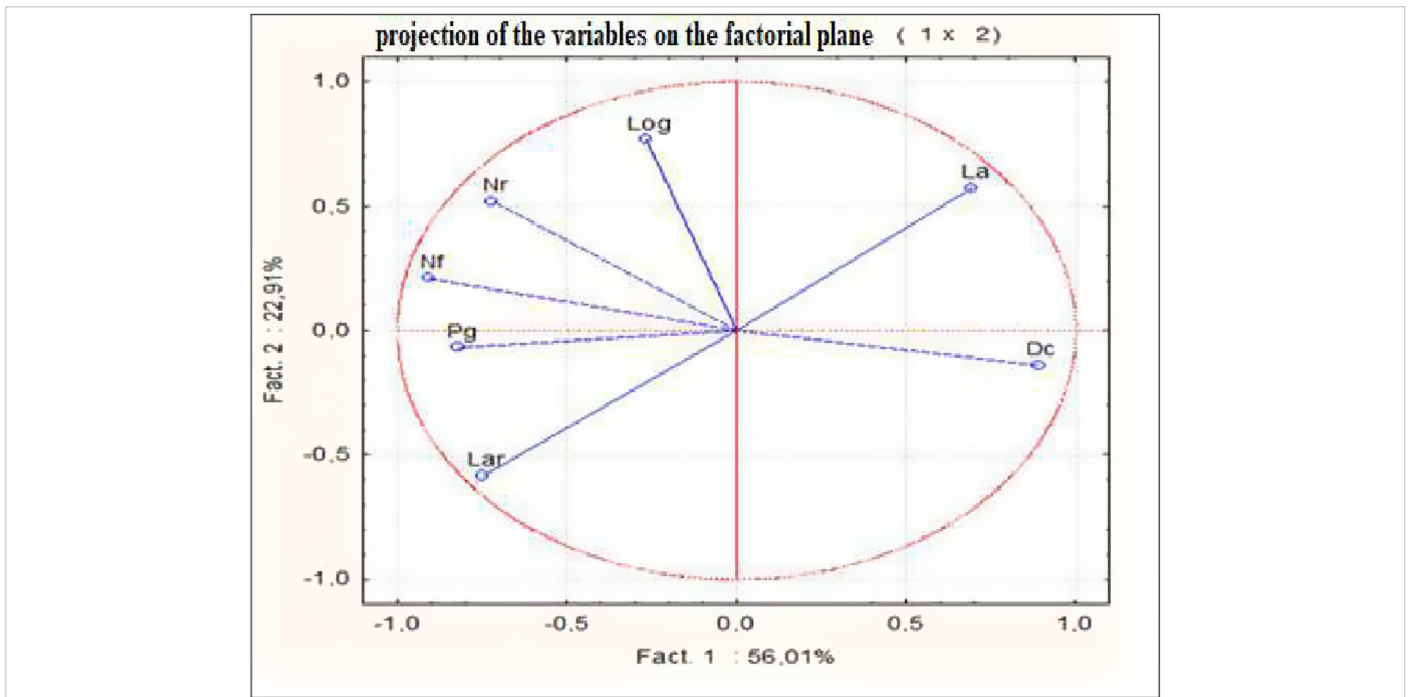


Figure 8. Projection of the Variables on the Selected Factorial Design. DC=Diameter at the Neck; La=Aerial Height; Lar=Width of the Tassel; Log=Length of the Tassel; Pg=Weight of the Tassel; Nf=Number of Leaves; Nr=Number of Branches( at the 78.91%).

