

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

**UNIVERSITÉ BATNA 1 HADJ LAKHDAR – BATNA**  
INSTITUT DES SCIENCES VÉTÉRINAIRES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES  
DÉPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

# THÈSE

Présentée par

**AISSI Abdeldjalil**

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat (L.M.D)

En sciences agronomiques

Option : Gestion des écosystèmes forestiers

## THÈME

**Le chêne zéen à petites feuilles (*Quercus faginea*  
Lam.) dans l'Aurès : cartographie, écologie et  
taxinomie**

Soutenue publiquement le : 11/11/2019, devant le jury composé de :

Président	<b>M. OUDJEHIH Bachir</b>	Professeur	<b>Univ. Batna 1</b>
Directeur de thèse	<b>M. BEGHAMI Yassine</b>	Professeur	<b>Univ. Batna 1</b>
Examineurs/trices	<b>M. MALKI Hamana</b>	M.C.A	<b>Univ. Batna 1</b>
	<b>Mme DEMNATI Fatma</b>	M.C.A	<b>Univ. de Biskra</b>
	<b>M. VÉLA Errol</b>	Maître de conférences	<b>Univ. de Montpellier, France</b>
	<b>Mme HEUERTZ Myriam</b>	Chargée de recherche (catégorie de poste)	<b>INRA Bordeaux, France</b>

**ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2019/2020**

## REMERCIEMENTS

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

En premier lieu, M. BEGHAMI Yassine ; merci de m'avoir encadré, tu as 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 te remercie très sincèrement pour tes conseils, tes orientations, la confiance et l'intérêt dont tu m'as témoigné tout le long de cette contribution.

Je remercie M. OUDJEHIH Bachir de m'avoir fait l'honneur de présider le jury. Qu'il trouve ici ma sincère gratitude.

Je tiens à remercier chaleureusement M. MALKI Hamana d'avoir accepté de faire partie du jury, d'avoir pris le temps de lire, d'examiner et de juger cette thèse. Un MERCI tout particulier de la part de votre élève.

Je remercie aussi Mme. DEMNATI Fatma qui m'a fait un grand honneur en acceptant d'examiner et de juger le manuscrit et de m'avoir consacré temps et efforts.

Un grand merci à M. VÉLA Errol d'avoir accepté avec beaucoup de gentillesse de faire partie du jury. Je suis très honoré. Sa grande connaissance des plantes d'Afrique du Nord et de leur systématique 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, surtout pour ce qui est de la définition et de la confirmation des taxons rencontrés et de la mise en place de la clé d'identification qui leur convient, ce dont je lui suis très reconnaissant.

J'exprime toute ma reconnaissance à Mme HEURETZ Myriam pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant en toute modestie de juger mon travail. Je tiens à la remercier aussi pour sa contribution fort appréciée et précieuse dans la réalisation de notre article, pour ses conseils lucides, son soutien infaillible et son encouragement. Merci encore une fois pour cette expérience très riche en apprentissage.

Cette contribution à la connaissance des chênes de l'Algérie est avant tout une aventure merveilleuse et palpitante ; nombreux sont les gens qui m'ont aidé de près ou de loin durant mes déplacements, alors mes vifs remerciements vont à toutes ces personnes, à ceux que j'ai eu la chance de rencontrer et qui m'ont soutenu avec tant de générosité, en particulier, Messieurs ; ZEKAK Sabti, FEROUJJI Ridha, CHERIR Hamid et BENAÏSSA Hocine. Trouvez ici messieurs le témoignage de ma vive gratitude et de ma profonde appréciation. Merci encore chers amis pour les bons moments passés ensemble et de m'avoir fait découvrir les zénaies les plus isolés de pays.

Je remercie M. ABDESSELEM Salah, directeur du laboratoire LAPAPEZA-Université Banta1 pour son aide et pour ses conseils.

Je remercie M. LEPAIS Olivier, chercheur à l'INRA de Bordeaux pour ses conseils, sa contribution, son dévouement et pour les discussions fructueuses que nous avons eues.

Un remerciement particulier à mon ami, M. CAIRNS James pour son aide, les nombreux conseils qu'il m'a donné et pour tout le soutien qu'il m'a apporté pendant la rédaction de ce document.

J'adresse également mes sincères remerciements à tous mes amis.es et mes collègues, en particulier, Atef, Moussa, Meriem et Houda pour leur aide, leur soutien, leur amitié si fidèle et pour leur encouragement durant ce travail.

Un remerciement tout sincère à M. NEHALI Djamel et à Mme Aichi Faiza (Dihya) pour leur remarquable contribution à la traduction du résumé de ce travail en Tamazight.

Une pensée affectueuse pour ma famille. Mes parents qui n'ont jamais cessés de me chérir et me soutenir dans les moments les plus difficiles, il n'y'a jamais assez de mots pour exprimer mes sentiments envers eux. Je leur dis un merci très chaleureux ! Je remercie aussi mes sœurs Aida et Marwa, et mes frères Hamza et Housseem pour leur soutiens et aides. C'est grâce à eux que je suis là aujourd'hui. Je leur dédie donc cette thèse.

Je dédie aussi ce travail à tous les amoureux et défenseurs de la nature et de la culture.

Et enfin, Je dédie ce travail à la mémoire de mon ami Aissa Menouni. Je ne saurais jamais décrire la personne qu'il était, il restera à jamais dans nos cœurs et nos mémoires.

## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION GÉNÉRALE .....	08
-----------------------------	----

### **PARTIE I - Étude taxinomique des peuplements de *Quercus faginea* Lam. (s.l) en l'Algérie**

#### **CHAPITRE 1 - Taxinomie, biogéographie et écologie**

1. Cadre taxinomique de l'espèce .....	11
2. Distribution biogéographique de l'espèce .....	14
3. Écologie de l'espèce .....	15
4. Description botanique .....	15

#### **CHAPITRE 2 - Étude morphologique et micromorphologique 'morphométrie traditionnelle'**

1. Introduction .....	18
2. Matériel et méthodes .....	19
3. Résultats .....	22
4. Discussion .....	29
5. Conclusion .....	33

#### **CHAPITRE 3 - Étude morphométrique : application de la morphométrie géométrique basée sur la configuration des points repères (*Landmarks*)**

1. Introduction .....	35
2. Matériel et méthodes .....	36
3. Résultats .....	38
4. Discussion .....	39
5. Conclusion .....	43

### **PARTIE II - Étude écologique et cartographique**

#### **CHAPITRE 1- Étude de la germination des glands de chêne faginé en Algérie**

1. Introduction .....	44
2. Matériel et méthodes .....	45
3. Résultats .....	49
4. Discussion .....	58
5. Conclusion .....	60

#### **CHAPITRE 2 - Analyse typologique et cartographique des formations de *Q. faginea* dans l'Aurès**

1. Introduction .....	61
2. Contexte régional et local du site d'étude .....	61
3. Analyse typologique et cartographique .....	69
3.1. Matériel et méthodes .....	69
3.2. Résultats et discussion .....	69
3.2.1. Les formations à chêne faginé .....	70
3.2.2. Les formations à pin d'Alep .....	73
3.2.3. Les formations à chêne vert .....	75
3.2.4. Les formations à cèdre de l'Atlas .....	77
3.2.5. Les terrains agricoles .....	78
3.3. Conclusion .....	78

#### **CHAPITRE 3 - Indice de Biodiversité Potentiel (IBP) des formations de *Q. faginea* dans l'Aurès**

1. Introduction .....	80
2. Matériel et méthodes .....	81
3. Résultats et discussion .....	82
4. Conclusion .....	87

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES .....	88
---	----

RÉFÉRENCES .....	
------------------	--

ANNEXES .....	
---------------	--

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure I.1</b> - Points d'observation de <i>Quercus faginea</i> . Carte réalisée en utilisant les données d'occurrence de GBIF (GBIF.org (2019) GBIF Occurrence Download. <a href="https://doi.org/10.15468/dl.8lx3d7">https://doi.org/10.15468/dl.8lx3d7</a> [5 Fév. 2019] et Quantum GIS 2.8.11 (Quantum GIS Development Team, 2016) .....	<b>13</b>
<b>Figure I.2</b> - Arbres de chêne faginé isolés au milieu des terrains agricoles. Au milieu : hiver 2018. À gauche : printemps 2018 ; À droite : automne 2018 (Chaabet Khaled- Yabous, Aurès) .....	<b>16</b>
<b>Figure I.3</b> - Tronc (à gauche et au milieu) et écorce (à droite) d'un chêne faginé adulte. (Maachra-Foum-Toub, Aurès 2016) .....	<b>17</b>
<b>Figure I.4</b> - Feuilles et glands (non matures) de chêne faginé (Chaabet Khaled- Yabous, Aurès 2016) .....	<b>17</b>
<b>Figure I.5</b> - Carte de répartition des populations échantillonnées, réalisée à l'aide de Quantum GIS 2.8.11 (Quantum GIS Development Team, 2016) .....	<b>19</b>
<b>Figure I.6</b> - Présentation graphique en boîtes à moustaches de la variabilité des traits quantitatifs mesurés .....	<b>25</b>
<b>Figure I.7</b> - La projection graphique des arbres échantillonnés (2600 feuilles) sur les plans factoriels (axes F1 & F2) de l'analyse des correspondances multiples (ACM) .....	<b>28</b>
<b>Figure I.8</b> - Dendrogramme représentant la classification hiérarchique ascendante (CAH) des 13 populations échantillonnées .....	<b>29</b>
<b>Figure I.9</b> - Type du tomentum et forme des feuilles des taxons étudiés. En haut : <i>Quercus canariensis</i> Willd. (El Hamdania). Au milieu : <i>Quercus faginea</i> subsp. <i>broteroi</i> (Safalou). En bas : <i>Quercus faginea</i> subsp. <i>faginea</i> (Chélia).....	<b>33</b>
<b>Figure I.10</b> - Positionnement et répartition des points repères ( <i>landmarks</i> ). À gauche, la numérisation des points repères sur les feuilles ; à droite, la superposition procrustéenne ( <i>New procrustes fit</i> ) des coordonnées de toutes les feuilles examinées ; points bleus : configuration moyenne ( <i>consensus</i> ) des points repères ; points noirs : position de chaque feuille .....	<b>37</b>
<b>Figure I.11</b> - La projection des données dans l'espace tangent. À gauche, la courbe de régression de l'espace Procrustéen de forme ' <i>Procrustes shape space</i> ' par l'espace tangent (l'espace euclidien). .....	<b>39</b>
<b>Figure I.12</b> - Diagramme des deux premiers axes de l'analyse en composante principale (ACP) effectuée sur la totalité des feuilles analysées. Les graphes de conformations ( <i>Wareframe Graph</i> ) montrent les traits morphologiques des feuilles le long des deux axes .....	<b>40</b>
<b>Figure I.13</b> - Diagramme des deux premiers axes de l'analyse en composante principale (ACP) effectuée sur la base de la configuration de feuille moyenne ' <i>mean leaf configuration</i> ' (130 feuilles). Les graphes de conformations ( <i>Wareframe Graph</i> ) montrent les traits morphologiques des feuilles le long des deux axes .....	<b>41</b>
<b>Figure I.14</b> - Variation dimensionnelle des feuilles de <i>Q. faginea</i> (s.l) en Algérie. Les lettres correspondent aux stations d'échantillonnages .....	<b>42</b>
<b>Figure II.1</b> - Localisation des stations de <i>Quercus faginea</i> en Algérie (carte générée avec Quantum GIS 2.8.11 (Quantum GIS Development Team, 2016) .....	<b>46</b>
<b>Figure II.2</b> - Étapes de germination des glands dans les planches. À gauche : remplissage des planches et mise en germination des glands. À droite : germination des glands 'frais' et levée de quelques semis (Novembre 2018) .....	<b>48</b>
<b>Figure II.3</b> - Phases de préparation des sachets en polyéthylène. À gauche : remplissage des sachets de mélange de la terre végétale et du sable. À droite : développement des semis après repiquage dans les sachets (janvier 2018) .....	<b>49</b>
<b>Figure II.4</b> - Diagrammes en boîtes des traits phénotypiques des glands de <i>Quercus faginea</i> dans les quatre stations étudiées en Algérie .....	<b>50</b>

<b>Figure II.5</b> - Évolution en fonction du temps de la germination des glands de chêne faginé ( <i>Q. faginea</i> ) dans les quatre stations étudiées en Algérie pour différents prétraitements .....	<b>52</b>
<b>Figure II.6</b> - Paramètres de croissance et de mortalité des semis de chêne faginé ( <i>Q. faginea</i> ) des quatre stations étudiées en Algérie en fonction des prétraitements avant germination .....	<b>53</b>
<b>Figure II.7</b> - Allongement en fonction du temps des épicotyles des semis de chêne faginé ( <i>Q. faginea</i> ) des quatre stations étudiées en Algérie .....	<b>56</b>
<b>Figure II.8</b> - Variabilité des caractères morphologiques des semis de chêne faginé ( <i>Q. faginea</i> ) dans les quatre stations étudiées en Algérie .....	<b>58</b>
<b>Figure II.9</b> - Localisation géographique de <i>Quercus faginea</i> Lam. dans l'Aurès .....	<b>62</b>
<b>Figure II.10</b> - Carte de délimitation de la zone d'étude .....	<b>63</b>
<b>Figure II.11</b> - Carte hypsométrique et de réseau hydrographique de la région d'étude, générée à partir du modèle numérique de terrain (MNT) .....	<b>64</b>
<b>Figure II.12</b> - Carte des classes des pentes dans la région d'étude, générée à partir du modèle numérique de terrain (MNT) .....	<b>65</b>
<b>Figure II.13</b> - Carte d'exposition des versants dans la région d'étude, générée à partir du modèle numérique de terrain (MNT) .....	<b>66</b>
<b>Figure II.14</b> - Carte de répartition des postes météorologiques par rapport à la zone d'étude .....	<b>67</b>
<b>Figure II.15</b> - Carte d'occupation du sol de la région d'étude .....	<b>79</b>
<b>Figure II.16</b> - chêne faginé (à feuillage jaune) en mélange avec le pin d'Alep le long d'Oued Chaabet Khaled, avec de chêne vert en sous-bois (décembre 2015) .....	<b>70</b>
<b>Figure II.17</b> - Gros pied de chêne faginé le long d'un petit ravin (à feuillage jaune), en présence de quelques jeunes pieds mêlés avec le chêne vert ou encore avec le pin d'Alep, plus en hauteur (Jar El kiffan, Yabous, décembre 2015) .....	<b>71</b>
<b>Figure II.18</b> - La pinède à chêne vert (très dense en sous-bois) du versant nord de djebel Tkhizrant, en présence de quelques pieds de chêne faginé (à feuillage jaune) à basse altitude et sur le sommet du mont (la formation de Lglalath) (décembre 2015) .....	<b>71</b>
<b>Figure II.19</b> - Régénération naturelle du chêne faginé sur la parcelle incendiée de la pinède de Tkhizrant (à gauche), et sans couvert, près de l'arbre mère (à droite) (mai, 2016) .....	<b>72</b>
<b>Figure II.20</b> - Distribution actuelle de <i>Q. faginea</i> dans l'Aurès, ainsi que deux sites représentant sa potentielle existence au passé, selon les études pédoanthracologiques de Beghami (2013) et Kherchouche (2013) .....	<b>72</b>
<b>Figure II.21</b> - Vue générale de la partie est de l'aire d'étude (les garrigues de chêne vert de Tkhabith et la pinède de djebel Tkhizrant, à l'avant-plan) entrecoupée par les terrains agricoles de Chaabet Khaled. En arrière-plan, les monts du Chélia recouverts d'un peu de neige (mars 2019) .....	<b>74</b>
<b>Figure II.22</b> - Terrains agricoles (en présence de quelques pieds de chênes verts et faginé) entaillant les formations ouvertes de chêne vert sur la partie ouest de la région d'étude (Taghith nahmaach, mai 2016).....	<b>76</b>
<b>Figure II.23</b> - Cèdre de l'Atlas en mélange avec les chênes faginé (sans feuillage) et vert (Ich n sidi Yahia, mars 2019) .....	<b>77</b>
<b>Figure II.24</b> - Répartition de la surface totale des relevés par classe de valeurs et par groupe de facteurs IBP .....	<b>82</b>
<b>Figure II.25</b> - Représentation graphique des résultats IBP de la région d'étude .....	<b>83</b>
<b>Figure II.26</b> - Troupeau de chèvres entre les arbres émondés du chêne faginé (Lglalath, septembre 2018) .....	<b>84</b>
<b>Figure II.27</b> - Vue générale du barrage de Tagharist (mars 2019) (Facteur I) .....	<b>85</b>
<b>Figure II.28</b> - Exemples de milieux rocheux : les falaises de djebel Tkhizrant (à gauche) et Jar el Kifan (à droite) (Facteur J) .....	<b>87</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I.1</b> - Les principaux facteurs écologiques des stations de prélèvement .....	<b>20</b>
<b>Tableau I.2</b> - Modalités des Traits qualitatifs mesurés pour les feuilles et les bourgeons de <i>Q. faginea</i> (s.l) .....	<b>21</b>
<b>Tableau I.3</b> - Caractéristiques des traits quantitatifs mesurés pour les feuilles et les bourgeons de <i>Q. faginea</i> (s.l) C.V. (%) : coefficient de variation intra-populationnel (%) .....	<b>23</b>
<b>Tableau I.4</b> - Fréquences en pourcentage des traits qualitatifs mesurés pour les feuilles et les bourgeons de <i>Q. faginea</i> (s.l) .....	<b>23</b>
<b>Tableau II.1</b> - Caractéristiques écologiques des stations de répartition de <i>Quercus faginea</i> Lam. en Algérie. La localisation géographique (longitude et latitude) est indiquée en degrés décimaux .....	<b>45</b>
<b>Tableau II.2</b> - Traits phénotypiques des glands de <i>Quercus faginea</i> au niveau inter-stationnel (50 glands / arbre) .....	<b>50</b>
<b>Tableau II.3</b> - Variabilité intra-stationnelle du potentiel germinatif des glands de <i>Quercus faginea</i> pour chaque traitement .....	<b>53</b>
<b>Tableau II.4</b> - Effet des prétraitements sur la germination des glands de <i>Quercus faginea</i> . .....	<b>55</b>
<b>Tableau II.5</b> - Traits phénotypiques des semis de <i>Quercus faginea</i> de l'ensemble des arbres échantillonnés .....	<b>56</b>
<b>Tableau II.6</b> - Pluviométrie moyenne annuelle des postes météorologiques de référence .....	<b>67</b>
<b>Tableau II.7</b> - Variation saisonnière de précipitations dans les stations étudiées .....	<b>68</b>

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les chênes (*Quercus* L., Fagaceae) constituent l'un des éléments les plus importants et les plus divers des écosystèmes forestiers de l'hémisphère nord (Gil-Pelgrín et al. 2017). Ils sont communs dans une grande variété d'habitats, y compris les forêts décidues tempérées, les savanes subtropicales et tropicales, les forêts de nuage, les forêts tropicales de montage et les forêts méditerranéennes (Nixon 2006). Ce genre est bien connu, par ailleurs, par son polymorphisme et par sa haute variabilité morphologique, rendant par conséquent la définition taxonomique des taxons qu'ils recèlent et leur distinction très instable et imprécise (e.g. Nixon 1993, Bussotti & Grossoni 1998, Gil-Pelgrín et al. 2017).

Parmi les 25 espèces caducifoliées représentant le genre *Quercus* sur le pourtour méditerranéen, *Quercus faginea* Lam. (s.l.), essence endémique de l'ensemble ibéro-maghrébin (Espagne, Portugal, Maroc, Algérie, Tunisie) (Quézel & Bonin 1980). Elle renferme un complexe taxonomique d'arbres ou d'arbustes à feuillage caduc ou marcescent et dévoile un polymorphisme foliaire extraordinaire, qui se manifeste sous nombreuses formes dont certaines entre elles paraissent des produits d'hybridation (Battandier & Trabut 1890, Trabut 1982), la raison pour laquelle, plusieurs classifications en lui ont été proposées au cours du temps sans pour autant faire l'unanimité notamment concernant les peuplements de l'Afrique du Nord.