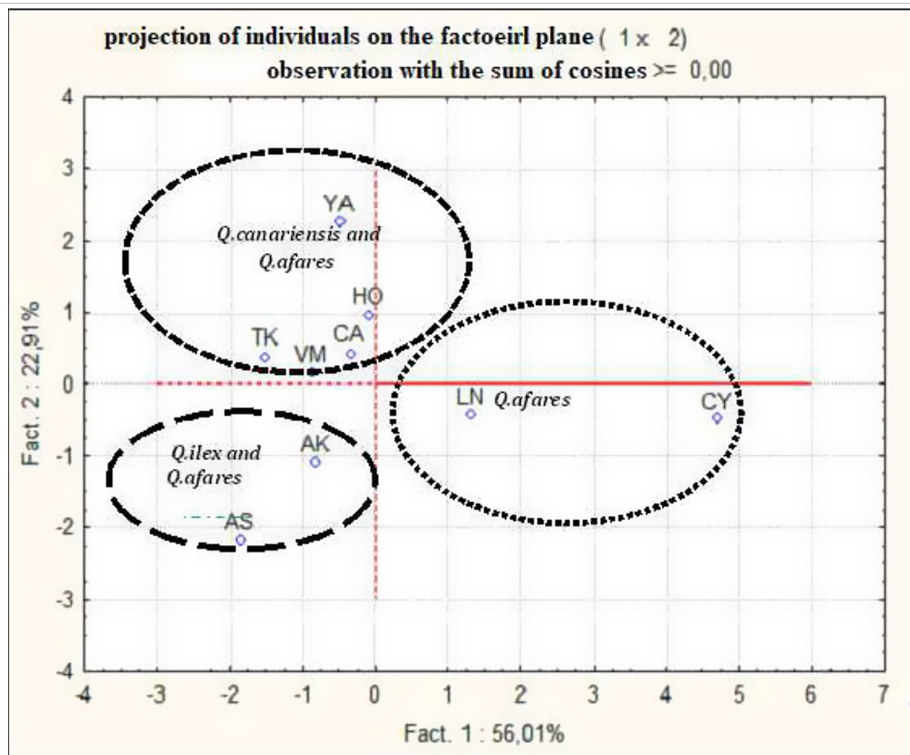


Figure 9. Projection of Individuals (Stand-Plots) on the Selected Factorial Plane, Mentioning the Dominant Close Pure Species.

diameter of the seedlings after 2 years of cultivation in the nursery having statistically shown (boxplots).

Through the projection of individuals on the factorial plane, we notice that the stations that present the same ecological conditions such as the slope and altitude are grouped as the stands AK and AS (see Figure 8). Indeed, the stands AK and AS share the same stationary conditions, being located at high altitude with the presence of holm oak.

For the projection of individuals on the factorial plane (Figure 9), we deduce the grouping of stands according to their geographical position and presence of the pure species nearby. As in the case of the stands AS and AK, geographically close, the pure close species is the holm oak. The same situation is observed for the stands black lake (LN) and CY with the *Q.afaress* oak as a close species. Regarding the other stands together (VM;TK;YA;HO;CA) where we find a mixture of pure oaks *Q.afaress* and *Q.canariensis*(zeen).

These results and this interpretation are perfectly compatible with the concept of distribution of pure species proposed by Messaoudene (2007), where the *Q.canariensis* species is the dominant species (1646 m altitude) and *Q.afaress* oak, located at 1250m above sea level, abounds on some ridgelines, the south and south-west slopes (more or less clayey soils). Mixed stands of *Q.canariensis* and *Q.afaress* are found throughout the transition zones. The same is true for mixed stands of *Q.canariensis* and *Q.suber*, limited to an altitude of 1100 m. (Messaoudene, 1989). Through this reference, we can superimpose and deduce the position of pure species through our sampling site (inventoried stand. Table 1). This is, for example, the case of the putative species of the "AK" stand which are individualized on the two axes of our PCA (Figure 9)/compared to the other seedlings (hybrids) since the close pure species is

either *Q.suber* or *Q.afaress*; but we clearly notice the putative species of the stands (YA, HO, TK, VM, CA) are found together (Figure 8) because the common pure species *Q.canariensis* or *Q.afaress* are present (stand). Through the results obtained, this research highlights "the stand effect" and "the effect of the close neighboring species" on the distribution of hybrid seedlings. Our results are the same as those of Aissi (2021) showing a link between the taxa and environmental factors of the stands.

Finally, we will be able to affirm that all the species of the same stand lead to more homogeneous results taking into account the close species (pure) that are in the surroundings of the inventoried putative oaks (the putative species of oak inventoried follow the neighboring pure species).

Through this research, we attempted to study the variability of acorn biometry of putatives oaks to evaluate the growth (vigor) of seedlings from the harvested acorns.

The main results show that the growth and development of the seedlings of supposedly hybrid oaks (putative), all origins combined, are influenced by the altitude effect and the effect of the nearby species, as in the case of the Col AS stand (CA) where the holm oak (*Ilex*) is close to the putative oaks inventoried. After 2 years of nursery culture, the results obtained show that the germination rate, height, and diameter of the putative oak seedlings (hybrids) inventoried are strongly influenced by a few site factors related to the origin of the acorns (harvesting site).

The position, as well as the ecological region, influences the morphology of the acorns. The growth of putative oak in the nursery is homogeneous in terms of the height and diameter of the plants. However,

the “close species” effect appears in the case of the high altitude stand where holm oak is present (cool stand).

Studies are underway to complete this contribution with genetic and morphometric analysis of adult tree leaves for specific morphological identification and to better explain species diversity and distribution in Algeria (AK).

With climate change and decreasing rainfall, the frequency of dry years will only increase. To this end, in the case of countries that will be affected by the aridity of the future climate, such as North Africa, it is necessary to rethink the development of new technical itineraries adapted to the reforestation sector of tomorrow.

**Peer-review:** Externally peer-reviewed.

**Author Contributions:** Concept – A.A., K.R., E.T., R.A., K.L., M.M.; Design – A.A., K.R., E.T., R.A., K.L.; Resources – A.A.; Materials – M.M.; Data Collection and/or Processing – M.S.I., M.P.; Analysis and/or Interpretation – A.A., K.R., E.T., R.A., K.L.; Other – A.A.

**Acknowledgments:** The authors acknowledge INRF station (Azazga) for allowing us to use their equipment. This article is a tribute to the late research director Mahand Messaoudene.

**Declaration of Interests:** The authors declare that they have no competing interest.

**Funding:** The study was financed by a grant (Pne 2019/2020) from the Algerian Ministry of Higher Education and Scientific Research (MESRS) to A.A. and for collaboration between the Mouloud Mammeri University (Algeria) and the Huelva University (Spain).