Les nombreuses formes et espèces appartenant à ce complexe abritent un intérêt écologique, patrimonial et socioéconomique très remarquable et indéniable. Elles sont largement réparties dans le littoral algérien, et forment de très beaux peuplements dans les régions de l'est du pays (secteurs phytogéographiques Kabyle et Numidien & Kroumirie) et à moindre degré à l'extrême ouest (secteur Oranis). Ainsi, quelques formations à l'état disséminée dans le secteur Algérois, et dans les monts du Hodna et montagnes de Chélia (Aurès) (Battandier & Trabut 1890, Lapie & Maige 1914, Maire 1961).

Les travaux menés sur sa taxinomie restent très fragmentaires et anciens, citons, Battandier & Trabut (1890), Trabut (1892), Maire (1931, 1961), Camus (1936-1939), Huguet Del Villar (1937), Quézel & Santa (1962), Zine el Abidine & Fennane (1995), Achhal (2002), Vázquez & Coombes (2018). Par ailleurs, Dobignard & Chatelain (2012) ont proposé de prendre pour modèle le découpage d'Amaral Franco (1990) 'Flora Ibérica', où les formes de ce complexe sont représentées en Algérie et au Maroc par les espèces suivantes : *Q. lusitanica* Lam. (exclusivement pour le Maroc), *Q. canariensis* Willd. et *Q. faginea* Lam., cette dernière est représentée majoritairement par la subsp. *broteroi*, avec une présence douteuse pour la subsp. *faginea* au Maroc.

En plus des deux sous-espèces susmentionnées, Vázquez & Coombes (2018) reprennent l'usage de *Q. faginea subsp. maroccana* (Braun-Blanq & Maire) en proposant *Q. faginea subsp. maroccana* (Braun-Blanq. & Maire) F.M. Vázquez & A. Coombes comme une troisième sous-espèce, dont la distribution est limitée au seul Maroc (Jahandiez & Maire 1932). Les mêmes auteurs proposent ainsi une autre sous espèce, *Q. faginea subsp.*

*oscensis* (P.Monts) F.M Vázquez, qui est représentée par les populations des zones de transitions entre le nord de la péninsule ibérique et l'extrême nord de la méditerranée.

Outre son statut taxonomique très controversé et peu étudié, notamment pour ce qui est *Q. faginea*, les peuplements de ce complexe ont suscité et suscitent des recherches dans de nombreux domaines, notamment l'écologie, la dendroécologie et la dendroclimatologie à l'Algérie du nord (alcaraz 1982, 1992, Aimé et al. 1983, 1986, Messaoudène 1989, 1996, Messaoudène & Tessier 1991, 1996, 2003, Meddour 1993, Salamani 1991, Messaoudène et al. 2008, Terras 2010, Miara 2012, Babali 2013, Berrichi 2015). Ceci n'étant pas le cas pour les formations isolées de ce complexe, surtout celles de l'Aurès, Saida et Terni (Tlemcen), qui n'ont été que peu explorées jusqu'à présent et donc les différents aspects écologiques et forestiers de/s l'essence/essences dans ces régions restent très mal connus. Dans l'Aurès, seulement quelques relevés inédits ont été réalisés par Abdessemed (1981) dans la cadre d'une caractérisation de la flore des formations à *Q. faginea*, mais qui reste encore élémentaire et très localisée.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail, qui a pour objectifs principaux de réexaminer le statut taxonomique du complexe *Q. faginea* en Algérie et de contribuer à la connaissance de l'écologie de l'un de ses sites de distribution les moins étudiés dans le pays, à savoir la population de l'Aurès. Ainsi que d'étudier la germination des glands et l'évolution des plants de l'une de ses espèces, en l'occurrence *Q. faginea*. Ces objectifs sont adoptés afin d'apporter des éléments de réponse face aux enjeux suivants :

(I) l'étude du polymorphisme marqué par ce/s chêne/s en Algérie ; un aspect qui va être abordé par différentes approches morphologiques, dans un but essentiel d'identifier les traits les plus utiles et efficaces pour la distinction intra et interspécifique, et de cerner cette variabilité et de la traduire en termes systématiques.

- A travers cette analyse, les traits identifiés permettraient-ils de définir des entités taxonomiques fiables pour ce complexe ? De mieux comprendre la répartition de ses taxons en Algérie, et de confirmer ou infirmer la présence de la sous-espèce *faginea*, jamais décrite dans le pays ?

(II) l'examen du potentiel germinatif des glands, de leur variabilité morphologique et celle des semis, et l'évaluation de la capacité productive des plants à l'échelle de l'Algérie.

(III) L'analyse des conditions écologiques de distribution de/s taxon/s représentant ce complexe dans la région de l'Aurès, qui demeurent encore mal connus.

- Cette caractérisation écologique par une typologie et une cartographie des formations de *Q. faginea* (s.l) dans cette région est-elle capable de mettre en évidence leur état actuel, leurs potentialités et/ou les menaces guettant leur pérennité ? Est-elle capable également de mieux appréhender les facteurs agissant sur la répartition de cette espèce ? Aussi, l'introduction de l'Indice de Biodiversité potentielle (IBP) fournit-elle l'ensemble des informations nécessaires pour prendre des décisions relatives à la gestion préservatrice ou conservatrice ?

Le présent travail est divisé en deux parties ; la première partie consiste en une étude taxonomique de *Q. faginea* Lam. (s.l), comprend dans son premier chapitre un aperçu historique des différentes études menées, rappelant l'incertitude qui pèse sur le statut taxonomique de ce complexe. Le deuxième chapitre porte sur une étude de la variabilité morphologique et micromorphologique des feuilles et des bourgeons de nombreux peuplements du complexe à travers le pays. De même, le troisième chapitre traite la variabilité morphologique des feuilles par le biais de la morphométrie géométrique.

La seconde partie comprend deux volets, le premier qui se compose d'un seul chapitre, portant sur une évaluation du potentiel germinatif des glands, issus des différentes localités de *Q. faginea* en Algérie, une étude de leur variabilité morphologique et celle des semis obtenus, et enfin un examen de l'influence des prétraitements physiques sur le potentiel germinatif et le développement ultérieur des semis. Le second volet porte sur une caractérisation écologique des formations de *Q. faginea* (s.l) dans l'Aurès, se subdivise en fait en deux chapitres. Le premier chapitre traite deux principaux aspects ; d'une part, présenter d'une manière sommaire les différentes propriétés géomorphologiques, géologiques, pédologiques et climatiques de l'aire d'étude et, d'autre part, effectuer une analyse typologique et cartographique des formations abritant ce chêne. Le deuxième chapitre sera consacré à une première mise en application de l'Indice de Biodiversité potentielle (IBP) sur les forêts algériennes et plus particulièrement sur celles de l'Aurès.

# PARTIE I - Étude taxinomique des peuplements de *Quercus faginea* Lam. (s.l) en l'Algérie

## CHAPITRE 1- Taxinomie, biogéographie et écologie

### 1. Cadre taxinomique de l'espèce

Nous essaierons dans cet aperçu de résumer les différentes études taxinomiques menées sur ce complexe.

Lamarck en 1783 avait décrit son *Quercus faginea* Lam. comme une espèce différente de son *Q. lusitanica* Lam., bien que la description de cette dernière coïncide avec le type de *Q. faginea* (cf. Maire 1931). Coutinho (1888) utilise le nom de *Q. lusitanica* (incl. *Q. canariensis* Willd.) pour décrire l'ensemble des formes de *Q. faginea* (s.l), parmi lesquelles il distingue les variétés suivantes : var. *faginea* (Lam.) Boiss. ; var. *alpestris* (Boiss.) Cout. ; var. *broteri* Cout. ; var. *mirbeckii* (Dur.) DC.

Trabut (in Battandier & Trabut 1890) rattache les peuplements de *Quercus faginea* (s.l) de l'Algérie à la *Q. mirbeckii*, ce dernier présentant de nombreuses formes hybrides ou locales qu'il décrit ou rétablit. Son adaptation aux conditions stationnelles est probablement à l'origine des formes *microphylla* Trab. et *tlemcenensis* (DC.) Trab., qui correspondent aux peuplements de Chélia et Terni respectivement, tandis que les formes *angustifolia* Trab., *subpedunculata* Trab., *fagifolia* Trab. et *brevipetiolata* Trab. se présentent sous forme de variations individuelles paraissant éventuellement un produit d'hybridation (Trabut 1892).

Maire (1931) utilise le nom de *Quercus faginea* pour réunir les différentes formes et subdivise l'espèce en trois sous-espèces : subsp. *eu-faginea* Maire, subsp. *baetica* (DC.) Maire (= *Q. mirbeckii*), et subsp. *lusitanica* (Lam.) Maire (= *Q. humilis* Lam.), cette dernière seulement au Maroc.

Camus (1936-1939) dans sa monographie du genre *Quercus* distingue pour le complexe *Q. faginea* Lam. / *Q. lusitanica* Webb. les séries taxinomiques suivantes : *Q. mirbeckii* (= *Q. canariensis*), regroupant les peuplements de l'Afrique du Nord, *Q. alpestris* Boiss. (= *Q. lusitanica* subsp. *faginea* var. *valentina* ; *Q. lusitanica* subsp. *alpestris*), *Q. fruticosa* Brot. (= *Q. lusitanica* Lam. ; *Q. humilis* Lam., nom. illeg.), et *Q. faginea* Lam. (= *Q. valentina* Cav. ; *Q. lusitanica* Webb. non Lam.) correspondant aux peuplements de la péninsule ibérique, et enfin *Q. infectoria* Olivier. pour les peuplements de l'Anatolie.

Huguet Del Villar (1937) propose à partir des critères liés au tomentum et au type de nervation des feuilles que le *Quercus faginea* (s.l) de l'Algérie correspond à un complexe *Q. faginea-mirbeckii*. qui comprend les cinq espèces suivantes : *Q. faginea*, *Q. nordafricana* Villar, *Q. tlemcenensis* (A.DC.) Trab., *Q. alpestris*, et *Q. baetica* (Webb) Villar.

Maire (1961) dans sa "Flore d'Afrique du Nord" réunit les différentes formes et espèces de *Quercus faginea* (s.l) dans une espèce collective comprenant quatre sous-espèces : subsp. *baetica* (Webb) Maire, subsp. *alpestris* (Boiss.) Maire, subsp. *eu-faginea* Maire, et subsp.

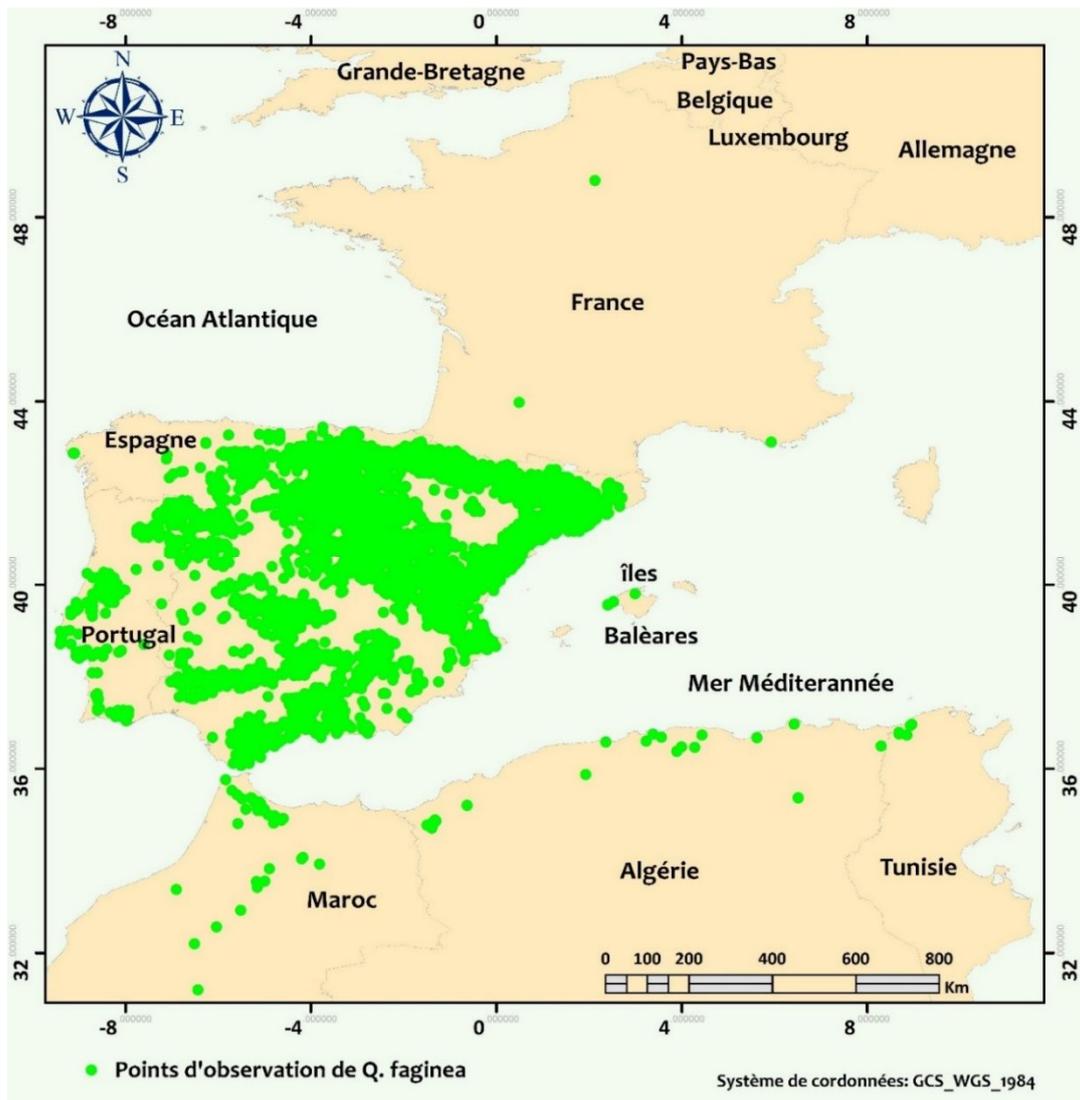
*tlemcenensis* (A.DC.) Maire et Weiller. Quézel & Santa (1962) ne présentent pour l'Algérie que les deux sous-espèces concernées : subsp. *baetica* et subsp. *tlemcenensis* (A.DC.) Maire et Weiller ex Greuter et Burdet.

Schwarz (1964) dans "Flora europaea" sépare désormais *Q. canariensis* de *Q. faginea* (incl. *Q. valentina*, *Q. alpestris*), avec aussi *Q. fruticosa* Brot. (= *Q. lusitanica*, *Q. humilis*) comme espèce proche, mais distincte de *Q. faginea*, tandis que *Q. valentina* Cav. y est considéré comme une forme arbustive de cette dernière. Par contre, (Greuter *et al.* 1986, Amaral Franco 1990, Schwarz 1993) rétablissent l'usage prioritaire de *Q. lusitanica* sur *Q. fruticosa* Brot., incluant donc *Q. humilis*, mais aussi *Q. valentina* Cav. Pour l'Anatolie, Krüssmann (1986) rattache *Q. infectoria* G.Olivier. au groupe de *Q. faginea* Lam., tandis que Schwarz (1993) l'inclut dans l'espèce *Q. pubescens* Willd.

Greuter *et al.* (1986) dans "Med-Checklist" proposent pour *Q. faginea* le découpage suivant : subsp. *alpestris* et subsp. *broteroi* (Cout.) A.Camus correspondant aux populations de la péninsule ibérique, et subsp. *tlemcenensis* (A.DC.) Greuter et Burdet, pour les populations nord-africaines, tout en considérant *Q. canariensis* et *Q. lusitanica* comme espèces satellites. Pour la seule péninsule ibérique, Amaral Franco (1990) retiennent les deux mêmes sous-espèces, subsp. *faginea* (= *Q. alpestris*, *Q. valentina*) et subsp. *broteroi*, dont la subsp. *faginea* est caractérisée par des feuilles de faible dimensions généralement dentées avec un tomentum à poils courts de 122-155µm, et la subsp. *broteroi* est caractérisée par des feuilles larges généralement crénelées-dentées avec un tomentum à poils longs de 175-200 µm. À ce propos, Tschan & Denk (2012) indiquent que les valeurs de la longueur des poils du tomentum des deux taxons se chevauchent entre eux, ce qui rend ce caractère instable pour un diagnostic taxonomique.

Rivas-Martínez & Sáenz (1991) proposent *Q. broteroi* (Cout.) Rivas-Martínez & C.Sáenz, comme une espèce distincte. Llamas *et al.* (1995) notent que cette dernière est caractérisée par un tomentum à poils minces qui s'effondre une fois séché, cependant Tschan & Denk (2012) démontraient que le type des poils qui s'effondrent est présent dans toutes les espèces de genre *Quercus*. En outre, Morales Alonso *et al.* (2006) concluent sur la base d'une étude du polymorphisme génétique de type RAPD que les deux taxons *Q. broteroi* et *Q. faginea* semblent être des formes écologiques de la même espèce.

Zine el Abidine & Fennane (1995), après exclusion de *Q. lusitanica*, rattachent les différentes formes du Maroc au *Quercus faginea* et proposent un découpage en trois sous-espèces : *Q. f.* subsp. *faginea*, *Q. f.* subsp. *baetica* (= *Q. canariensis*), et *Q. f.* subsp. *tlemcenensis*. Cette position a été reprise à l'identique dans la "Flore pratique du Maroc" (Zine el Abidine 1999). A contrario, pour le Nord du Maroc, Achhal (2002) retient trois espèces, *Q. lusitanica*, *Q. canariensis* et *Q. faginea* (= *Q. alpestris*, *Q. tlemcenensis*), sans distinguer de taxon infraspécifique sous cette dernière.



**Figure I.1** - Points d'observation de *Quercus faginea*. Carte réalisée en utilisant les données d'occurrence de GBIF (GBIF.org (2019) GBIF Occurrence Download. <https://doi.org/10.15468/dl.8lx3d7> [5 Fév. 2019] et Quantum GIS 2.8.11 (Quantum GIS Development Team, 2016).

À l'échelle de l'Afrique du Nord, Dobignard & Chatelain (2012) retiennent aussi trois espèces, *Q. lusitanica* (seulement au Maroc), *Q. canariensis* (Maroc, Algérie, Tunisie) et *Q. faginea* (Maroc et Algérie, douteux pour la Tunisie). Ils suggèrent ensuite que les formes du *Quercus faginea* (s.l.) de l'Algérie et du Maroc sont très majoritairement représentées par la subsp. *broteroi* (incl. subsp. *tlemcenensis*), tandis que la subsp. *faginea* y serait douteuse et possible seulement au Maroc.

Récemment, Vázquez & Coombes (2018) rétablissent l'usage de *Q. faginea* sur *Q. lusitanica* pour ce qui est de la variété *maroccana* et proposent désormais pour *Q. faginea* une troisième sous-espèce : *Q. faginea* subsp. *maroccana* (Braun-Blanq. & Maire) F.M. Vázquez & A. Coombes (= *Q. faginea* subsp. *maroccana* (Braun-Blanq. & Maire)). C'est la même position qui est en vigueur dans l'African Plant Database (2019). Ainsi, concernant la distribution de cette variété, Jahandiez & Maire (1932) notent qu'elle ne se trouve qu'au

Maroc. En plus, ces mêmes auteurs proposent ainsi un quatrième taxon (*Quercus faginea* subsp. *oscensis* (P.Monts) F.M. Vázquez (= *Q. lusitanica* subsp. *navarrana* O.Schwarz), en se basant sur le taxon décrit par Montserrat (1988) (*Quercus faginea* var. *oscensis* P.Monts., Bull. Soc. Échange Pl. Vasc. Eur. Occid. Bassin Médit. 22 :62 (1988), qui correspond aux populations situant en zones de transitions entre les régions Eurosibériens du nord de la péninsule ibérique et de la méditerranée la plus septentrionale. Schwarz (1936) note à ce propos que ces populations pourraient provenir d'une hybridation entre les populations de *Q. faginea* (sous- *Q. lusitanica*) et *Q. robur* L.

Cet aperçu illustre l'instabilité et l'ambiguïté régnant autour du statut taxonomique du complexe *Q. faginea*, plus particulièrement dans sa distribution nord-Africaine. La question taxonomique relative aux différents taxons appartenant à ce complexe sera examinée au cours des chapitres suivants de cette première partie.

## 2. Distribution biogéographique de l'espèce

Le chêne faginé (*Quercus faginea* Lam.) est une espèce caducifoliée dont l'aire de répartition est limitée à la partie occidentale du bassin méditerranéen ; l'espèce est présente en Espagne, au Portugal, au Maroc et en Algérie (Amaral Franco 1990). Toutefois, sa présence a été signalée également dans le Sud de la France (Ceballos & Ruiz de la Torre 1971, GBIF.org 2019) ainsi que par un point de collecte situé en Ile-de-France (<http://coldb.mnhn.fr/catalognumber/mnhn/p/p06857796>, GBIF.org 2019) (fig. I.1).