## References

- Abdenbi, Z. A., Mohamed, B., Assiya, B., Mohammed, S., Lamhamed, A. Z., & Fouad, M. (2016). *Croissance Et Développement Des Plants de Deux Provenances de Chêne-liège Produits En Pépinière Dans Des Conteneurs de Différentes Profondeurs- Forêt Méditerranéenne*. Retrieved from [https://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/ID-BFT-161117,XXXVIII\(2\)](https://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/ID-BFT-161117,XXXVIII(2)).
- Abourouh, M., Lamhamed, M. S., & Fortin, J. A. (1995). *Techniques de « Mycorhization » en Pépinières de Plants Forestiers* (p. 38). Rabat: CNRF.
- Aissi, A., Beghami, Y., & Heuertz, M. (2019). Le Chêne Faginé (*Quercus faginea*, (Fagaceae) en Algérie: Potentiel Germinatif et Variabilité Morphologique Des Glands et Des Semis. *Plant Ecology and Evolution*, 152(3), 437–449. [\[CrossRef\]](#)
- Aissi, A., Beghami, Y., Lepais, O., & Véla, E. (2021). Analyse morphologique et taxonomique du complexe *Quercus faginea* (Fagaceae) en Algérie. *Botany*, 99, 202. [\[CrossRef\]](#)
- Alatou, D. (1994). Croissance rythmique du chêne liège et du chêne zéen. Première journée sur les végétaux ligneux. Séminaire. Constantine 14 et 15 Novembre 1994
- Amaral Franco, J. (1990). *Quercus* L. Dans Flora Ibérica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares [Plantes Vasculaires de la Péninsule Ibérique et des îles Baléares]. En S. Castroviejo, M., Lainz, G., López, G., Montserrat, P., Muñoz, G. F., et al. *Platanaceae-Plumbaginaceae (partim)* [En espagnol] (pp. 15-36). Madrid: Real Jardín Botánico, CSIC.
- Aussenac, G., Guehl, J. M., Kaushal, P., Granter, A., & Grieu, P. (1988). Critères physiologiques pour l'évaluation de la qualité des plants forestiers avant plantation. *Revue Forestière Française*, 131-149. [\[CrossRef\]](#)
- Baldocchi, D. D., & Xu, L. (2007). What limits evaporation from Mediterranean oak woodlands 426. The supply of moisture in the soil, physiological control by plants or the demand by the 427 atmosphere? *Advances in Water Resources*, 30(10), 2113–2122.
- Baquedano, F. J., Valladares, F., & Castillo, F. J. (2008). Phenotypic plasticity blurs ecotypic 429 divergences in the response of *Quercus coccifera* and *Pinus halepensis* to water stress 430. *European Journal of Forest Research*, 127(6), 495–506. [\[CrossRef\]](#)
- Beissalah, Y., Amin, T., & Neville, P. (Eds) (1987). Variations de La Régénération du Pivot Des Jeunes Plantes de Chêne Vert (*Quercus ilex* L.) Après Divers Traumatismes. *Ecologia Mediterranea*, XIII(14/2), 61–76.
- Belghazi, B., Ourous, O., Ponette, Q., & Dallahi, Y. (2011). *La Problématique de La Régénération de L'arganier: Quelle Innovation en Matière de Production de Plants de Qualité?* Agadir: Actes du Premier Congrès International de L'Arganier. 15–17 Décembre 2011.
- Bollen, K. A. (1989). *Structural equations with latent variables* (pp. 60–179). New York: Wiley. [\[CrossRef\]](#)
- Bonito, A., Varone, L., & Gratani, L. (2011). Relationship between acorn size and seedling 432 morphological and physiological traits of *Quercus ilex* (L.)-from different climates.–433. *Photosynthetica*, 49(1), 75–86. [\[CrossRef\]](#)
- Branco, M., Branco, C., Merouani, H., & Almeida, M. H. (2002). Germination success, survival and seedling vigour of *Quercus suber* acorns in relation to insect damage. *Forest Ecology and Management*, 166(1–3), 159–164. Retrieved from <https://europepmc.org/article/agr/ind23292742>
- Bussotti, Grossoni, P. (1998). Des problèmes dans la classification des chênes Taxonomie en Europe et région méditerranéenne. *Forêts méditerranéenne*, t. XIX, n° 3, novembre 1998.
- Cottam, W. P., Tucker, J. M., & Santamour, F. S. (1982). *Oak hybridization at the University of Utah*. Salt Lake City: State Arboretum of Utah.
- Cuénod, A. (1954). *Flore Analytique et Synoptique de la Tunisie (Cryptogames Vasculaires, 443 Gymnospermes et Monocotylédones)-Office de L'expérimentation et de la Vulgarisation 444 Agricoles de Tunisie*. Tunis: Economica. Retrieved from [www.biodiversitylibrary.org](http://www.biodiversitylibrary.org)
- Dupouey, J. L., & Le Boulter, H. (1989). Discrimination morphologique des glands de chênes 447 sessile (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) et pédonculé (*Quercus robur* (L.)). *Annales des 448 sciences forestières*, 46(2): 187–194. [\[CrossRef\]](#)
- El Abou, K. (2009). *Caractéristiques Des Plants à Racines Enrobées Et à racines Nues d'arganier (Argania spinosa L. Skeels) en Rapport Avec Les Techniques Culturelles* (pp. 22–27). Salé: Mémoire de 3ème cycle ENFI.
- El Boukhari, M., Gmira, N., & Brhadda, N. (2013). Effects of physical treatments on growing of cork oak (*Quercus suber* L.) seedlings in forest nursery, Morocco. *Geo-Eco-Trop*, 37(2), 177–190.
- Favre, J. M. (1970). *Effets D'une Température Élevée (39°) Sur L'enracinement de Boutures de Vigne Cultivées in vitro* (pp. 778–781). Paris: Comptes Rendus de l'Académie des Sciences.
- Favre, J. M. (1977). La rhizogenèse. *Ann. Univ. Abidjan Ser. C. Sci*, 1–100.
- Gall, W. R., Taft, K. A., & Rennie, J. C. (1973). Variation in height growth and flushing of northern red oak (*Quercus rubra* (L.))–South.for.tree improve. Conference 12 (pp. 190–199).
- Ghazi, E. L., & S. (2005). Contribution à L'élaboration des Normes de Qualité des Plants Forestiers : Cas du Chêne Liège, du Thuya et du Pin Maritime des Landes (p. 99). Salé: Mémoire de 3ème cycle, ENFI.
- Gil-Pelegrín, E., Ange, S. M. I., María, C. J., Peguero-Pina, J. J., & Sancho-Knapik, D. (2017). Oaks under Mediterranean-type climates: Functional response to summer aridity. In M. Gil-Guibert & C. Le Pichon (Eds.). *Influence de la Température Sur la Germination, la Levée et Sur Les Taux de Semis à Tiges Multiples Chez le Chêne Sessile* (vol. LIII, pp. 44–54). Revue Forestière Française.
- Guibert, M., Le Pichon, C. (2001). Influence de la température sur la germination, la levée et sur les taux de semis à tiges multiples chez le chêne sessile - *Revue Forestière Française* LIII, 44–54).
- Hardin, J. W. (1975). Hybridization and introgression in *Quercus alba*. *Journal of the Arnold Arboretum*, 56(3), 336–363. [\[CrossRef\]](#)
- Hasnaoui, B. (1992). *Chênaies du Nord de la Tunisie: Ecologie et Régénération* [Thèse]. Marseille I: Université de Provence Aix.
- Houston, D. B. (1987). Variation in southern seed sources of Northern red oak. In *Proceedings, 463 of the 5th North Central Tree Improvement Conference* (Vol. 464, pp. 132–140). Fargo, North Dakota.
- Jarvis, B. C. (1986). Endogenous control of adventitious rooting in non-woody cuttings. *Developments in Plant and Soil Sciences*, 20, 191–222.
- Josiah, S. J., & Jones, N. (1992). *Root trainers in seedling production systems for tropical forestry and agroforestry*. Washington DC, USA: World Bank. Asia Technical Departement, Agriculture Division.
- Ke, G., & Werger, M. J. A. (1999). Different responses to shade of evergreen and deciduous oak seedlings and the effect of acorn size. *Acta Oecologica*, 20(6), 579–586. [\[CrossRef\]](#)
- Kolb, T. E. (1988). *Development of northern red oak and yellow poplar seedlings in response to light and root interference* [Ph.D Thesis] (p. 229). Pennsylvania State University.