Selon Villar-Salvador et al. (2013), *Q. faginea* se rencontre dans la péninsule ibérique à des altitudes variant de 200 m à 1900 m ; cependant, la majeure partie des peuplements se répartit dans une tranche altitudinale comprise entre 600 et 1200 m. L'espèce se développe dans des zones dont les précipitations moyennes annuelles se situent généralement entre 500 et 900 mm. La sous-espèce *broteroi* préfère les substrats acides et mésophiles et n'apparaît pas dans les régions à fort contraste thermique – elle supporte moins le froid et la sécheresse –, tandis que la sous-espèce *faginea* est plus rustique en matière de tempérament et de continentalité – elle se contente de 300 mm/an de précipitations sur des sols profonds et bien développés–.

Sur la rive sud de la Méditerranée, *Q. faginea* se rencontre au Maroc essentiellement dans le Rif et en peuplements résiduels dans le Haut Atlas jusqu'aux frontières algériennes (Tassin 2012). En Algérie, selon Dobignard & Chatelain (2012), *Q. faginea* est connu de trois provenances localisées respectivement dans les montagnes de Chélia (Aurès) et dans les monts du Hodna au nord-est du pays, ainsi qu'aux monts de Tlemcen au nord-ouest. D'autres observations identifiées comme *Q. faginea* essentiellement le long du littoral algérien (Maire 1961) correspondent à *Q. faginea* subsp. *baetica* (Webb) Maire ou à des variétés qui ont par la suite été regroupées dans l'espèce *Q. canariensis* Willd. par Dobignard & Chatelain (2012). À cause de cette évolution de la définition taxonomique de *Q. faginea* et d'éventuelles mauvaises identifications, il est possible que la carte de distribution de l'espèce illustrée dans la figure I.1 (générée sur la base des données extraites de GBIF, 2019) comporte des erreurs potentielles, notamment en Algérie.

### 3. Écologie de l'espèce

D'après Amaral Franco (1990), le chêne faginé ou encore le chêne portugais est très commun dans la péninsule ibérique, connu par les appellations de *quejigo*, *roble carraqueño* en espagnol ; *roure de fulla petita* en catalan ; *carvaiho-cerquinho*, *cerquinho*, *carvalho-flohudo*, *carvalhlo-português*, *pedamarro* en portugais ; et *erkametza* en basque. Les peuplements les plus étendus de cette espèce sont localisés dans la partie est de la péninsule, et ils deviennent de plus en plus rares vers l'ouest. Cette espèce pousse dans des ambiances bioclimatiques différentes, quoique moins tolérante à la sécheresse que le chêne vert (*Quercus ilex* L.). La sous-espèce *broteroi* préfère les substrats acides et mésophiles et n'apparaît pas dans les régions à fort contraste thermique – elle supporte moins le froid et la sécheresse –. La sous-espèce *faginea* est indifférente à la composition physico-chimique du substrat, mais elle préfère les sols calcaires ou argilocalcaires. Plus rustique en matière de tempérament et de continentalité ; elle se contente de 300 mm/an de précipitations sur des sols profonds et bien développés (Villar-Salvador et al. 2013).

Cette espèce couvre approximativement 280 000 ha dans la péninsule ibérique et plus particulièrement en Espagne (Alfonso 1985). Son bois précieux a été largement utilisé dans l'industrie, ce qui a engendré une diminution de sa superficie, conduisant à sa protection légale au Portugal (Carvalho 1997, Capelo & Catry 2007).

### 4. Description botanique (figure I.2 –I.4)

Selon Amaral Franco 1990, *Q. faginea* est un arbre à feuilles caduques atteignant 20 m de hauteur ; cependant, il se présente également sous forme arbustive dont la morphologie dépend probablement de la nature du sol et de la pression anthropique à laquelle il est soumis (López González 2001). En général, l'écorce est rugueuse, grisâtre ou brune grisâtre, avec de nombreuses fissures superficielles sur les spécimens âgés ; les rameaux sont généralement tomenteux ou glabrescents à l'état juvénile ; les bourgeons sont de 2 à 5 mm de long et tomenteux. Les feuilles sont de 3 à 15 cm de long et de par 9 cm de large (selon les variétés), marcescentes, sub-coriacées de forme oblongue ou obovale, généralement sinuées-dentées ou lobées, et portent sur la face inférieure un tomentum à poils courts qui se détachent parfois dans le cas de certaines feuilles ; les nervures secondaires sont de (4) 6-12 (14) paires ; les pétioles sont généralement tomenteux ou glabrescents, de 5 à 20 mm de longueur et de forme subcylindrique. Cette espèce monoïque possède des chatons mâles de 2 à 7.5 cm, tomenteux ou glabrescents ; les akènes (fruits) sont de 15-35 mm de long et 10-20 mm de large, marrons jaunes, sessiles ou sur un pédoncule rigide et tomenteux de 25 mm max ; les cupules sont de 7-18 mm de long et 9-20 (22) mm de large, à écailles largement triangulaires (ovales-triangulaire). La cime des arbres est arrondie, ovoïde ou allongée, avec un feuillage peu dense, d'aspect moins dense et plus ouvert que celui du chêne vert (López González 2001).

#### - Subsp. *faginea*

Arbre dépassant rarement 15(20) m de hauteur ou arbuste encore ; feuilles vernaies de 3-6(9) cm de longueur par 1.5-4(5) cm de largeur, sub-coriacées, dentées-dentelées, et de couleur verte, possédant sur la face inférieure un tomentum à poils courts de forme

étoilée (125-155  $\mu\text{m}$ ) généralement glabre ; nombre de paires de nervures secondaires de (4)6 à 9(10), parfois avec des nerfs sur les sinus (entre les lobes ou les dents) ; chatons mâles de 2 à 4 cm de longueur ; périanthe à lobes aigus.

- Subsp. *broteroi*

Arbre pouvant atteindre 20 m de hauteur ; feuilles vernales de 5-15 cm de longueur par 2.5-9 cm de largeur, légèrement coriaccées et généralement crénelées-dentées, de couleur cendrées ; tomentum de la face inférieure est assez dense à poils longs (175-200  $\mu\text{m}$ ) ; nombre de paires de nervures secondaires de (8) à 12(14), sans nerfs sur les sinus ; chatons mâles de 4 à 7.5 cm de longueur ; périanthe à lobes obtus.

- Subsp. *oscensis*

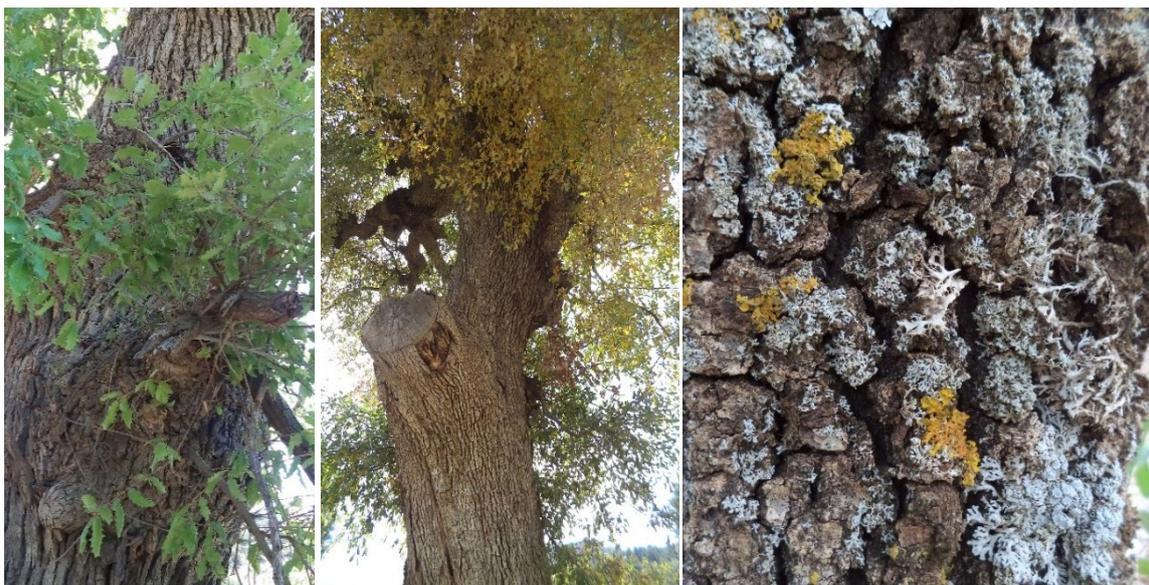
Feuilles généralement moyennes à petites (<7 cm de longueur), de couleur verte légèrement glauque et à pétioles courts (<1.2 cm) ; marges généralement dentelées de forme aiguë et parfois crénelées ; tomentum de la face supérieure glabre, et glabrescentes à glabres sur la face inférieure ; fruits de forme oblongue pourvus d'un pédoncule, pouvant atteindre 1.5 cm de long (jusqu'à 0.8 cm généralement) ; bractées de la cupule imbriquées à la base et légèrement verruqueuse (Vázquez & Coombes 2018).

- Subsp. *maroccana*

Selon Vázquez & Coombes (2018), cette sous-espèce se distingue par des feuilles grandes à moyennes, à pétioles généralement supérieures à 1cm (<3 cm), (7-11 cm de longueur par 3.5-4.5 cm de largeur ; pétiole 1-2 cm, Maire 1961) ; ramules de l'année promptement glabres (Del Villar 1937, Maire 1961) ; feuilles à marges crénelées-sinuées, devenant glabrescentes à la maturité, possédant sur leur face inférieure un tomentum blanchâtre à poils courts, ne dépassant pas 150  $\mu\text{m}$  (Vázquez & Coombes 2018). Ce taxon ne diffère guère du *Q. tlemcenensis* (A.DC.) Trab. qu'à par ces ramules de l'année promptement glabres (Del Villar 1937).



**Figure I.2** - Arbres de chêne faginé isolés au milieu des terrains agricoles. Au milieu : hiver 2018. À gauche : printemps 2018 ; à droite : automne 2018 (Chaabet Khaled-Yabous, Aurès).



**Figure I.3** - Tronc (à gauche et au milieu) et écorce (à droite) d'un chêne faginé adulte. (Maachra- Foum-Toub, Aurès 2016).



**Figure I.4** - Feuilles et glands (non matures) de chêne faginé (Chaabet Khaled-Yabous, Aurès, 2016).

## CHAPITRE 2 - Étude morphologique et micromorphologique 'morphométrie traditionnelle'

### 1. Introduction

Le genre *Quercus* L. (Fagaceae) est réputé pour sa complexité et la difficulté qu'ont les taxonomistes à classer les taxons qu'ils observent. Selon Nixon (1993), il comprend environ 500 espèces distribuées dans l'hémisphère nord, dont les origines remontent au début du Tertiaire. Sa richesse taxonomique et sa grande variabilité ont depuis longtemps fasciné les botanistes (cf. Camus 1936-1954) et est encore aujourd'hui un sujet très controversé. Malgré de très nombreuses descriptions entre le milieu du 18e et le milieu du 20e siècle en Europe et en Méditerranée, de nouveaux taxons continuent d'être formellement décrits comme espèces ou sous-espèces, chez les chênes caducifoliés (Mossa et al. 1999) mais aussi sempervirents (Capelo & Costa 2001, 2005). Pourtant, de nombreux taxons anciennement décrits sont encore aujourd'hui considérés comme synonymes taxonomiques d'espèces antérieures, alors qu'ils n'ont pas fait l'objet d'un réexamen attentif. Chez les chênes comme dans d'autres genres et familles, les taxons initialement décrits dans les pays du Maghreb, et l'Algérie en particulier, demeurent très peu connus et cela rend difficile la distinction et la comparaison avec les taxons européens.

La plupart des espèces de chênes ont une histoire évolutive complexe, liée à l'existence d'hybridations interspécifiques (Müller 1952) et d'introgessions (Hardin 1975, Rushton 1993) (Van Valen 1976, Leroy et al. 2017). Tout ceci rend difficile l'usage des phylogénies moléculaires, notamment celles qui se basent sur l'ADN chloroplastique, l'étude des lignées d'ADN nucléaire permettant alors de revenir à une phylogénie plus congruente (Manos et al. 1999).

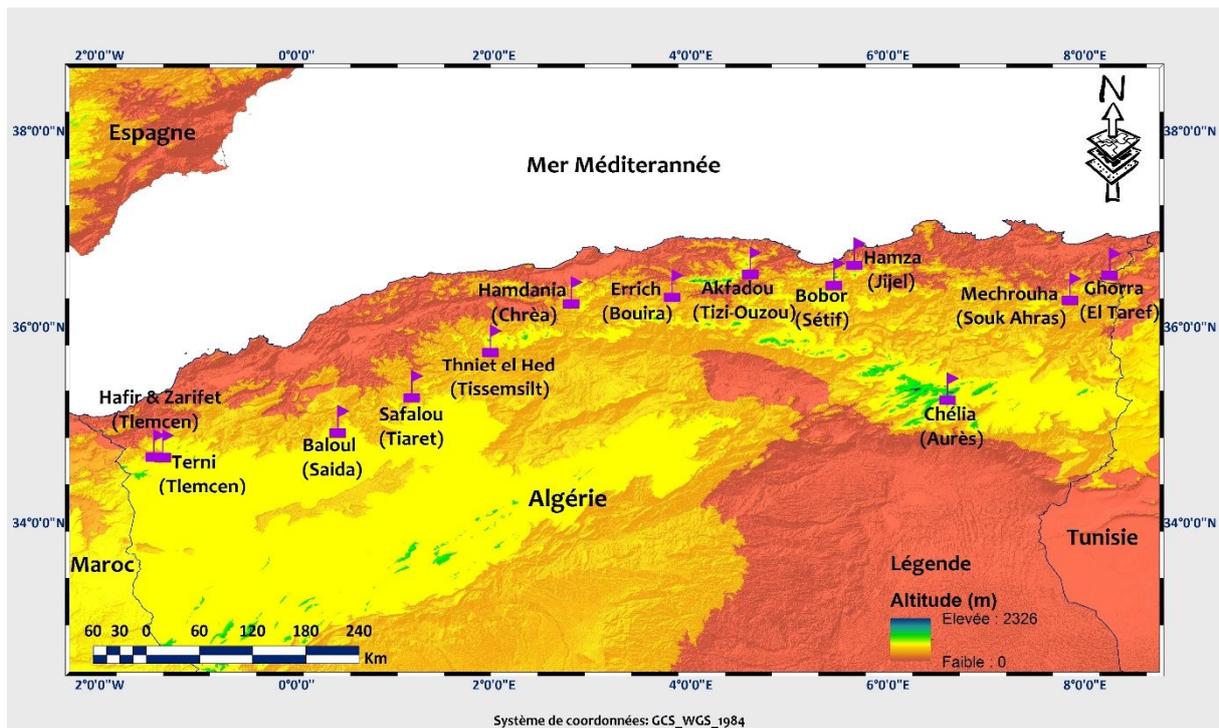
Parmi les critères utilisés pour la classification systématique des taxons du genre *Quercus*, l'étude morpho-anatomique des organes floraux est la plus utile pour la reconnaissance des sous-genres ou des sections (Maire 1961). Mais pour l'approche taxonomique des complexes d'espèces et de leurs sous-espèces, les critères les plus utiles demeurent la description morpho-anatomique et biométrique des feuilles (Cristofolini & Crema 2005). Les glands et leur cupule peuvent intervenir à différents niveaux, mais aident surtout à délimiter les sections ou les complexes d'espèces.

Autour de l'appellation *Quercus faginea* Lam., on regroupe des arbres ou arbustes à feuillage caduc ou marcescent appartenant à un complexe de taxons endémiques de la région ibéro-maghrébine (Espagne, Portugal, Maroc, Algérie, Tunisie). Le polymorphisme et la facilité d'hybridation avec d'autres espèces ont donné par conséquent des formes très proches du point de vue morphologique et difficilement classifiables (Trabut 1892, Maire 1961, Bussotti & Grossoni 1998).

De nombreux peuplements de ce complexe au sens large ont fait l'objet d'études en péninsule ibérique (Amaral Franco 1990, Rivas-Martinez & Saenz 1991, Morales Alonzo et al. 2006), cependant il n'en est pas de même pour ceux de l'Algérie. Les rares travaux

ou synthèses réalisés sont très fragmentaires et très anciens (Battandier & Trabut 1890, Trabut 1892, Camus 1936-1939, Huguet Del Villar 1937, Maire 1961, Quézel & Santa 1962).

L'objectif de cette étude est donc de réévaluer la définition taxonomique et d'analyser la variabilité morphologique des populations en Algérie pour un ensemble de 14 traits morphologiques de feuilles et de bourgeons issus de différents bioclimats, tout en prenant comme référence le découpage proposé par Amaral Franco (1990).



**Figure I.5** - Carte de répartition des populations échantillonnées, réalisée à l'aide de Quantum GIS 2.8.11 (Quantum GIS Development Team, 2016).

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Matériel végétal

Notre étude a porté sur treize populations de *Quercus faginea* Lam. (s.l) localisées sous différents bioclimats et substrats (tableau I.1, fig. I.5). Dix arbres matures par station, représentatifs de la variabilité morphologique ont été échantillonnés, dont des branches hautes sur les quatre coins de la canopée ont été prélevées (Kremer et al. 2002). Vingt feuilles atteignant leur croissance maximale et vingt bourgeons foliaires ont fait l'objet d'une description détaillée portant sur l'ensemble de traits qualitatifs et quantitatifs. Au total 130 arbres, 2600 feuilles et 2600 bourgeons ont été échantillonnés. Une analyse de la bibliographie spécifique (Seltzer 1946, Schoenenberger 1972, Halimi 1980, Gaouar 1980, Messaoudène & Tessier 1991) nous a permis d'identifier les principaux facteurs écologiques des stations échantillonnées (tableau I.1).

**Tableau I.1 - Les principaux facteurs écologiques des stations de prélèvement.**

Population	Abréviation	Pluviométrie (mm)	Altitude (m)	bioclimat	Substrat
Terni	Trn	688	1300-1350	Sub-humide frais	calcaire
Hafir & Zarifet	H&Z	600-750	1100-1300	Sub-humide frais	Grés
Balloul	Bll	430	850	Semi-aride frais	Grés
Safalou	Sfl	620	950-1100	Sub-humide frais	Grés
Thniet el Hed	Teh	630-870	1300-1600	Sub-humide frais	Grés
El hamdania	Hmd	1100-1300	1150-1600	Humide frais	Grés
Errich	Err	630	500-600	Sub-humide frais	Grés
Akfadou	Akf	1078-1132	750-1300	Humide frais	Grés
Babor	Bbr	1200-1500	1200-1650	Humide frais	Grés
Hamza	Hza	922	450-500	Humide doux	Grés
Ghorra	Gra	950	700-850	Humide frais	Grés
Machrouha	Mch	625	850-1000	Sub-humide frais	Grés
Chélia	Chl	360-523	1200-1700	Semi-aride froid	Marno-calcaire

## 2.2. Analyse morphologique

Les 14 traits quantitatifs et les 9 traits qualitatifs suivants ont été prélevés pour chaque feuille ou bourgeon :

## 2.3. Traits quantitatifs

Les feuilles ont été pressées et scannées à l'aide d'un scanner Epson avec une résolution de 300 dpi. En utilisant le logiciel, Image J (Rueden et al. 2017), les traits suivants (décrits dans Wigston 1975, Mouton 1976, Kremer et al. 2002, Viscosi et al. 2009) ont été mesurés sur les images des feuilles, tout en établissant une échelle uniforme : longueur du limbe (LL), largeur du limbe (Ll), longueur du limbe à la largeur maximale (Llm), longueur du pétiole (LP), rapport de longueur du pétiole/longueur du limbe (LP/Ll) :  $100 \times LP/(LP+Ll)$ , rapport de longueur du limbe à la largeur maximale/longueur de limbe (Llm/LL) :  $100 \times Llm/Ll$ , largeur du lobe (ll), largeur du sinus (Ls), rapport de la profondeur du lobe (Pl) :  $(100 \times ll-Ls) / ll$ . Le nombre de paires de nervures (Nn/2) et de lobes (Nl/2) a été compté pour chaque feuille. La longueur du bourgeon (Lb) a été ainsi mesurée avec un pied à coulisse numérique. Pour l'examen micromorphologique, la longueur (Lp) et la largeur (lp) des poils observés sur la face abaxiale des feuilles ont été mesurées avec un microscope optique (Motic B1 Advanced Series) équipé d'un appareil photo (Tshan & Denk 2012).