- Kolb, T. E., & Steiner, K. C. (1989). Genetic variation among and within single tree progenies of northern red oak. *Forest Sciences*, 35(1), 251–256.
- Kremer, A. (1994). Programme D'amélioration Génétique du Chêne Rouge en France. In J. Timbal, A. Kremer, N. Le Goff & G. Nepveu (Eds.), *Le chêne rouge d'Amérique* (Vol. 479, pp. 11–20). Bordeaux: INRA. 481, 482
- Kriebel, H. B. (1964). Parental and provenance effects on growth of red oak seedling. *Cent. States for Tree Improv. Conf.* (Vol. 4, pp. 19-25).
- Kubitzki, K. (2014). The families and genera of vascular plants. [CrossRef]
- Lamhamedi, M. S., Ammari, Y., Fecteau, B., Fortin, J. A., & Margolis, H. (2000). Problématique des pépinières forestières en Afrique du Nord et stratégies d'orientation. *Cahiers Agricultures*, 9, 369–380.
- Lamhamedi, M. S., Fecteau, B., Godin, L., Gingras, C. H., El Aini, R., Gader, G. H., & Zarrouk, M. A. (1997). *Guide Pratique de Production Hors Sol de Plantes Forestières, Pastorales et 487 Ornementaux en Tunisie. projet : acdi e4936-k061 229-Direction Générale des Forêts, Tunisie 488 et Pampev* (p. 114). Canada: Internationale ltee.
- Long, T. J., & Jones, R. H. (1996). Seedling growth strategies and seed size effects in fourteen oak 495 species native to different soil moisture habitats. *Trees*, 11(1), 1–8. [CrossRef]
- Maire, R. (1961). *Flore de l'Afrique du nord* (Vol. 6). Paris: Paul Lechevalier.
- Matthew, J., Hegarty, S., & Hiscock, J. (2004). Hybrid speciation in plants: New insights from molecular studies. *Journal of New Phytologist*. [CrossRef]
- Mercier, S., & Rainville, A. (1996). *Effet de la Morphologie, du Génotype et de la Germination Précoce des Glands Rouge Sur la Croissance des Plantes en Récipient* (Vol. 123), Québec: Gouvernement du Québec, Mémoire de Recherche Forestière.
- Merouani, H., Branco, C., Almeida, M., & Pereira, J. (2001). Comportement Physiologique des Glands de Chêne Liège (*Quercus suber* L.) Durant Leur Conservation et Variabilité Inter-Individus Producteurs. *Ann. For. Sci. INRA*, 58, 143–153.
- Messaoudene, M. (1989). *Dendroécologie et Productivité de Quercus Afars Pomel et Quercus Canariensis Willd. Dans Les Massifs Forestiers de l'Akfadou et de Beni Ghobri en Algérie*. Marseille III. Fac. St Jérôme, Marseille: Th. Doct. ès Sciences, Univ. Aix, 123p.
- Messaoudene, M., Laribi, M., & Derridj, A. (2007). Étude de la Diversité Floristique de la Forêt de l'Akfadou (Algérie). *Bois et Forêts des Tropiques*, 291, 75–81.
- Mhamdi, S. (2013). *Caractérisations Morphologique, Écologique et Écophysiologique D'une Espèce endémique en Voie D'extinction; le chêne Afarès (Quercus afars Pomel) en Tunisie Comparé Aux Chênes Liège (Quercus suber L.) et Zéen (Quercus canariensis Willd.)* [Th. Doct. d'Etat], Spécialité: Institut National Agronomique de Tunisie, Génie Rural, Eaux et Forêts.
- Mir, C., Toumi, L., Jarne, P., Sarda, V., Di Giusto, F. D. I., & Lumaret, R. (2006). Endemic North African *Quercus afars* 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(2), 175–184. [CrossRef]
- Muller, C. H. (1952). Ecological Control of Hybridization in *Quercus* - a Factor in the Mechanism of Evolution. *International Journal of Organic Evolution*, 6(2), 147–161.
- Nahidi, A. (2006). *Évaluation de la Qualité des Plantes de Chêne Liège de Plaine (forêt de Madmora) en Relation Avec le Conteneur et le Substrat* (p. 66). Salé: Mémoire de 3ème cycle ENFI.
- Navarro, F. B., Jimenez, M. M., Ripoll, M. A., Ondono, E., Gallego, E., & Simon, E. (2006). Direct sowing of holm oak acorns: Effects of acorn size and soil treatment. *Annals of Forest Science*, 63(8), 961–967.
- Nixon, K. C., (1993). Infrageneric classification of *Quercus* (Fagaceae) and typification of sectional names. *Annals of Forest Science*, 50, 25–34.
- Nsibi, R., Souayah, N., Khouja, M. L., Khaldi, A., Rejeb, M. N., & Bouzid, S. (2003). Le Drageonnement Expérimental du Chêne Liège (*Quercus suber* L., Fagaceae). Effets de l'âge et Des Conditions de Culture. *Geo-Eco-Trop*, 27(1–2), 29–32.
- Pottier-Alapetite, G. (1981). Flore de la Tunisie. *Gamopétales. Imprimerie officielle de la République tunisienne*, Tunis, 1190p.
- Quero, J. L., Villar, R., Marañón, T., Zamora, R., & Poorter, L. (2007). Seed-mass effects in four Mediterranean *Quercus* species (Fagaceae) growing in contrasting light environments. *American Journal of Botany*, 94(11), 1795–1803. [CrossRef]
- Quero, J. L., Villar, R., Marañón, T., Zamora, R., Vega, D., & Sack, L. (2008). Relating leaf 526 photosynthetic rate to whole plant growth: Drought and shade effects on seedlings of four 527 *Quercus* species- Functional. *Functional Plant Biology*, 35(8), 725–737. [CrossRef]
- Rabehi, K. (Ed.) (2021). *Éléments de Bio-Statistique à l'usage Des Agrobiologistes Avec Les Étapes de Réalisation Sous R*. Ed opu. Alger 133p.
- Radford, E. A., Catullo, G., & De Montmollin, B. (Eds.) (2011). *Zones Importantes Pour Les Plantes en Méditerranée Méridionale et Orientale Sites Prioritaires Pour la Conservation. Sites Prioritaires Pour la Conservation. Gland, Suisse et Málaga* (Vol. VIII, p. 124). Espagne: UICN.
- Riedacker, A. (1986). Production et plantation de plants à racines nues ou en conteneurs. *Revue Forestière Française*, XXXVIII(3), 226–236. [CrossRef]
- Sarir, R., & Benmahioul, B. (2017). Etude comparative de la croissance végétative et du développement de jeunes semis de trois espèces de chênes (chêne vert, chêne liège et chêne zéen) cultivés en pépinière- Agriculture and Forestry. *Journal Available*, 1(1), 42–48. [CrossRef]
- Suszka, B., Muller, C., & Bonnet-Masimbert, M. (1994). Graine des feuillus forestiers : de la récolte au semis. *INRA Editions*, Paris, 291.
- Thompson, K., & Rabinowitz, D. (1989). Do big plants have big seeds? *American Naturalist*, 133(5), 722–728. [CrossRef]
- Tilki, F., & Alptekin, C. U. (2005). Variation in acorn characteristics in three provenances of *Quercus aucheri* Jaub et Spach and provenance, temperature and storage effects on acorn germination. *Seed Science and Technology*, 33(2), 441–447. [CrossRef]
- Van Valen, L. (1976). Ecological species, multispecies, and oaks. *Taxon*, 25(2–3), 233–239. [CrossRef]
- Vázquez, P. F. M., Coombes, A., Alonso, D. G., García, F. M., Meireles, C. R., Barrera, M. J. G., Viçosa, C. V. (2018). *Anotaciones a la nomenclatura del género Quercus L., (FAGACEAE) en la Península Ibérica y NW de Africa. Folia botanica Extremadurensis*, ISSN-e 1887-6587, N°12, (pp. 5–79).

Supplementary Table.1S.  
*Contributions of individuals, based on correlations*

	Fact. 1	Fact. 2	Fact. 3	Fact. 4	Fact. 5	Fact. 6	Fact. 7
<b>LN</b>	5,44311	1,46486	66,55698	0,00761	11,66201	0,01628	0,61195
<b>AS</b>	11,07287	37,15181	0,61759	2,41698	9,77222	0,53227	25,83695
<b>CY</b>	70,41593	1,91006	9,92195	1,3798	3,5829	1,64735	0,03091
<b>TK</b>	7,23558	1,18256	2,82374	0,85996	3,45107	58,13394	3,17473
<b>AK</b>	2,17075	9,4898	5,71809	3,30597	28,66747	6,24304	14,3822
<b>VM</b>	2,46883	0,21702	9,29246	1,60196	39,74698	0,66349	22,07602
<b>CA</b>	0,39135	1,46445	3,87617	17,74153	0,06887	24,61407	5,99489
<b>HO</b>	0,02403	7,23019	1,17105	36,85151	2,61526	1,41501	22,79917
<b>YA</b>	0,77753	39,88924	0,02197	35,8347	0,43322	6,73455	5,09319

Supplementary Table.2S.  
*Contribution of variables based on correlations*

	Fact. 1	Fact. 2	Fact. 3	Fact. 4	Fact. 5	Fact. 6	Fact. 7
<b>La</b>	0,123712	0,206358	0,003873	0,53391	0,004577	0,126648	0,000922
<b>Dc</b>	0,202458	0,012335	0,120464	0,052477	0,228378	0,379827	0,004061
<b>Nf</b>	0,210148	0,027262	0,050496	0,13721	0,117127	0,410952	0,046806
<b>Nr</b>	0,131792	0,168509	0,135876	0,001471	0,478106	0,000028	0,084217
<b>Log</b>	0,018217	0,36919	0,341138	0,078802	0,002234	0,000065	0,190354
<b>Lar</b>	0,142695	0,213408	0,022114	0,131565	0,151146	0,075286	0,263785
<b>Pg</b>	0,170979	0,002938	0,326038	0,064564	0,018432	0,007194	0,409855

## Résumé- Resumen

Le genre *Quercus* est l'un des genres forestiers les plus riches en espèces, mais aussi l'un des plus controversés. La fréquence élevée d'hybridation ajoutée à la variabilité intrinsèque au sein des espèces complique l'interprétation de la présence et de la dynamique de ces dernières. L'hybridation interspécifique est un phénomène commun chez les chênes et peut avoir des conséquences sur leur évolution et leur taxonomie.