## 2.4. Traits qualitatifs

Base du limbe (Bl) : codée de 1 à 9 (pour la définition des formes, voir Kremer et al. 2002), forme du limbe (Fl), sommet du limbe (Sl), pilosité de la face abaxiale du limbe (Pbl), type du tomentum de la face abaxiale (Tt), pilosité du pétiole (Pp) (Zine el abidine & Fennane 1995, avec certaines modifications), pilosité du bourgeon (Pb), forme du bourgeon (Fb), marge du limbe (Ml) : la marge est considérée comme lobée lorsque le rapport de la profondeur du lobe (Pl)  $\geq$  25% ; lorsque (Pl)  $<$  25%, la marge est considérée comme crénelée. En cas de présence d'une ou plusieurs dents, la marge est considérée comme dentée (Leaf Architecture Working Group 1999). Les modalités de chaque trait qualitatif mesuré sont présentées dans le Tableau I.2.

**Tableau I.2 - Modalités des Traits qualitatifs mesurés pour les feuilles et les bourgeons de *Q. faginea* (s.l).** Fl : forme du limbe ; Tt : type du tomentum de la face abaxiale ; Pbl : pilosité de la face abaxiale du limbe ; Pb : pilosité du bourgeon ; Pp : pilosité du pétiole ; Bl : base du limbe (les formes utilisées ont été définies selon Kremer et al. 2002) ; Ml : marge du limbe ; Sl : sommet du limbe ; Fb : forme du bourgeon.

trait	Modalités	trait	Modalités
<b>Fl</b>	Oblongue (obl)	<b>Bl</b>	Forme 1
	Obovale-oblongue (obv-obl)		Forme 4
	Oblongue- elliptique (obl-ell)		Forme 5
	Obovale (obv)		Forme 6
	Elliptique (ell)		Forme 7
	Ovale-oblongue (ov-obl)		Forme 8
	Ovale (ov)		Dentée (D)
<b>Tt</b>	Lancéolé (lan)	<b>Ml</b>	Crénelée (C)
	Persistant (Pr)		Lobée (L)
	Caduc (Cdc)		Aigüe (aig)
<b>Pbl</b>	Pubescent (Pbt)	<b>Sl</b>	Obtuse (ob)
	Glabrescent (Gbt)		Émarginée (em)
	Pubescent (pb)		Arrondie (ar)
<b>Pb</b>	Glabrescent (gb)		Rétus (rt)
<b>Pp</b>	Pubescent (Pb)	<b>Fb</b>	Conique (cn)
	Glabrescent (Gb)		Fusifforme (f)
			Ovoïde (ov)

## 2.5. Analyse statistique

En utilisant les feuilles et les bourgeons comme variable de classification, les analyses suivantes ont été effectuées, le but essentiel étant de répartir les différentes feuilles et bourgeons examinés dans des classes homogènes du point de vue des traits morphologiques les plus caractérisants. L'analyse de la variance (ANOVA) visant à évaluer la variabilité morphologique intra et inter-populationnelle des traits relatifs aux bourgeons, feuilles et poils ; elle a été exprimée par les coefficients de variations (C.V.) et par une représentation graphique en boîtes à moustaches, qui décrivent les caractéristiques dimensionnelles de ces organes. La fréquence en pourcentage des modalités des traits qualitatifs a été étudiée à l'intérieur et entre les populations examinées afin d'identifier parmi elles les plus constantes et les plus fiables pour une distinction intra et interspécifique. L'analyse des correspondances multiples (ACM) se veut une étape primordiale pour effectuer une classification basée sur les variables qualitatives, en les transformant en variables quantitatives. Cette analyse permet ainsi d'explorer les relations entre les traits étudiés et d'identifier les ressemblances morphologiques entre les populations échantillonnées. Exécutée sur les coordonnées factorielles des observations générées par l'ACM (Lebart et al. 1995), la classification ascendante hiérarchique (CAH) cherche à mettre en évidence les multiples liens entre les populations, afin de faire ressortir les groupes homogènes. Le traitement statistique des données a été effectué à l'aide de logiciel XLSTAT Version 2016 (Addinsoft 2016).

## 3. Résultats

### 3.1. La variabilité des traits quantitatifs

Une différence morphologique significative intra et inter-populationnelle est mise en évidence pour l'ensemble des traits quantitatifs étudiés ( $P < 0.001$ ). Les valeurs du coefficient de variation (C.V.) correspondantes aux dimensions du limbe, du pétiole, du bourgeon foliaire et à la longueur des poils montrent une forte variation entre les différentes populations étudiées notamment pour les variables : (LL), (LI), (Llm), (Lp), (Ls), (ll), (Pl), (Lp/Ll), (Lb) et (Lp) (respectivement 28.12%, 28.34%, 31.82%, 34.46%, 28.58%, 28.24%, 34.47%, 27.26%, 27.23% et 60.04%). À l'inverse, la variabilité exprimée entre les populations pour les variables : (Nl/2), (Nn/2), (Llm/Ll) et (lp) est relativement moins importante (respectivement 20.98%, 19.57%, 15.13% et 15.40%) (fig. I.6, tableau I.3). On constate également une diminution graduelle de la taille des feuilles et des bourgeons (LL, LI, Llm, LP, Nn/2, Nl/2, ll, Ls, Pl, Lb) des populations analysées. En effet, les tailles des feuilles et des bourgeons ont tendance à diminuer de l'est à l'ouest et aussi du nord au sud du pays, mis à part les populations de Hafir et Zarifet qui présentent des caractéristiques morphologiques semblables à celles des populations du centre et de l'est du pays (fig. I.5 & I.6). En comparant avec les autres populations, les arbres à la station de l'Aurès se caractérisent par des feuilles et des bourgeons de très faibles dimensions (fig. I.6). Concernant la taille des poils, les feuilles à la station de l'Aurès portent des poils dont la longueur comprise entre 54  $\mu\text{m}$  et 440  $\mu\text{m}$ , et pour les populations de Terni, Baloul et Safalou, elle varie entre 52  $\mu\text{m}$  et 521  $\mu\text{m}$ . Cette longueur des poils (Lp) varie considérablement dans les mêmes populations qui manifestent les tailles de feuilles et

bourgeons les plus élevés (H&Z, Teh, Hmd, Err, Akf, Bbr, Hza, Gra, et Mch), oscillant entre 61 µm et 820 µm (fig. I.6).

**Tableau I.3 - Caractéristiques des traits quantitatifs mesurés pour les feuilles et les bourgeons de *Q. faginea* (s.l).** C.V. (%) : coefficient de variation intra-populationnel (%) ; C.V. Tôt : coefficient de variation entre les populations étudiées (%) ; P : P-valeur de l'ANOVA, la variabilité inter-populationnelle est significative au seuil de 5 % (toutes les variables ont montré un effet significatif,  $p \leq 0.0001$ ) ; LL : longueur du limbe ; Ll : largeur du limbe ; Llm : longueur du limbe à la largeur maximale ; LP : longueur du pétiole ; Nn/2 : nombre de paires de nervures ; Nl/2 : nombre de paires de lobes ; LP/Ll : rapport de longueur du pétiole/longueur du limbe ; Llm/LL : rapport de longueur du limbe à la largeur maximale/longueur de limbe ; ll : largeur du lobe ; Ls : largeur du sinus ; Pl : rapport de la profondeur du lobe ; Lb : longueur du bourgeon ; Lp : longueur des poils ; lp : largeur des poils. Pour les noms complets des populations, voir tableau 1.

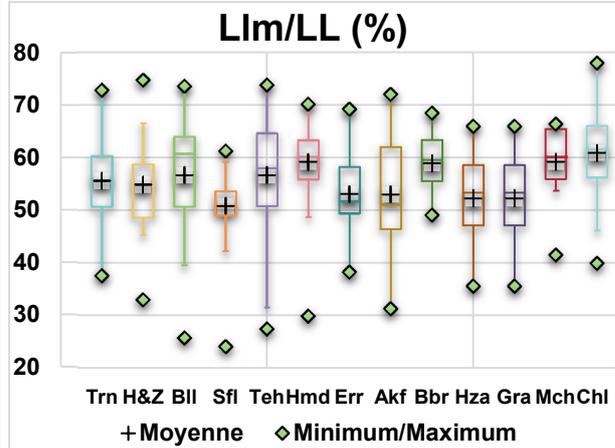
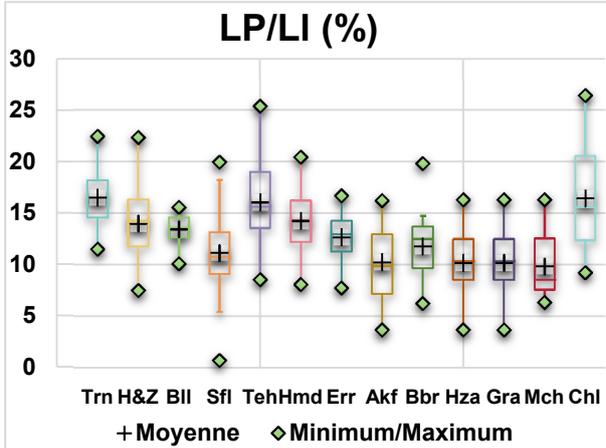
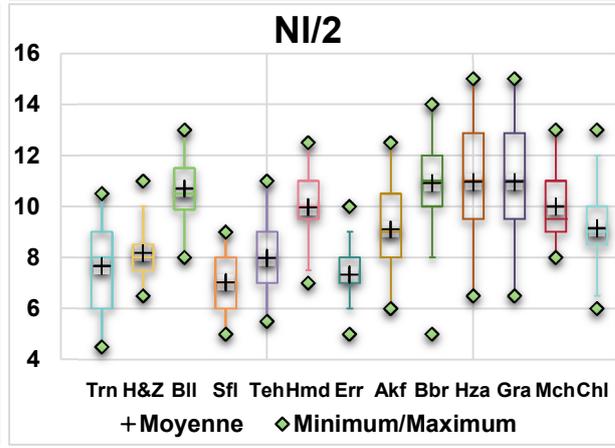
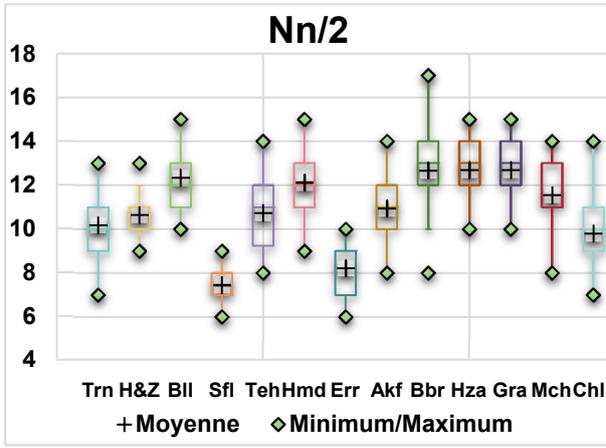
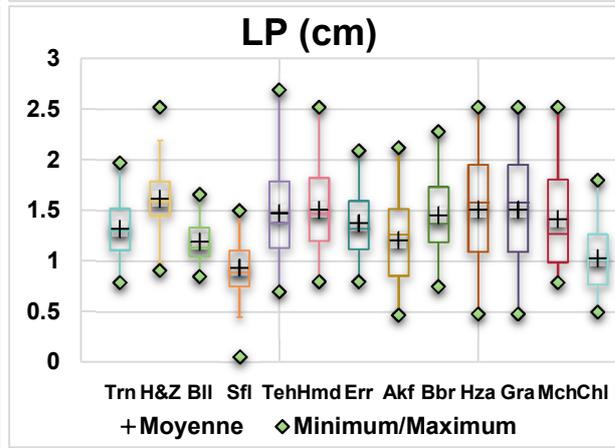
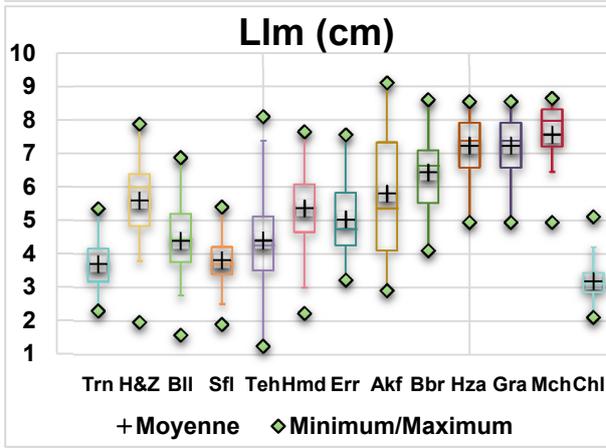
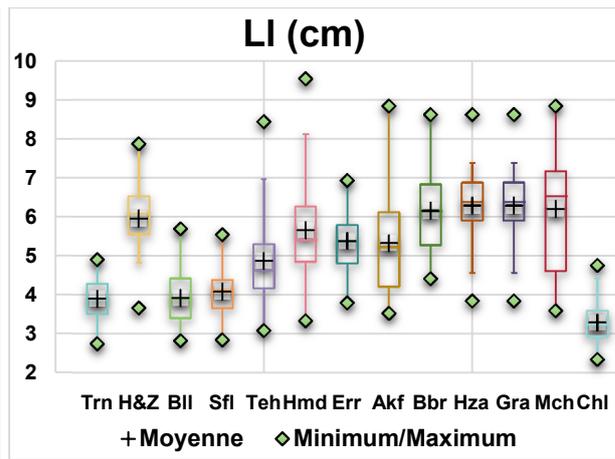
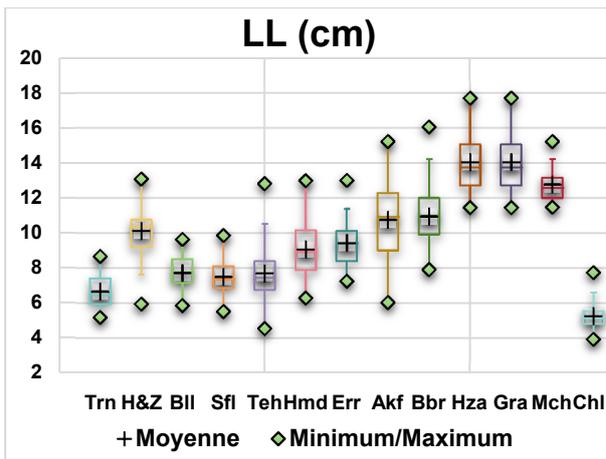
Variables		Trn	H&Z	Bll	Sfl	Teh	Hmd	Err	Akf	Bbr	Hza	Gra	Mch	Chl	C.V. Tôt	P
LL	C.V. (%)	13.50	21.40	12.99	12.57	19.71	16.52	12.94	20.86	16.82	20.43	19.62	20.62	13.49	28.12	0.00+
Ll	C.V. (%)	13.54	20.16	16.54	14.79	21.92	21.28	13.48	23.37	20.86	19.13	17.83	28.26	20.86	28.34	0.00+
Llm	C.V. (%)	18.54	25.95	23.83	16.87	29.67	20.30	21.77	33.60	17.42	24.21	26.01	23.89	17.19	31.82	0.00+
LP	C.V. (%)	21.30	22.31	16.50	28.15	30.06	25.98	24.19	36.26	26.97	32.06	31.12	32.24	28.99	33.46	0.00+
Nn/2	C.V. (%)	15.37	13.10	10.25	10.51	15.24	10.90	15.20	16.72	13.26	11.43	12.34	14.46	13.19	19.57	0.00+
Nl/2	C.V. (%)	13.54	18.63	11.61	13.92	15.65	12.13	14.37	26.11	15.69	18.24	17.45	12.34	14.48	20.98	0.00+
LP/Ll	C.V. (%)	14.86	21.62	10.57	27.65	33.82	18.87	16.41	20.50	23.50	20.67	18.52	19.20	27.64	27.26	0.00+
Llm/LL	C.V. (%)	13.27	16.12	18.57	10.03	17.74	11.46	14.32	19.65	9.20	15.68	15.84	16.42	12.00	15.13	0.00+
ll	C.V. (%)	15.88	21.36	19.45	16.06	22.54	20.31	21.81	24.51	18.67	22.36	16.87	20.87	14.22	28.24	0.00+
Ls	C.V. (%)	17.26	22.61	23.62	18.13	21.47	20.80	24.88	22.56	17.88	17.64	15.82	21.96	16.40	28.58	0.00+
Pl	C.V. (%)	29.56	32.98	27.65	26.16	37.22	31.51	37.49	23.24	30.13	23.75	29.04	28.42	30.40	34.47	0.00+
Lb	C.V. (%)	9.43	3.49	7.52	16.56	18.11	14.11	8.42	20.98	12.38	18.63	16.74	8.58	31.02	27.23	0.00+
Lp	C.V. (%)	63.69	56.12	65.29	57.56	39.08	57.75	55.19	47.75	63.96	52.18	48.87	53.00	48.24	60.04	0.00+
lp	C.V. (%)	32.58	15.47	31.32	34.82	14.10	12.95	15.41	20.24	14.42	15.01	15.58	14.83	27.97	15.40	0.00+

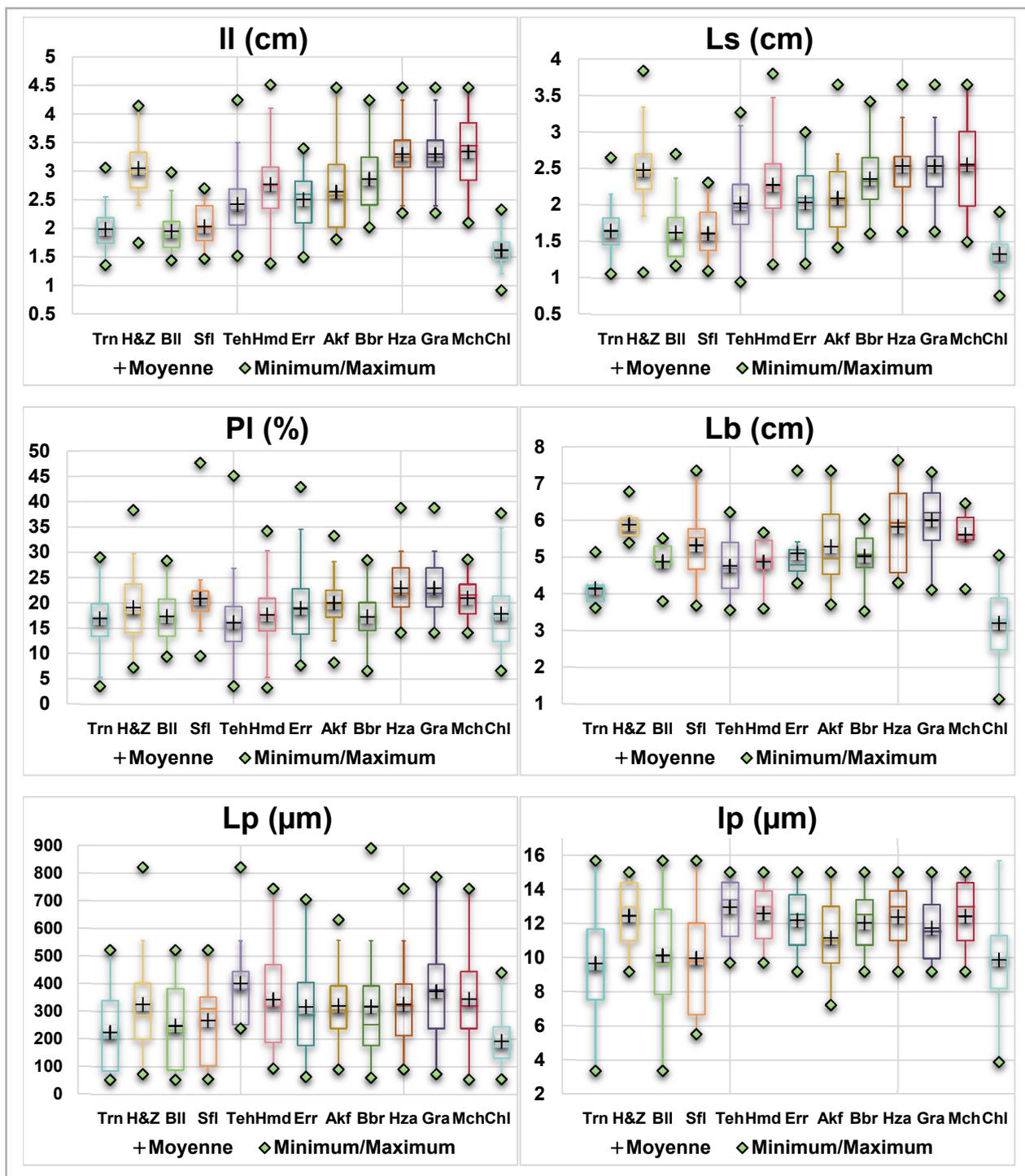
### 3.2. La variabilité des traits qualitatifs

Les fréquences des modalités de chaque caractère qualitatif à l'intérieur et entre les différentes populations examinées sont récapitulées dans le tableau I.4.

**Tableau I.4 - Fréquences en pourcentage des traits qualitatifs mesurés pour les feuilles et les bourgeons de *Q. faginea* (s.l).** Fl : forme du limbe ; Tt : type du tomentum de la face abaxiale ; Pbl : pilosité de la face abaxiale du limbe ; Pb : pilosité du bourgeon ; Pp : pilosité du pétiole ; Bl : base du limbe (les formes utilisées ont été définies selon Kremer et al. 2002) ; Ml : marge du limbe ; Sl : sommet du limbe ; Fb : forme du bourgeon. Pour les modalités, voir tableau I.2 et pour les noms complets des populations, voir tableau I.1.

Modalités	Trn	H&Z	Bll	Sfl	Teh	Hmd	Err	Akf	Bbr	Hza	Gra	Mch	Chl	moyenne	
<b>Fl</b>	<b>ell</b>	9.72	7.50	0.00	26.76	7.97	7.95	27.78	8.82	20.00	4.74	7.95	5.32	6.52	9.92
	<b>lan</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13
	<b>obl</b>	25.00	22.5	18.75	36.62	14.93	10.23	25.00	11.76	3.33	8.64	6.48	10.14	12.32	16.54
	<b>obl-ell</b>	16.67	11.25	6.25	0.00	7.97	2.27	0.00	14.70	13.33	3.46	4.62	3.67	3.62	6.36
	<b>obv</b>	25.00	31.25	37.5	11.27	25.36	55.68	22.22	32.35	50.00	58.43	60.75	60.13	53.62	38.42
	<b>obv-obl</b>	15.28	17.50	21.87	16.90	31.15	21.59	11.11	11.76	13.33	24.73	19.34	19.34	22.46	21.25
	<b>ov</b>	2.78	2.50	3.12	5.63	1.45	1.17	13.89	20.58	0.00	0.00	0.34	1.16	0.00	3.06
	<b>ovl-obl</b>	5.56	7.50	12.5	2.82	10.87	1.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	0.24	1.45	4.32
<b>Ml</b>	<b>C</b>	90.27	87.50	78.12	87.32	90.58	94.31	88.89	88.23	93.33	88.46	86.66	82.61	8.70	75.06
	<b>D</b>	5.57	7.50	9.38	7.04	2.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	91.30	18.83
	<b>L</b>	4.16	5.00	12.50	5.64	6.53	5.68	11.11	11.76	6.67	11.54	13.34	17.39	0.00	6.11
<b>Sl</b>	<b>aig</b>	48.61	68.75	87.50	92.96	51.45	62.50	72.22	82.35	73.33	80.77	86.13	78.26	55.80	65.78
	<b>ar</b>	4.17	0.00	0.00	0.00	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.90	1.02
	<b>em</b>	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.38
	<b>ob</b>	44.44	30.00	12.50	7.04	47.83	37.50	25.00	17.65	26.68	19.23	13.33	21.34	38.40	32.19
	<b>rt</b>	2.78	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0.63
<b>Fb</b>	<b>cn</b>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.33	1.50	0.00	0.00	0.00	0.00	3.22	0.46
	<b>f</b>	66.67	57.14	66.98	62.5	76.93	58.22	46.00	38.5	55.52	43.48	62.14	57.40	41.93	56.42
	<b>ov</b>	33.33	42.86	33.02	37.5	23.07	41.78	52.67	60.00	44.48	56.52	37.86	42.60	54.85	43.12
<b>Bl</b>	<b>1</b>	0.00	1.25	0.00	5.63	0.72	0.00	27.78	2.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.16
	<b>4</b>	8.33	5.00	25.00	5.63	13.04	7.95	30.56	23.53	16.67	15.38	20.05	21.53	39.13	17.43
	<b>5</b>	23.61	45.00	28.12	0.00	39.85	30.68	19.44	3.53	46.67	49.36	39.95	47.92	20.29	29.65
	<b>6</b>	22.22	20.00	18.75	35.21	24.64	31.82	0.00	35.29	3.33	26.93	26.67	21.85	10.14	21.50
	<b>7</b>	45.83	28.75	28.12	50.70	19.65	23.86	22.22	14.70	33.33	8.33	13.33	8.70	30.43	27.99
	<b>8</b>	0.00	0.00	0.00	2.82	2.17	5.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.27
<b>Pbl</b>	<b>Pbt</b>	100	0.00	100	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	50
	<b>GBt</b>	0.00	100	0.00	0.00	100	100	100	100	100	100	100	100	0.00	50
<b>Tt</b>	<b>Pr</b>	100	0.00	100	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	50
	<b>Cdc</b>	0.00	100	0.00	0.00	100	100	100	100	100	100	100	100	0.00	50
<b>Pp</b>	<b>Pb</b>	100	0.00	100	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	50
	<b>Gbt</b>	0.00	100	0.00	0.00	100	100	100	100	100	100	100	100	0.00	50
<b>Pb</b>	<b>pb</b>	100	0.00	100	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	50
	<b>gbt</b>	0.00	100	0.00	0.00	100	100	100	100	100	100	100	100	0.00	50





**Figure I.6** - Présentation graphique en boîtes à moustaches de la variabilité des traits quantitatifs mesurés. LL : longueur du limbe ; Ll : largeur du limbe ; Llm : longueur du limbe à la largeur maximale ; LP : longueur du pétiole ; Nn/2 : nombre de paires de nervures ; Nl/2 : nombre de paires de lobes ; LP/Ll : rapport de longueur du pétiole/longueur du limbe ; Llm/LL : rapport de longueur du limbe à la largeur maximale/longueur de limbe ; ll : largeur du lobe ; Ls : largeur du sinus ; Pl : rapport de la profondeur du lobe ; Lb : longueur du bourgeon ; Lp : longueur des poils ; lp : largeur des poils.

On observe que les traits liés au limbe (Ml, Sl), et ceux liés au tomentum (Pbl, Tt, Pp, Pb, Fb) sont les moins variables et les plus constants pour l'ensemble des populations étudiées. En effet, pour chacun de ces traits, une prédominance d'une modalité donnée est à noter. Ainsi, pour la marge du limbe, 91.30% des feuilles analysées provenant de la station de Chélia ont des marges dentées. Par contre, le reste des stations présentent des arbres avec des feuilles majoritairement crénelées (entre 75.06% et 90.58%). Pour le sommet du limbe, une prédominance remarquable de la forme aiguë et obtuse est à noter pour la majorité des stations (65.78%, 32.19%, respectivement), de même pour les bourgeons ; les formes fusiformes et ovoïdes sont les plus répandues (51.55%, 45.86%, respectivement) (tableau I.4). Concernant les traits liés au tomentum, les populations étudiées se divisent en deux groupes bien distincts. Le premier groupe, constitué par les populations de Chélia, Baloul, Safalou et Terni, caractérisé par des feuilles, pétioles et bourgeons à tomentum pubescent de type persistant ; le deuxième groupe, constitué par les populations de Thniet el Hed, El Hamdania, Babor, Akfadou, Errich, Hafir et Zarifet, Ghorra, Machrouha, et Hamza, caractérisé par des feuilles, pétioles et bourgeons à tomentum glabrescent de type caduc. Concernant les traits (Fl, Bl), on note une prédominance relative de certaines modalités pour la plupart des stations étudiées, à savoir des formes obovales, obovales-oblongues, et oblongues du limbe, et les formes 5, 6, et 7 pour la base du limbe, néanmoins, cela n'empêche pas une présence significative d'autres modalités (tableau I.4).

L'analyse de la fréquence des modalités au sein des populations étudiées permet de distinguer deux groupes distincts, dont l'un en deux sous-groupes. Le premier sous-groupe comprend la population de Chélia, caractérisé par des feuilles, pétioles, et bourgeons à tomentum pubescent persistant, et par l'aspect denté des feuilles, en moyenne et en majorité plus petites (longueur  $\leq 5,5$  cm et largeur  $\leq 3,5$  cm chez 75% des individus). Le second sous-groupe est constitué par les populations de Baloul, Safalou et Terni, dont le groupe se distingue du précédent par ses feuilles crénelées, en moyenne et en majorité moins petites (longueur  $\geq 5,5$  cm et largeur  $\geq 3,5$  cm chez 75% des individus). Tandis que le deuxième groupe, comprenant les populations de Thniet el Hed, El Hamdania, Babor, Akfadou, Errich, et Hafir et Zarifet, est caractérisé par des feuilles, pétioles et bourgeons à tomentum glabrescent de type caduc.

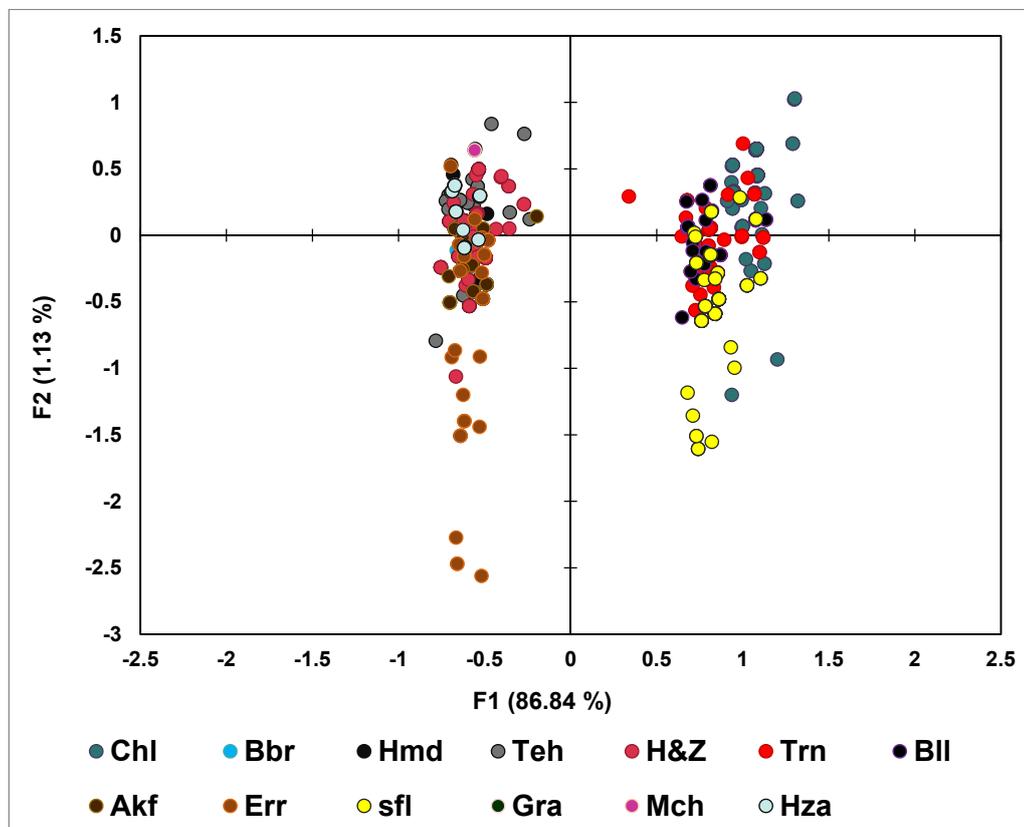
### **3.3. Analyse multivariée**

L'analyse des correspondances multiples (ACM) montre que la variation entre les différentes populations examinées est expliquée à 86.84% par le premier axe. Cette analyse nous a permis de distinguer deux groupes dont ; la marge du limbe (8.45%), la pilosité de la face abaxiale du limbe (21.91%), le type du tomentum (21.91%), la pilosité du pétiole (21.91%) et la pilosité du bourgeon (21.91%) sont les variables qui contribuent le plus à la séparation. Sur le côté négatif de l'axe1, les populations de Thniet el Hed, El Hamdania, Babor, Akfadou, Errich, Hafir et Zarifet, Ghorra, Machrouha et Hamza forment le premier groupe, caractérisé par des feuilles à tomentum glabrescent, caduc. Cependant, sur la partie positive de cet axe, les populations de Chélia, Terni, Baloul, et Safalou forment

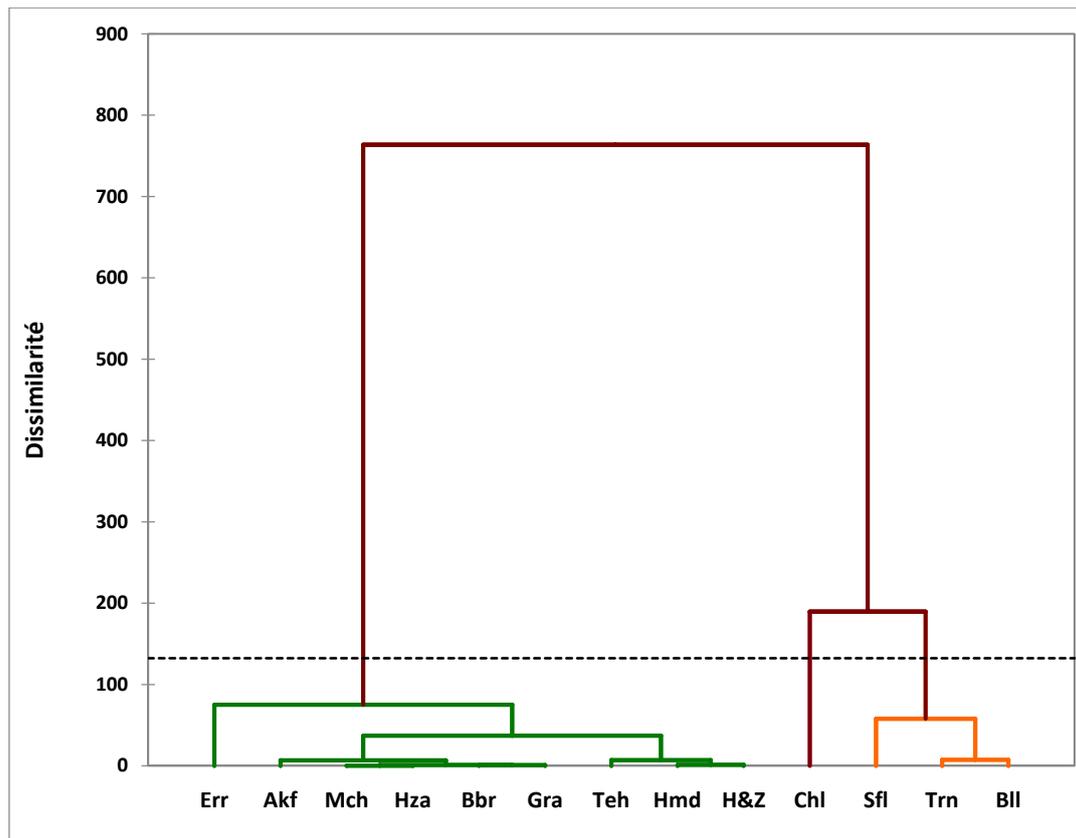
un deuxième groupe dont le tomentum des feuilles de ce dernier est plutôt pubescent, persistant (fig. I.7).

### 3.4. Classification par groupes

Les résultats de la CAH rejoignent ceux obtenus par l'analyse de la fréquence des modalités des traits qualitatifs, où les différentes populations étudiées ont été regroupées en deux principaux groupes. Le premier groupe est subdivisé en deux sous-groupes sur la base de la marge des feuilles. Le premier sous-groupe correspond à la population de Chélia, caractérisé par des feuilles à marge généralement dentée, alors que les populations de Terni, Safalou et Baloul formant le deuxième sous-groupe sont caractérisées par des feuilles à marge généralement crénelée. Le second groupe se compose des populations de Thniet el Hed, El Hamdania, Babor, Akfadou, Errich, Hafir et Zarifet, Ghorra, Machrouha et Hamza (fig. I.8).



**Figure I.7** - La projection graphique des arbres échantillonnés (2600 feuilles) sur les plans factoriels (axes F1 & F2) de l'analyse des correspondances multiples (ACM).



**Figure I.8** - Dendrogramme représentant la classification hiérarchique ascendante (CAH) des 13 populations échantillonnées.

## 4. Discussion

### 4.1. Analyse taxonomique et identité nomenclaturale

Notre analyse aboutit à trois taxons, dont deux mal différenciés entre eux et un troisième bien différencié des deux précédents. Cela revient intuitivement à considérer deux espèces, dont une regrouperait deux sous-espèces. Cette approche statistique des rangs d'espèce et de sous-espèce est conforme au concept de morpho-espèce tel que développé par Véla et al. (2015) chez le genre *Ophrys* (Orchidaceae) également connu pour son évolution réticulée, à savoir :

- Morpho-espèce : entités phénotypiques qui peuvent être identifiées de manière non ambiguë sur la base de caractères uniques ou d'une combinaison de critères diagnostiques ;
- Sous-espèce : un ensemble de populations avec les mêmes adaptations géographiques et écologiques au sein d'une morpho-espèce, qui peut souvent être discriminé en termes d'amplitude de variation quantitative, mais pas par un critère morphologique non ambigu.

Ainsi, notre groupe le plus grand et le plus homogène se distingue facilement, par des traits qualitatifs très stables, du groupe le plus petit, mais le plus hétérogène. Le premier groupe (feuilles, pétioles et bourgeons à tomentum glabrescent de type caduc)

correspond au concept unanime de *Quercus canariensis* (syn. *Q. faginea* subsp. *baetica*, *Q. mirbeckii*) (fig. I.9), le premier nom étant le prioritaire au rang d'espèce retenu ici. Le second groupe (feuilles, pétioles et bourgeons à tomentum pubescent de type persistant) correspond au concept majoritaire de *Q. faginea* (s.l.) tels que proposé par Schwarz (1964), Greuter et al. (1986), Amaral Franco (1990), Achhal (2002), Dobignard & Chatelain (2012).

C'est au sein de ce second groupe que la distinction en deux sous-groupes vient renforcer le point de vue majoritaire et exclure ceux qui ne proposent pas de sous-espèce pour découper la variabilité (Schwarz 1964, Achhal 2002). En revanche, le nombre de sous-espèces dans l'espèce collective *Q. faginea* reste débattu. En Algérie nous pouvons en affirmer deux, mais sont-elles les mêmes qu'ailleurs ou bien y en a-t-il d'autres au Maroc et/ou en péninsule ibérique ? L'analyse de la bibliographie récente pour la péninsule ibérique (Amaral Franco 1990) et le Maroc (Zine el Abidine 1999) suggère que les deux taxons identifiés et décrits dans chacune de ces contrées sont les mêmes que les deux taxons distingués ici en Algérie. Nous reconnaitrons ainsi les deux sous-espèces :

- *Q. faginea* subsp. *faginea* (syn. *Q. f.* subsp. *alpestris* ; *Q. f.* var. *microphylla* (Trab.) Maire & Saccardi), à feuilles à bord denté, en moyenne et en majorité plus petites (longueur  $\leq$  5,5 cm et largeur  $\leq$  3,5 cm chez 75% des individus) (fig. I.9) ;
- *Q. faginea* subsp. *broteroi* (syn. *Q. f.* subsp. *tlemcenensis*), à feuilles à bord crénelé (lobes arrondis), en moyenne et en majorité moins petites (longueur  $\geq$  5.5 cm et largeur  $\geq$  3,5 cm chez 75% des individus) (fig. I.9).

La distinction entre une sous-espèce *broteroi* décrite du Portugal et une sous-espèce *tlemcenensis* décrite d'Algérie, telle que proposée par Greuter et al. (1986), ne paraît pas justifiée au vu de l'homogénéité des traits qualitatifs et quantitatifs mesurés. De même, une éventuelle distinction entre une sous-espèce *faginea* type décrite du Portugal et une « sous-espèce » *microphylla* (jamais combinée à ce rang) décrite d'Algérie, bien qu'envisageable à priori, ne nous paraît pas justifiable.