La variation morphologique locale peut fournir des informations utiles pour clarifier le rôle de l'hybridation chez les chênes méditerranéens. En conséquence, nous avons caractérisé des hybrides putatifs et des espèces de chênes coexistant dans une chênaie très diversifiée en Algérie avec quatre espèces de chênes indigènes (*Q. suber* L., *Q. rotundifolia* L. (*ilex* L), *Q. canariensis* Willd. et *Q. afares* Pomel).

En complément à l'étude morphométrique, une étude biométrique a été menée pour évaluer la croissance des semis issus des glands en pépinière. Nous avons constaté que les performances des plants de chêne sont fortement influencées par un « effet peuplement » et un « effet espèce pure proche ». En effet, la position et la région écologique influencent la morphologie des glands. La croissance des chênes putatifs en pépinière est remarquablement homogène en termes de hauteur et de diamètre des plants. Cependant, l'effet "espèces pures proches" apparaît dans le cas du peuplement d'altitude où le chêne vert est présent.

En utilisant l'analyse de la morphométrie géométrique, nous avons observé que la forme de *Q. afares* est intermédiaire entre *Q. suber* et *Q. canariensis*, étant donné que *Q. ilex* est très différent des autres, et qu'il n'y a pas de chevauchement entre eux. Les hybrides putatifs sont morphologiquement proches de *Q. afares* puis *Q. suber*, enfin *Q. ilex* et *Q. canariensis*.

L'étude s'ouvre sur le domaine de la future caractérisation moléculaire des hybrides et de la détermination de leur rôle en termes d'adaptation aux conditions climatiques réelles et prévues dans l'avenir. La proximité morphologique des hybrides au *Q. afares* démontre cet avantage de l'espèce dans la zone d'étude et son importance pour l'évolution future de l'espèce dans les deux rives de la méditerranée. Cette diversité est probablement la conséquence de variations génétiques et/ou des conditions environnementales des peuplements. Avec le changement climatique et la diminution des précipitations, la fréquence des années sèches ne fera qu'augmenter. Ces arbres hybrides putatifs pourraient constituer une future alternative de reboisement, d'amélioration et de diversification des essences en Algérie.

**Mots clés :** hybrides ; variation morphologique ; *Quercus*, paramètres biométriques, massif de l'Akfadou.

### Abstract

The genus *Quercus* is one of the most species-rich forest genera, but also one of the most controversial. The high frequency of hybridization added to the intrinsic variability within the species complicates the interpretation of the presence and the dynamics of the latter. Interspecific hybridization is a common phenomenon in oaks and can have consequences on their evolution and taxonomy. Local morphological variation can provide useful information to clarify the role of hybridization in Mediterranean oaks. Accordingly, we characterized putative hybrids and oak species coexisting in a highly diverse oak forest in Algeria with four native oak species (*Q. suber* L., *Q. rotundifolia* L. (*ilex* L), *Q. canariensis* Willd. and *Q. afares* Pomel). In addition to the morphometric study, a biometric study was conducted to assess the growth of seedlings from acorns in the nursery. We found that the performance of oak seedlings is strongly influenced by a "stand effect" and a "near pure species effect".

Indeed, the position and the ecological region influence the morphology of the acorns. The growth of putative oaks in the nursery is remarkably homogeneous in terms of height and diameter of the seedlings. However, the "near pure species" effect appears in the case of high altitude stands where holm oak is present. Using geometric morphometry analysis, we observed that the shape of *Q. afares* is intermediate between *Q. suber* and *Q. canariensis*, since *Q. ilex* is very different from the others, and there is no overlap between them. The putative hybrids are morphologically close to *Q. afares* then *Q. suber*, finally *Q. ilex* and *Q. canariensis*. The study opens into the field of the future molecular characterization of hybrids and the determination of their role in terms of adaptation to actual and predicted climatic conditions in the future.

The morphological proximity of the hybrids to *Q. afares* demonstrates this advantage of the species in the study area and its importance for the future evolution of the species on both shores of the Mediterranean. This diversity is probably the consequence of genetic variations and/or environmental conditions of the stands. With climate change and reduced rainfall, the frequency of dry years will only increase.

This putative hybrid tress could constitute a future alternative for reforestation, improvement and diversification of species in Algeria.

**Keywords:** hybrids; morphological variation, *Quercus*, biometric parameters , Akfadou massif.