#### **4.2. Relation variabilité morphologique - conditions environnementales et génétiques**

Les variations intra et interspécifiques de la morphologie des feuilles du genre *Quercus* sont souvent rapportées (Nixon 2006), et nombreux sont les facteurs qui peuvent les influencer (Margaris & Monney 1981). L'hybridation entre les différentes espèces peut produire des formes très variables (Borazan & Babaç 2003). Toutefois, Jensen (1988) note que d'autres facteurs tels que l'intensité de la lumière modifient la morphologie des feuilles (Gratani et al. 2006). Le gradient pluviométrique et les basses températures hivernales (Castro-Díez et al 1997), la disponibilité d'eau dans les sols (Dickson & Tomlinson 1996), les variations saisonnières et de positions des feuilles (Blue & Jensen 1988), et les différences en termes de nutrition (Valladares et al. 2000) peuvent également être la source de cette variation morphologique. Les radiations solaires intenses et les fortes chaleurs semblent également diminuer la taille des feuilles, et

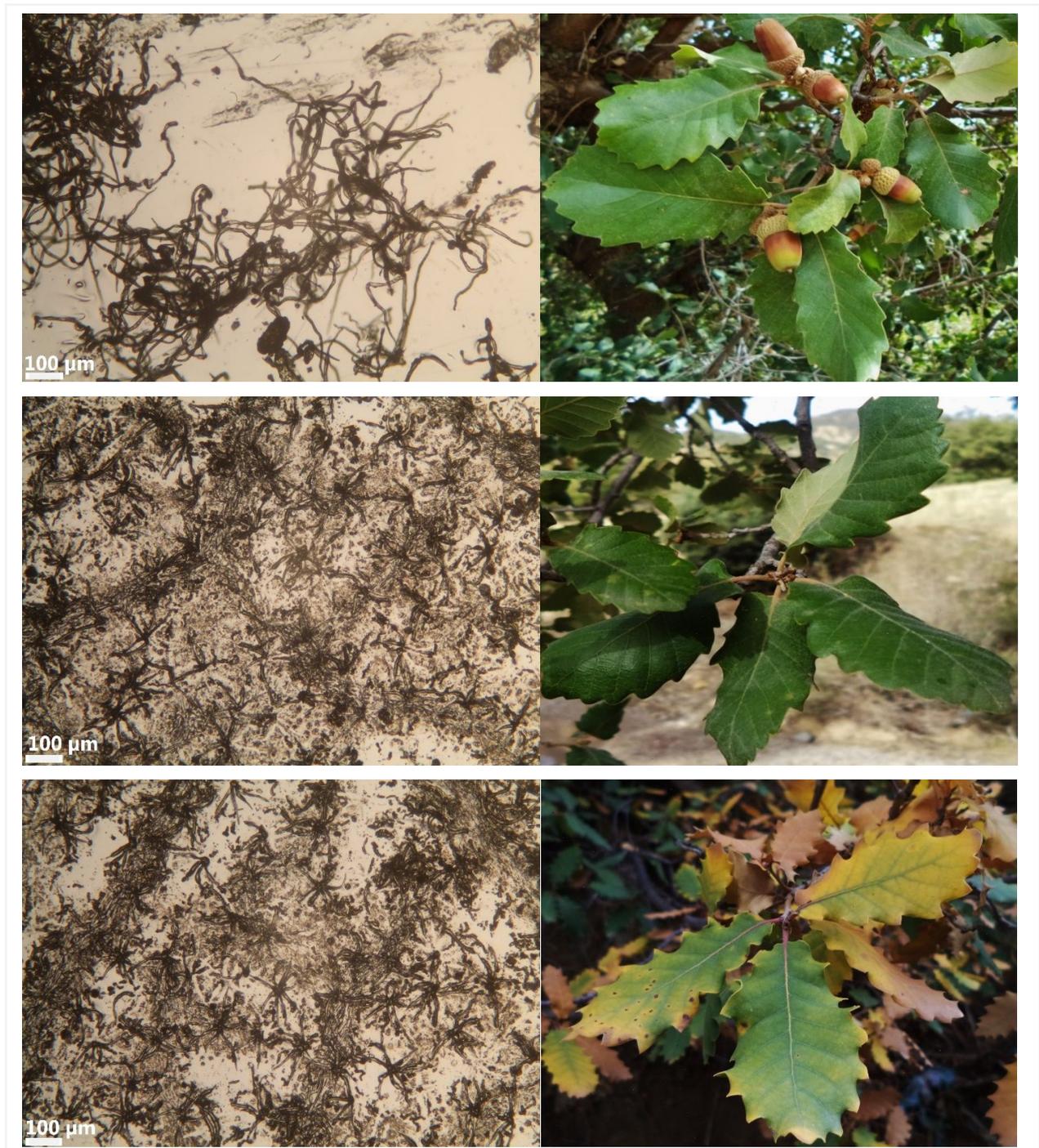
développer le caractère lobé des feuilles (McDonald et al. 2003). Une étude comparative entre trois espèces de chênes (*Q. robur* L., *Q. pyrenaica* Willd., et *Q. faginea*) révèle la présence d'une corrélation entre la taille réduite et la forme des feuilles, notamment la marge lobée d'un côté, et leur température de l'autre, suggérant que ces traits morphologiques participent au refroidissement des feuilles (Gil-Pelgrín et al. 2017). La diminution de la taille des feuilles de *Q. faginea* entraîne une réduction de leur résistance aérodynamique, améliorant en conséquence le contrôle de la transpiration par les stomates (Jarvis & McNaughton 1986). D'autre part, la diminution de la taille des feuilles est accompagnée par une diminution de leurs surfaces foliaires, ce qui devrait augmenter la conductivité hydraulique spécifique, rendant ainsi l'espèce plus résistante aux conditions climatiques méditerranéennes (Peguero-Pina et al. 2016, Gil-Pelgrín et al. 2017).

Nos résultats montrent qu'il existe des tendances de diminution graduelle de la dimension des feuilles et des bourgeons foliaires de l'est en ouest du pays et aussi du nord au sud, ce qui est probablement le résultat d'une adaptation aux conditions environnementales et climatiques (Trabut 1892). En général, les populations situées dans des conditions favorables portent des arbres avec feuilles et bourgeons bien développés. Par contre, les arbres avec des feuilles et des bourgeons de très faibles dimensions prospèrent dans des conditions moins favorables, la population de Chélia en représente l'exemple le plus remarquable. Bruschi et al. (2003) notent que les variations morphologiques entre les populations du *Q. petraea* (Matt.) Liebl. habitant dans des milieux xériques et mésiques peuvent être imputées aux conditions climatiques et environnementales des stations, et plus particulièrement aux caractéristiques lithologiques des substrats. En comparant trois espèces de chênes (*Q. coccifera* L., *Q. ilex* L., *Q. faginea*), Castro-Díez et al. (1997) montrent une situation contrastée pour ces espèces le long du même gradient pluviométrique. Pour *Q. faginea*, les auteurs remarquent l'absence d'une corrélation entre la variabilité morphologique des feuilles et le gradient pluviométrique, et suggèrent qu'en occupant notamment les sols marneux et gréseux à fortes capacités de rétention de l'eau tels que les fonds des vallées et en utilisant un système racinaire large et profond, cela lui permet de bien s'accommoder aux conditions climatiques méditerranéennes. De même pour les quatre populations de *Q. faginea* identifiées en Algérie qui se présentent sous forme de pieds isolés au long des ravins et des oueds, les données pluviométriques actuelles de ces stations n'expliquent pas la spécificité morphologique des arbres de la station de Chélia distingués par des feuilles de denture plus importante. Cela étant dit, on pourrait suggérer qu'une influence de certains facteurs environnementaux, notamment les basses températures hivernales y jouent un rôle. Bailey & Sinnot (1915) suggèrent en effet une corrélation positive entre les plantes à feuilles dentées et les basses températures. Royer & Wilf (2006) montrent également que les arbres à feuilles dentées sont plus fréquents dans les climats froids, et sont caractérisés par une activité photosynthétique et une transpiration élevée, particulièrement durant les premiers stades de leur évolution. À la lumière de ces observations, il est intéressant de constater que la station Chélia est à la fois localisée à relativement haute altitude, mais est surtout

la plus continentale de toutes, impliquant logiquement des hivers plus froids avec des gelées fréquentes.

### 4.3. Relation tomentum - conditions climatiques

Les facteurs génétiques et environnementaux jouent un rôle très important dans la variabilité de la densité du tomentum des feuilles (Gellini et al. 1992). À propos, Ehleringer (1982) ainsi que Shibuya et al. (2016) notent que l'augmentation de la densité du tomentum est en relation avec le déficit hydrique, le déficit de pression de vapeur, et les températures élevées. Schimper (1903) ainsi que Ehleringer (1984) montrent également que la pubescence des feuilles est liée aux conditions climatiques xériques. Cependant, Levin (1973) note que la pubescence des feuilles n'a aucune liaison avec le climat, ce qui indique que le rôle du tomentum est plus complexe qu'il n'y paraît (Tschan & Denk 2012, Bickford 2016). La pubescence joue un rôle dans la protection des feuilles contre les radiations solaires et augmente par conséquent la tolérance à la sécheresse en réduisant l'absorbance des feuilles sur la face adaxiale et en diminuant la réflexion des rayonnements solaires sur la face abaxiale (Johnson 1975, Ehleringer 1984). La pubescence peut augmenter la résistance contre les attaques des insectes herbivores et les maladies (Levin 1973, Hanley et al. 2007). La pubescence peut également protéger les feuilles contre le rayonnement ultraviolet (UV-B) nuisible (Skaltsa et al. 1994), et contre les basses températures (Werker 2000). En outre, Tschan & Denk (2012) suggèrent que la forte densité du tomentum abaxiale et adaxiale des jeunes feuilles du genre *Quercus* peut augmenter la résistance de ces derniers contre les insectes et les champignons, et contre les températures élevées. Le pouvoir hydrofuge de la pubescence peut contribuer également à l'amélioration de la photosynthèse. De même, à propos de *Q. canariensis*, les mêmes auteurs suggèrent que l'aspect caduc du tomentum des feuilles matures de l'espèce pourrait nous indiquer qu'elle a évolué dans des conditions mésiques. À l'inverse, le tomentum persistant et les feuilles coriaces de faible dimension semblent être des traits d'adaptation aux conditions climatiques méditerranéennes actuelles, ce qui est peut-être le cas de *Q. faginea* dont les premières traces rencontrées au sud de la France remontent au début des fluctuations saisonnières durant le Pliocène (cf. Peguero-Pina et al. 2016). Concernant la longueur des poils, une différence entre les populations de *Q. canariensis* et celles de *Q. faginea* est notable, par contre, nos résultats ne montrent pas de différences entre les deux sous-espèces de *Q. faginea*, ce qui est conforme aux résultats obtenus par Tschan & Denk (2012). Ces constats indiquent que les différences entre les deux sous-espèces résident principalement dans la taille et la forme du limbe.



**Figure I.9** - Type du tomentum et forme des feuilles des taxons étudiés. En haut : *Quercus canariensis* Willd. (El Hamdania). Au milieu : *Quercus faginea* subsp. *broteroi* (Safalou). En bas : *Quercus faginea* subsp. *faginea* (Chélia).

## 5. Conclusion

Sur la base de la description morphologique des taxons du complexe *Quercus faginea*, nos résultats suggèrent que ce dernier serait représenté en Algérie par trois taxons regroupés en deux espèces : *Q. canariensis* représenté par les populations du Tell algéro-constantinois et des monts de Tlemcen (Hafir et Zarifet, Thniet el hed, El Hamdania, Errich, Akfadou, Babor, Hamza, Machrouha, Ghorra), *Quercus faginea* subsp. *broteroi*

représenté par les populations du Tell oranais (Terni, Baloul, Safalou) et *Quercus faginea* subsp. *faginea* représenté par une population de l'Aurès (Chélia) prolongeant celle, historique, des monts du Hodna (Maire 1961). La distribution des deux espèces paraît être liée aux conditions climatiques et édaphiques. Ainsi, le *Q. canariensis* se développe généralement sur des substrats profonds et gréseux sous bioclimat subhumide et humide, tandis que le *Q. faginea* se trouve généralement sous forme de peuplements isolés sous un bioclimat subhumide ou semi-aride sur des substrats gréseux ou calcaires, et dont la sous-espèce *faginea* semblerait être le résultat d'une adaptation aux conditions climatiques les plus rustiques, à la fois sèches et froides.

Les traits liés au type de tomentum s'avèrent être très stables et les plus utiles pour la distinction entre *Q. canariensis* et *Q. faginea*, tandis que les traits liés à la forme du limbe associée à diverses données quantitatives notamment la taille des feuilles permet la distinction entre les deux sous-espèces de cette dernière. Nous pouvons ainsi proposer pour l'Algérie la clé suivante, basée sur le modèle de Quézel et Santa (1962) avec secteurs phytogéographiques modifiés selon Meddour (2010) :

- 1) Face inférieure des feuilles, pétioles et bourgeons à tomentum rapidement caduc, ne persistant que près de la base du limbe, le reste devenant glabrescent ; feuilles grandes et très majoritairement plus larges que 4 cm, à lobes grands (2-4 cm) et sinus profonds (1,5-3,5 cm). – AC dans les forêts des montagnes du Tell à l'E d'Alger, R ailleurs (Ouarsenis, monts de Tlemcen) – Ouest-Méd. – Chêne Zéen, «Zehn», «Tacheta» – (= *Q. faginea* subsp. *baetica* (Webb) Maire) – ***Q. canariensis*** Willd.
- 2) Face inférieure des feuilles, pétioles et bourgeons à tomentum persistant jusqu'à la chute ; feuilles plus petites et très majoritairement larges de moins que 4,5 cm, à lobes petits (1,5-2,5 cm) et sinus peu profonds (1-2 cm). – Ibéro-Maur. – Chêne Faginé, «Tacheta» – ***Q. faginea*** Lam.
  - a) Feuilles à contour crénelé (lobes arrondis), dépassant majoritairement 6 cm de long par 3,5 cm de large ; bourgeon terminal majoritairement plus long que 4 cm. – AR : O3, dans les forêts des montagnes du Tell Oranais – (= subsp. *tlemcenensis* (A.DC.) Greuter et Burdet) – subsp. ***broteroi*** (Cout.) A.Camus
  - b) Feuilles à contour denté (lobes aigus), majoritairement inférieures à 6 cm de long et 3,5 cm de large ; bourgeon terminal majoritairement moins long que 4 cm. – RR : AS3 (Aurès), C2 (monts du Hodna, disparu ?) – (= var. *microphylla* (Trab.) Maire) – subsp. ***faginea***

## CHAPITRE 3 - Étude morphométrique : application de la Morphométrie géométrique basée sur la configuration des points repères (*Landmarks*)

### 1. Introduction

Comme nous l'avons évoqué précédemment, la classification systématique des taxons du genre *Quercus* se fait classiquement à l'aide des analyses morphologiques et morpho-anatomiques des organes floraux et des feuilles (e.g. Battandier & Trabut 1890, Camus 1936-1954, Maire 1961), et des analyses micromorphologiques (e.g. Schwarz 1936, Llamas et al. 1995, Tschan & Denk 2012). Cette méthode morphologique dite "traditionnelle" (cf. Dean et al. 2004) consiste à mesurer les distances linéaires entre différents points en vue d'analyser les variations de formes au sein et entre les populations investiguées, en mettant en application les analyses statistiques descriptives multivariées (Blackith & Reyment 1971). Cependant, la forte corrélation entre les distances linéaires et la taille des échantillons (Bookstein 1986) rend difficile la discrimination entre les taxons (Jensen 1990, Kremer et al. 2002). Cela montre que les points linéaires ne préservent pas la géométrie de l'objet étudié, et donc incapable de produire une représentation graphique de ce dernier (Dean et al. 2004).

Pour pallier ces difficultés, de nouvelles techniques morphométriques - appelées désormais "Morphométrie Géométrique (MG)" - ont été développées, afin de visualiser, d'étudier et de comparer les variations morphologiques entre les espèces, tout en conservant l'intégralité de l'information géométrique des objets (Rohlf & Marcus 1993, Kendall 1984, 1985, 1989, Bookstein 1996). L'association des techniques traditionnelles et morphométriques nous permettra de mieux examiner les relations existantes entre les différentes espèces et de parvenir également à une meilleure compréhension des variations morphologiques au sein et entre les espèces, améliorant en conséquence les études taxonomiques, phylogéniques et écophysiological futures (Viscosi et al. 2009a).

Dans cette optique, les travaux menés sur les chênes blancs du sous-genre *Quercus* indiquent l'importance de ces méthodes qualifiées "révolutionnaires" (Rohlf & Marcus 1993) et montrent ainsi des différences significatives entre les espèces examinées et une position morphologique intermédiaire pour les feuilles des hybrides (Viscosi et al. 2009a, 2009b, Albarrán-Lara et al. 2010, Peñaloza-Ramirez et al. 2010, Viscosi & Fortini 2011). Ceci a été fait sans avoir eu recours aux traits qualitatifs, considérés par certains auteurs comme étant nécessaires pour la discrimination interspécifique (Bruschi et al. 2000, Kremer et al. 2002).

En Algérie, les forêts et les formations de chênes du sous-genre *Quercus* sont représentées par le complexe *Quercus faginea*, qui regroupe un ensemble de formes difficilement séparables entre elles et dont l'histoire taxonomique est très complexe (cf. chapitre 1). Les résultats de notre étude morphologique et micromorphologique sur ce complexe montrent que les peuplements analysés (13 peuplements répartis sur l'ensemble de son aire de répartition) appartiennent à deux espèces : *Quercus faginea* Lam. et *Quercus canariensis* Willd. et révèlent ainsi des formes intermédiaires et des variations significatives en termes de taille et de forme à l'intérieur et entre les deux groupes (chapitre 2).

Les deux espèces montrent une répartition contrastée ; *Q. canariensis* couvre des superficies très importantes (Trabut 1892, Maire 1961, Messaoudène 1996, Meddour 2010), où il forme souvent de grands peuplements localisés essentiellement de l'extrême est jusqu'au centre du pays. Un autre peuplement aussi restreint et assez isolé se rencontre à l'extrême ouest du pays, dans les monts du Tlemcen (forêts de Hafir et Zarifet). *Q. faginea* se trouve par contre dans quatre localités en Algérie sous forme de peuplements isolés, généralement en mélange avec d'autres espèces (cf. chapitre 2). Ces deux chênes ne partagent pas la même distribution biogéographique à l'exception de la région de Tlemcen où ils se trouvent très proches l'un de l'autre (fig. I.5, chapitre 2).

Nous visons donc à travers ce travail à appliquer la morphométrie géométrique plus particulièrement les points repères dans la systématique du sous-genre *Quercus* en Algérie, tout en examinant les relations morphométriques existantes entre *Q. canariensis* et *Q. faginea*, et en investiguant ainsi d'éventuelles formes intermédiaires entre les deux espèces.

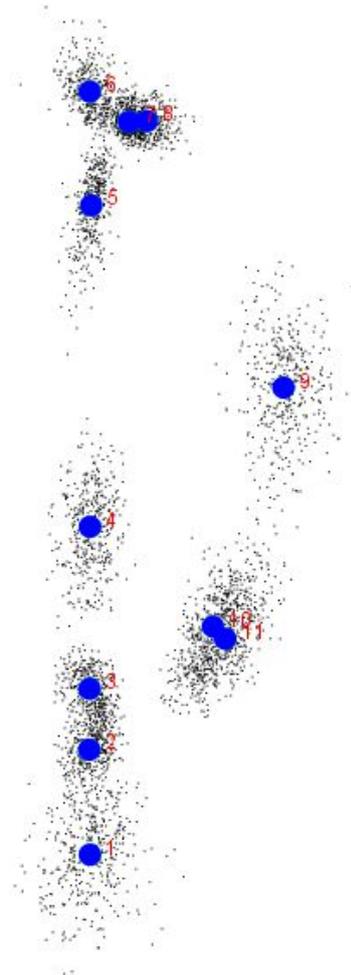
## **2. Matériel et méthodes**

### **2.1. Matériel végétal**

Le matériel végétal (des feuilles) utilisé pour l'étude morphologique et micromorphologique (chapitre 2) est le même qu'on a utilisé pour ce travail. Néanmoins, un tri complémentaire a été effectué afin d'éliminer toutes les feuilles portant des anomalies morphologiques, pour obtenir à la fin de la procédure dix feuilles par arbre. Un fichier de format tps (.tps) portant l'ensemble des images des feuilles scannées a été créé par le biais de logiciel tpsUtil v1.67 (Rolf 2016), pour assurer une numérisation complète et continue des points repères sur l'ensemble des feuilles. On utilisant le logiciel tpsDig2 v.2.26 (Rolf 2016), 11 points repères ont été digitalisés dans le même ordre sur la moitié droite de chaque feuille (fig. I.10), après avoir établi une échelle uniforme pour l'ensemble des images (Viscosi & Cardini 2012, pour la définition des points repères, voir viscosi et al. 2009a). Avant d'adopter ce protocole de points repères, plusieurs combinaisons ont été testées dans le but de savoir laquelle entre elles mieux représente la morphométrie des deux espèces analysées (Viscosi et al. 2009a, Viscosi et al. 2009b, et des combinaisons personnelles). À la fin de la numérisation, un fichier (.tps) portant toutes les informations géométriques des feuilles a été créé.

### **2.2. Analyses statistiques**

Avant de procéder à l'analyse statistique des données, des opérations préliminaires doivent être effectuées, car le type d'analyse utilisé (analyse statistique descriptive) ne fonctionne que si les données examinées sont dans l'espace euclidien (espace plat) (Dryden & Mardia 1993, 1998, Kent & Mardia 2001) :



**Figure I.10** - Positionnement et répartition des points repères (*landmarks*). À gauche, la numérisation des points repères sur les feuilles ; à droite, la superposition procrustéenne (*New procrustes fit*) des coordonnées de toutes les feuilles examinées ; points bleus : configuration moyenne (*consensus*) des points repères ; points noirs : position de chaque feuille.

Une approximation de l'espace Procrustéen de forme '*Procrustes shape space*' par l'espace tangent (l'espace euclidien) a été établie en utilisant le logiciel tpsSmall v1.33 (Rolf 2016). Cette opération consiste à effectuer un ajustement de l'ensemble des distances euclidiennes sur les distances procrustéennes de forme. L'approximation est considérée comme étant excellente lorsque la pente et la corrélation de régression sont pratiquement égales à '1' (cf. Bookstein 1991) (fig. I.11). Une superposition procrustéenne des données a été réalisée en utilisant la méthode d'ajustement procrustéenne total '*full Procrustes fit*' (Dryden & Mardia 1998), via le logiciel MorphoJ v1.06d (Klingenberg 2011). Dans cette opération, la taille et la forme ont été séparées et l'espace forme Procrustes a été projeté orthogonalement sur l'espace tangent. Ainsi, les effets liés à la position et à la rotation des échantillons ont été éliminés et l'ensemble des configurations (coordonnées géométriques des points repères) a été mis à l'échelle à une unité commune pour la taille du centroïde '*centroid size*'. Le résultat est une représentation graphique de la position (après superposition) individuelle des feuilles autour de la configuration moyenne (*consensus*)

des points repères (fig. I.11). Une fois que les variations de non-forme ont été éliminées, l'analyse statistique comparative et la représentation graphique des formes deviennent faisables (Dryden & Mardia 1998, Rohlf 1990, Dean et al. 2004). En utilisant le logiciel MorphoJ, une dernière vérification a été effectuée afin de détecter et d'éliminer les spécimens inhabituellement éloignés de la moyenne et les anomalies produites durant la numérisation (la répétition et le mauvais positionnement des points repères), en utilisant la distance Mahalanobis au carré (*Mahalanobis distance squared*) (Klingenberg & Monteiro 2005) (fig. I.11). Une matrice de covariance (*Covariance Matrix*) a été générée sur la base des coordonnées Procruste de conformation '*Procrustes shape coordinates*' (résultats de la superposition procrustéenne des données). Une analyse en composante principale (ACP) sur la base de la matrice de covariance a été exécutée via MorphoJ. Dans un deuxième temps, et afin de remédier le problème de la variabilité morphologique intra-arbre (Jensen 1990), les feuilles de chaque arbre ont été traitées pour créer une configuration de feuille moyenne '*mean leaf configuration*' (Viscosi et al. 2009a). Dans cette nouvelle configuration, le nombre des feuilles a été réduit à 130 feuilles (à raison d'une feuille pour chaque arbre). Sur la base de cette configuration, une deuxième ACP a été exécutée.

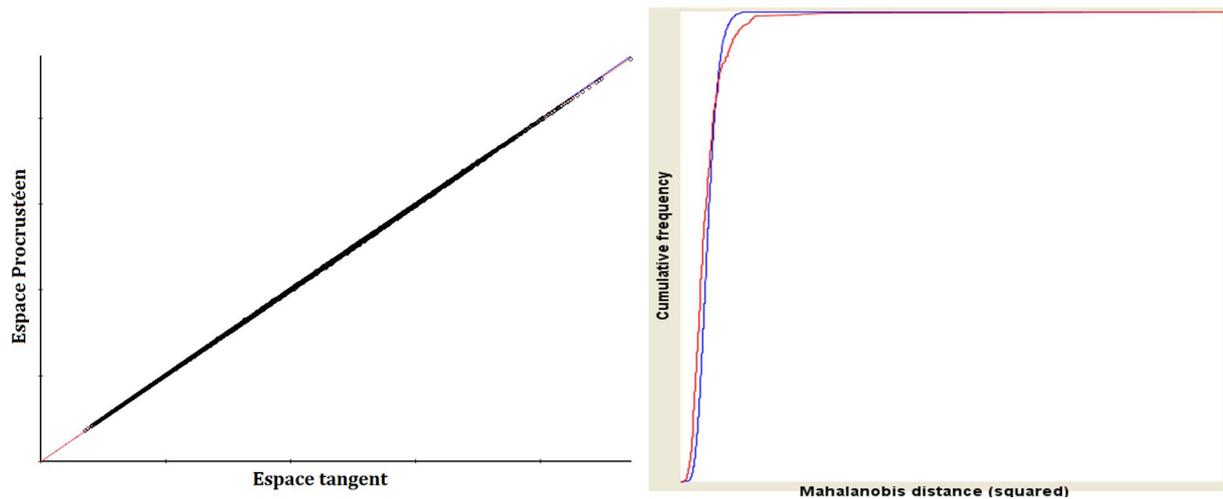
### **3. Résultats**

#### **3.1. Approximation de l'espace Procrustéen par l'espace tangent**

Bien que nombreux auteurs notent que la distance entre l'espace Procrustéen de forme '*Procrustes shape space*' et l'espace tangent est généralement très petite (cf. Rohlf 1990) et que pour la majorité des études précédentes, l'approximation des données avoisine le '1' (Dean et al. 2004). Il convient cependant de vérifier la variation entre les deux espaces afin d'assurer que l'approximation de l'espace tangent pourrait être utilisée (Viscosi & Cardini 2012). Ainsi, l'approximation de nos données dans l'espace tangent montre que la pente de la droite de régression est pratiquement égale à 1 ( $r^2 = 0.999996$  avec une corrélation de 1.000000) (fig. I.11).

#### **3.2. Analyse en composante principale (ACP)**

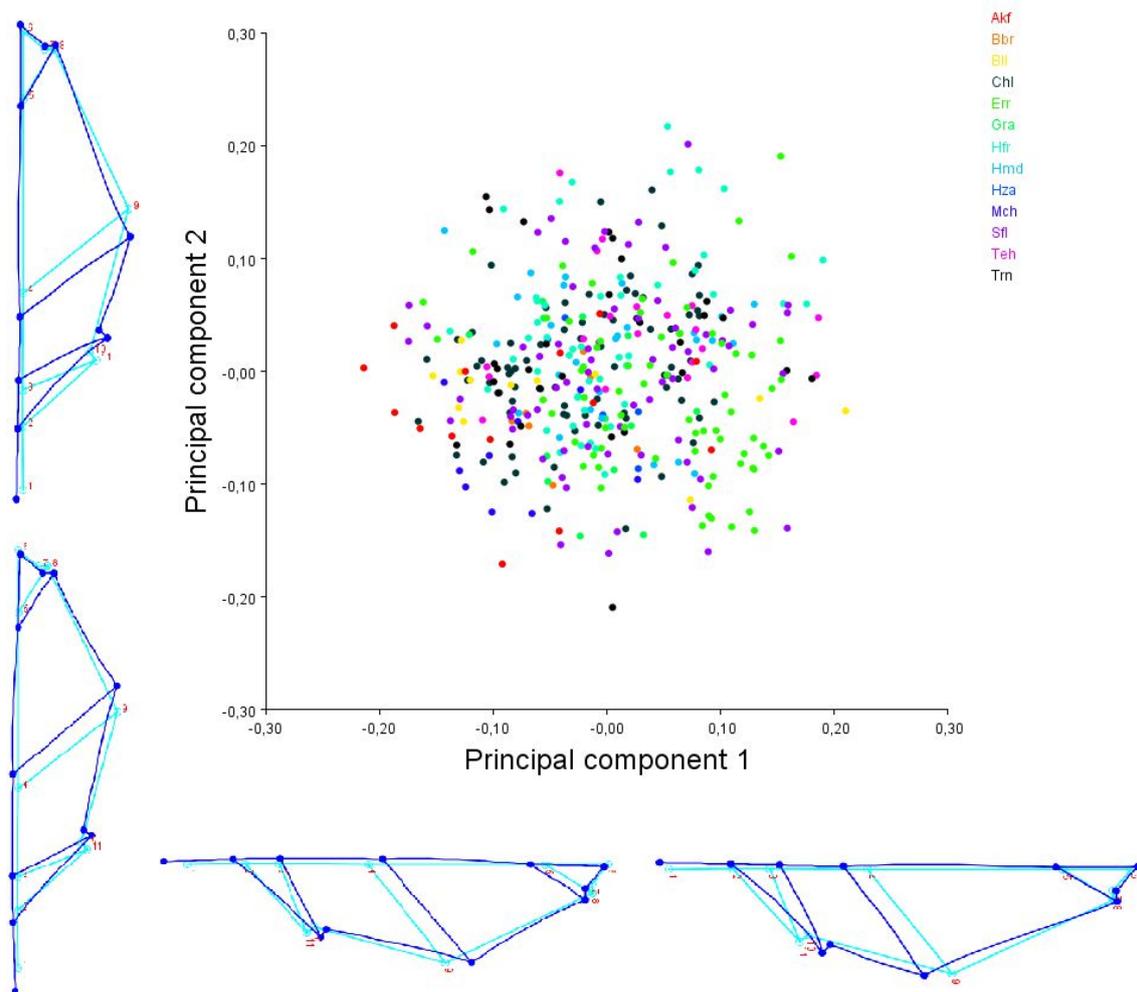
Les figures (I.12 & I.13) présentent les résultats des deux premières composantes (les axes 1 et 2 expliquent respectivement 36.60% et 28.95% de variation) de l'ACP effectuée pour l'ensemble des feuilles examinées (fig. I.12), ainsi que les deux premières composantes de l'ACP (les axes 1 et 2 expliquent respectivement 26.40% et 15.24% de variation) effectuée sur la base de la configuration de feuilles moyennes '*mean leaf configuration*' (fig. I.13). Pour les deux digrammes, la tendance des points de nuage montre des fortes corrélations entre les différents peuplements examinés. En effet, les feuilles des peuplements préclassifiés en tant que *Q. faginea* se chevauchent complètement avec celles du *Q. canariensis*. Cette similarité est aussi indiquée par les graphes de conformations (*Wareframe Graph*) qui ne montrent pas de différenciation morphologique de forme entre les différents peuplements et espèces analysés (fig. I.12 & I.13).



**Figure I.11** - La projection des données dans l'espace tangent. À gauche, la courbe de régression de l'espace Procrustéen de forme '*Procrustes shape space*' par l'espace tangent (l'espace euclidien). À droite, le diagramme comparatif de la distribution cumulative des distances de chaque individu traité par rapport à la forme moyenne générale ; courbe bleue : présente la courbe théorique de la distribution ordinaire multivariée ajustée aux données ; courbe rouge : présente la distribution des distances des observations.

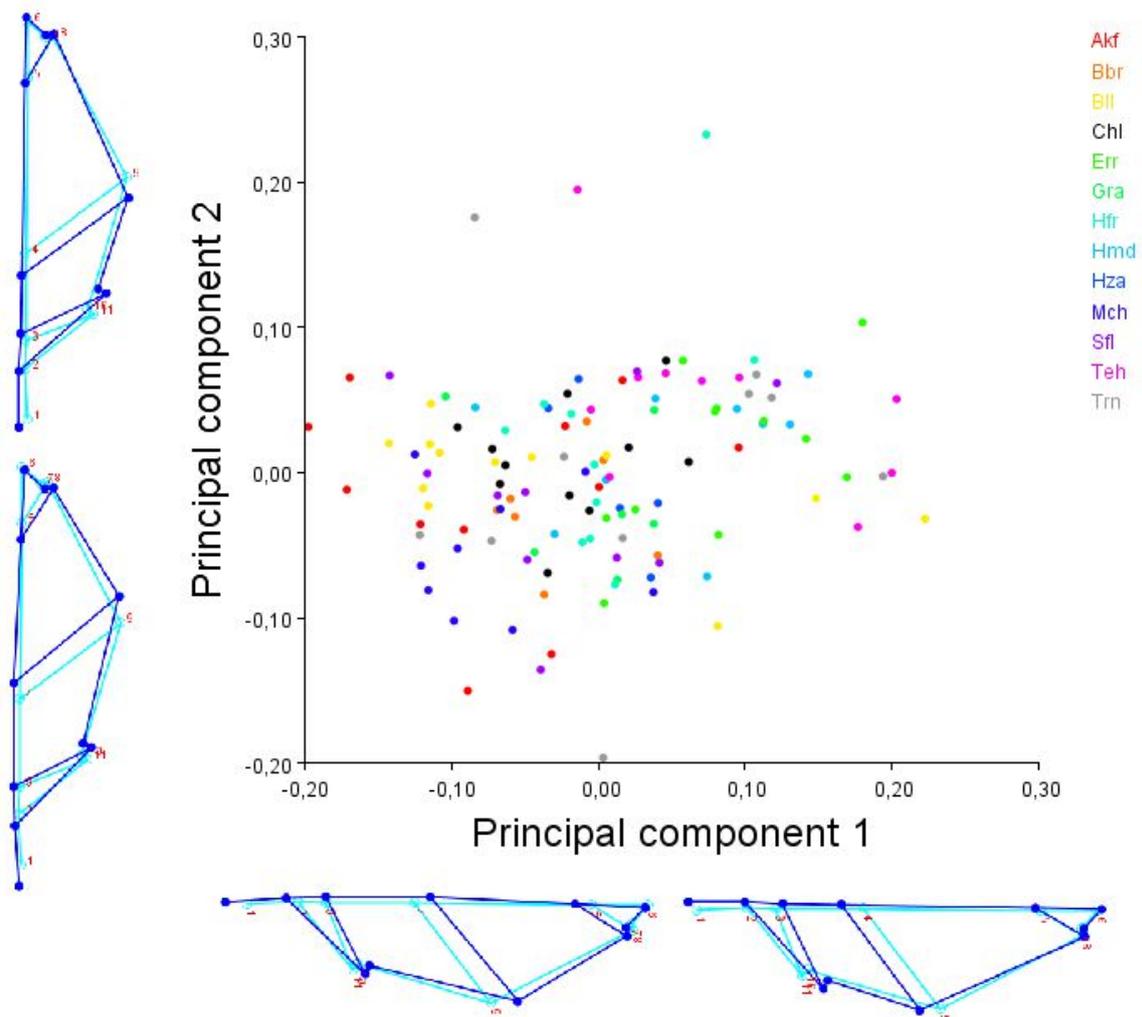
#### 4. Discussion

Contrairement aux diverses études morphométriques indiquant une grande préférence de mettre en évidence des différences significatives entre diverses espèces de chênes rouges d'Amérique du Nord (Jensen et al. 1993), de chênes blancs d'Europe (Viscosi et al. 2009a, b, Viscosi et al. 2010, Viscosi & Fortini 2011, Viscosi 2015), multiples chênes mexicains (Albarrán-Lara et al. 2010, Peñaloza-Ramirez et al. 2010) et entre deux chênes sympatriques en Chine (Liu et al. 2018), les résultats obtenus ne permettent pas une discrimination morphologique entre les deux espèces analysées. Ils ont cependant permis de souligner une corrélation positive entre ces deux chênes et de mettre ainsi en lumière une grande similarité morphologique de la forme des feuilles, la raison principale pour laquelle les botanistes ont rencontré des difficultés au cours du temps dans la désignation taxonomique des peuplements du complexe *Quercus faginea* Lam. (s.l) (cf. chapitre 1). Nos résultats font ainsi contraste avec ceux obtenus par Viscosi et al. (2009b) démontrant que l'utilisation de la configuration de feuilles moyennes peut remédier le manque d'une différence significative à l'intérieur et entre les espèces analysées.



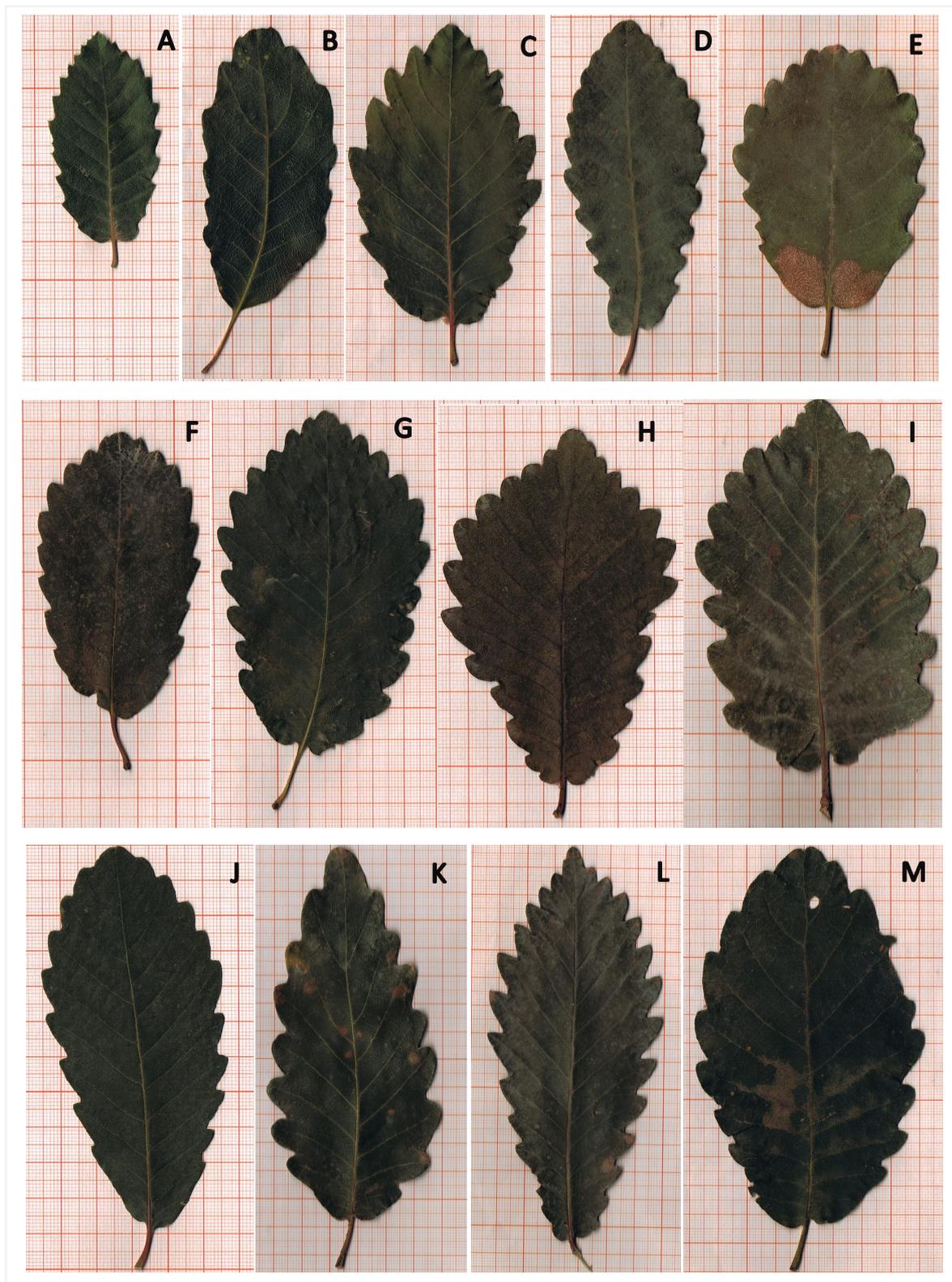
**Figure I.12** - Diagramme des deux premiers axes de l'analyse en composante principale (ACP) effectuée sur la totalité des feuilles analysées. Les graphes de conformations (*Wareframe Graph*) montrent les traits morphologiques des feuilles le long des deux axes.

Admettant l'efficacité et l'efficience de la combinaison des points repères utilisée, nous pourrions alors supposer que la variabilité morphologique observée entre les peuplements des deux espèces s'explique principalement par une variation de la taille de leurs feuilles (chapitre 2). En fait, ces peuplements manifestent une diminution progressive et graduelle de la taille de leurs feuilles (fig. I.14). Cette tendance caractéristique d'est en ouest et du nord au sud est définie probablement par les variations environnementales et climatiques du milieu (Trabut 1982, chapitre 2). Ces derniers, et en particulier la sécheresse, sont communément connus pour engendrer une diminution de la taille des feuilles chez plusieurs plantes (Schimper 1903). Il en va de même pour le genre *Quercus*, dont Corcuera et al. (2002) constatent des feuilles à surface foliaire plus petite sur les chênes méditerranéens que sur les chênes des zones néborales et tempérées. Dans cet ordre, et sur la base d'une étude menée sur 76 espèces de chênes végétant sous les mêmes conditions dans un jardin botanique en Espagne, Gil-Pelgrín et al. (2017) remarquent que les chênes à feuilles persistantes des zones méditerranéennes et arides se caractérisent par des feuilles de faibles dimensions.



**Figure I.13** - Diagramme des deux premiers axes de l'analyse en composante principale (ACP) effectuée sur la base de la configuration de feuille moyenne 'mean leaf configuration' (130 feuilles). Les graphes de conformations (Wareframe Graph) montrent les traits morphologiques des feuilles le long des deux axes.

Les traits qualitatifs des feuilles, et en particulier le tomentum, sont connus pour leurs nombreuses fonctions chez plusieurs espèces du genre *Quercus* (cf. Tshan & Denk 2012, Gil-Pelgrín et al. 2017). Il s'agit notamment de la séparation interspécifique (Bruschi et al. 2000, Kremer et al. 2002) et le rôle du duvet de la face abaxiale des feuilles face aux conditions xériques du milieu (He et al. 2014). En effet, Gil-Pelgrín et al. (2017) montrent que la pubescence de la partie abaxiale des feuilles du genre *Quercus* est en relation avec les conditions climatiques de leurs habitats notamment la sécheresse, signifiant que les espèces prospérant dans des conditions de sécheresse se caractérisent par des feuilles généralement pubescentes. Selon les mêmes auteurs, les chênes à feuilles persistantes des zones arides et méditerranéennes ont tendance à avoir la pubescence la plus dense sur la partie abaxiale de leurs feuilles. Hardin (1979) souligne la présence d'une liaison entre les conditions du milieu et la pubescence des feuilles, et note ainsi que la densité de la pubescence des feuilles s'augmente au niveau intraspécifique sous l'effet de la sécheresse.



**Figure I.14** - Variation dimensionnelle des feuilles de *Q. faginea* (s.l) en Algérie. Les lettres sur les feuilles correspondent aux stations d'échantillonnages. À : Chélia ; B : Terni ; C : Hafir et Zarifet ; D : Baloul ; E : Safalou ; F : Thniet El Hed ; G : El Hamdania ; H : Errich ; I : Akfadou ; J : Babor K : Hamza ; L : Ghorra ; M : Machrouha. Les feuilles représentant la taille moyenne pour chaque station ont été prises en compte. Pour la situation géographique des stations, voir chapitre 2.

À l'opposé, Tshan & Denk (2012) suggèrent que l'aspect caduc des poils du tomentum des feuilles de *Q. canariensis* est probablement lié au fait qu'elle avait développée dans des conditions mésiques.

Ces constats semblent démontrer que *Q. faginea* et *Q. canariensis* partagent les mêmes caractéristiques morphologiques des feuilles (mis à part leur taille) et proposent désormais qu'ils possèdent probablement un ancêtre commun. La réduction de la taille et le caractère persistant du tomentum des feuilles parmi d'autres traits de *Q. faginea* pourraient être des formes d'adaptation aux conditions climatiques et environnementales, dont l'origine paléogéographique de l'espèce dévoile qu'elle fait probablement partie des descendants des chênes de la flore arcto-tertiaire qui se sont adaptés aux conditions xériques méditerranéennes (Gil-Pelgrín et al. 2017 et les références y contenues).

## **5. Conclusion**

Les résultats de l'analyse morphologique et micromorphologique dite classique indiquent que les peuplements du complexe *Quercus faginea* Lam. se subdivisent en deux groupes bien distincts (*Q. canariensis* et *Q. faginea* et les taxons que contient ce dernier). Inversement, l'analyse de la morphométrie géométrique ne permet pas de distinguer entre les deux espèces en termes de forme, et met ainsi en évidence une similarité morphologie entre les différents peuplements analysés. Ces constats renforcent l'hypothèse arborant le fait que les deux espèces proviennent probablement un ancêtre commun. Il paraît ainsi que *Q. faginea* est probablement le résultat d'une adaptation aux conditions xériques du climat méditerranéen.

### CHAPITRE 1- Étude de la germination des glands de chêne faginé en Algérie

Les résultats de ce chapitre ont fait l'objet d'une publication internationale dans la revue *Plant Ecology and Evolution* 15x (x) : xx-xx, 2019, sous l'intitulé : **Le chêne faginé (*Quercus faginea*, Fagaceae) en Algérie : potentiel germinatif et variabilité morphologique des glands et des semis.**

DOI: <https://doi.org/10.5091/plecevo.2019.1553>

#### 1. Introduction

Le chêne faginé (*Q. faginea*) représente un intérêt patrimonial, écologique et taxonomique incontestable en Algérie, malheureusement l'espèce est très menacée par une action anthropique accrue due au pâturage intense et à l'ébranchage qui ont pour conséquences l'affaiblissement des arbres et une faible régénération naturelle (Abdessemed 1985). À cela s'ajoute le fait qu'une grande partie de ces populations est constituée par de vieux et gros arbres essentiellement. En effet plus particulièrement à Chélia, son caractère caduc rend cette espèce très appréciable et utile pour l'homme afin d'assurer les besoins de son bétail (Aissi, observations personnelles). De plus, une grande quantité des glands de cette espèce dans la région sont consommés par la faune sauvage notamment le sanglier. Cette action conjuguée affecte négativement et d'une manière directe et intensive son processus de régénération naturelle, ce qui menace gravement sa pérennité (Aissi, observations personnelles).

Face à cette situation inquiétante, la préservation de cette espèce exige indéniablement le recours à la régénération assistée qui requiert de sa part une évaluation et une compréhension approfondies du potentiel germinatif et de croissance des glands et des contraintes liées à sa réussite en reboisement. En effet, la réussite des plantations dépend intimement de la morphologie des plants produits (Trubat et al. 2010). La qualité et la quantité de ces plants sont déterminées par le potentiel germinatif et productif des glands, qui quant à eux sont influencés chez le genre *Quercus* par la diversité génétique des provenances (Farmer 1980, Lamhamedi 2000), les différences climatiques entre les provenances (Baquedano et al. 2008, Bonito et al. 2011) et les variations de taille des glands à l'intérieur et entre les provenances d'espèces (Bonner 1987). De même, certains traitements des glands, tels que l'enlèvement des péricarpes, sont connus pour améliorer la germination chez plusieurs espèces (Schopmeyer 1974, Lamond 1978, Hopper 1982, Adams & Farrish 1992, Koumiche & Benmahiou 2016), un phénomène qui s'explique par une levée de la dormance maintenue par le péricarpe (Jones & Brown 1966, Bonner 1968, Hopper et al. 1985). Cette méthode s'avère être utile et pratique pour avoir un taux maximal de germination, plus particulièrement dans le cas où le nombre des glands est limité (Adams & Farrish 1992).

De nombreuses études ont été réalisées sur la variabilité morphologique des glands et des semis de certaines espèces du genre *Quercus* (Dupouey & Le Boulter 1989, Mercier & Rainville 1996, Tilki & Alpetkin 2005, Bonito et al. 2011, Caliskan 2014, Zine El Abidine 2016, Sarir & Benmahioul 2017). Quant au chêne faginé en Algérie, et malgré son importance écologique et les menaces qui guettent sa pérennité, sa régénération et sa capacité de produire des plants demeurent très peu connues. De ce fait, l'objectif de ce travail est de contribuer à l'étude de la variabilité morphologique des glands et des semis et d'évaluer le potentiel germinatif à l'échelle de l'Algérie. Également, cette étude vise à examiner l'influence des prétraitements physiques sur le potentiel germinatif et le développement ultérieur des semis.

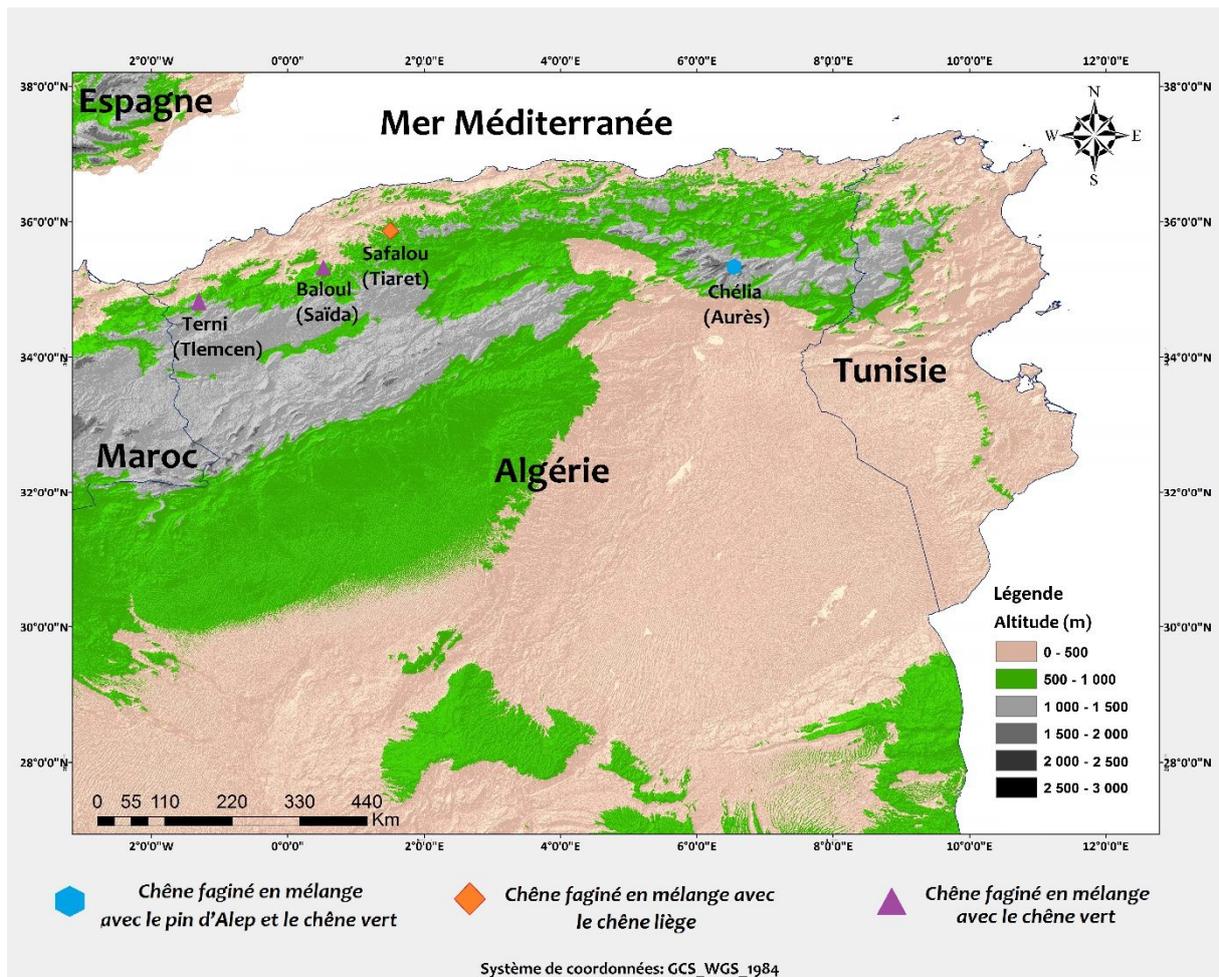
**Tableau II.1 - Caractéristiques écologiques des stations de répartition de *Quercus faginea* Lam. en Algérie.** La localisation géographique (longitude et latitude) est indiquée en degrés décimaux.

Station	longitude	latitude	altitude (m)	pluviométrie (mm)	bioclimat	substrat
Chélia	N 35,3592	E 06,6219	1200-1700	362-533	semi-aride	marno-calcaire
Safalou	N 35,3827	E 01,1833	950-1100	620	sub-humide frais	grés
Baloul	N 35,0261	E 0,4342	850	430	semi-aride	grés
Terni	N 34,7774	E 01,3435	1300-1350	688	subhumide frais	calcaire

## 2. Matériel et Méthodes

### 2.1. Ecologie des stations

*Quercus faginea* est connu sous le nom berbère de *Tacheta* en Algérie ; il se développe entre 850 et 1700 m d'altitude dans l'étage supra-méditerranéen et montagnard méditerranéen et sous un bioclimat semi-aride ou subhumide. Les précipitations moyennes annuelles varient de 362 à 688 mm/an selon les stations (Seltzer 1946, Schoenenberger 1972, Gaouar 1980) (tableau II.1 & fig. II.1). Il se rencontre à l'est du pays dans les montagnes de Chélia ainsi qu'à l'ouest (Safalou, Baloul, et Terni), souvent en mélange avec d'autres espèces où il ne forme pas de véritables peuplements (tableau II.1, fig. II.1). À Chélia, il se développe sur des substrats marneux et marneux-calcaires entre 1200 et 1700 mètres d'altitude et se contente d'une pluviométrie moyenne annuelle qui varie entre 362 et 533 mm. L'espèce se rencontre essentiellement dans les ravins, généralement associée avec le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.), le chêne vert ou encore, plus rarement, avec le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière) (fig. II.1). Dans cette région, le chêne faginé se retrouve par pieds isolés principalement dans des terrains privés utilisés principalement pour l'agriculture. La hauteur des arbres dépasse souvent les quinze mètres. En revanche la proportion la plus importante de jeunes sujets se trouve principalement dans les forêts mixtes de pin d'Alep et de chêne vert.



**Figure II.1** - Localisation des stations de *Quercus faginea* en Algérie (carte générée avec Quantum GIS 2.8.11 (Quantum GIS Development Team, 2016).

À l'ouest du pays, le chêne faginé se rencontre à Safalou entre 950 et 1100 mètres d'altitude sur des substrats gréseux, généralement sous forme de pieds isolés en mélange avec le chêne liège (*Quercus suber* L.) (fig. II.1). La hauteur moyenne des arbres est de huit mètres et le nombre des individus n'excède pas 300 dans cette station. Les précipitations moyennes annuelles dans la région sont de l'ordre de 620 mm/an (Seltzer 1946). Dans la station de Baloul, le chêne faginé pousse en pieds isolés à 850 m d'altitude, uniquement le long des ravins sur des substrats gréseux, accompagné parfois du chêne vert (fig. II.1). Il se contente d'une pluviométrie moyenne annuelle de l'ordre de 430 mm/an (Seltzer 1946, Gaouar 1980). Les arbres rencontrés dans la région ont des tailles très importantes dépassant souvent les quinze mètres. Pareillement, à Terni, il pousse uniquement le long des ravins et est accompagné de chêne vert (fig. II.1) ; il se développe sur des substrats calcaires sur une tranche altitudinale comprise entre 1350 et 1500 m, avec une précipitation annuelle de 688 mm/an (Trabut 1892, Seltzer 1946). La hauteur moyenne des arbres est de quatre à cinq mètres.

## 2.2. Échantillonnage des glands

Les essais de germination menés durant ce travail à l'Université Batna1 ont été effectués avec des glands mûrs de chêne faginé (*Quercus faginea* Lam.) récoltés durant le mois

d'octobre 2017 sur quatre stations de l'espèce en Algérie (Chélia, Safalou, Baloul et Terni) (fig. I.2, chapitre 1). Dix arbres par station ont fait l'objet de récolte de glands, chacun d'entre eux représenté par 100 glands. Les arbres ont été choisis au hasard en respectant un espacement d'au moins 300 m, afin d'échantillonner une variabilité génétique maximale.

Au laboratoire, les glands ont été séparés dans un premier temps par arbre et par station d'origine, puis nettoyés et triés par test de flottation à l'eau ordinaire, les glands non viables (flottants) ont été éliminés (Dupouey & Le Boulter 1989).

### **2.3. Biométrie des glands**

Avant de procéder à la mise en germination des glands, leur variabilité morphologique à l'intérieur et entre les stations d'études a été examinée. Le poids (P), la longueur (Lg), la largeur (lg), et le rapport longueur/largeur (Lg/lg) ont été mesurés pour les glands viables de chaque arbre (50 glands/arbre) à l'aide d'une balance de précision et d'un pied à coulisse numérique (Tilki & Alpetkin 2005). Les valeurs moyennes des traits phénotypiques ont été examinées par analyse de variance au niveau intra et inter-stationnel ; un test de Tukey au seuil de 5% a été appliqué pour identifier les différences significatives entre moyennes des arbres mères et des stations, respectivement.

### **2.4. Variabilité du potentiel germinatif des glands et influence de prétraitements physiques sur la germination**

Afin d'étudier la variabilité du potentiel germinatif à l'intérieur et entre les stations et pour examiner l'influence de prétraitements physiques sur le potentiel germinatif des glands, les glands précédemment mesurés ont été divisés en cinq lots de 10 glands par arbre afin de les soumettre à cinq prétraitements expérimentaux dont un témoin (Lamond 1978) (au total l'expérience comportait 5 lots  $\times$  10 glands/arbre  $\times$  10 arbres/station  $\times$  4 stations) : Témoin sans prétraitement (T) ; immersion des glands dans l'eau ordinaire pendant 48h (I48) ; immersion des glands dans l'eau ordinaire pendant 48h suivi d'un enlèvement des péricarpes (I48 - AE) ; l'enlèvement des péricarpes des glands (AE) ; enlèvement des péricarpes suivi d'immersion des glands dans l'eau ordinaire pendant 48h (AE - I48). Ces prétraitements visent à favoriser l'hydratation des glands suite aux travaux de Levert (1977), qui souligne une forte corrélation entre la teneur en eau des glands et leur vitesse de germination.

Les glands de tous les prétraitements ont été mis à germer simultanément durant l'automne en conditions lumineuses naturelles et à  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  dans des plaques de germination contenant de la terre végétale humide (arrosage effectué tous les deux jours) (fig. II.2). La germination a été suivie pendant 30 jours, avec un comptage bi-journalier des glands germés. On considérait comme germés les glands qui manifestaient un géotropisme positif avec une radicule allongée d'au moins 2 mm (Côme & Corbineau 1998) (fig. II.1). Les résultats obtenus nous ont permis de calculer le taux de germination (G %) ; le temps de latence (TL) qui correspond au délai (nombre de jours) entre le jour de semis et le moment où les premiers glands commencent à germer ; et la vitesse de germination (T50) qui correspond au nombre de jours nécessaire pour que la

germination atteint 50% (Côme 1970, Côme & Corbineau 1998). L'effet des prétraitements sur la germination a été examiné par analyse de la variance à l'intérieur et entre les stations et les différences entre les moyennes ont été évaluées par un test de Tukey au seuil de 5%.



**Figure II.2** - Étapes de germination des glandes dans les planches. À gauche : remplissage des planches et mise en germination des glands. À droite : germination des glands 'frais' et levée de quelques semis (Novembre 2018).

### **2.5. Croissance et phénotype des semis**

Dans le but d'examiner la variabilité de la croissance des semis et d'évaluer l'influence des prétraitements physiques sur le développement ultérieur des semis aux niveaux intra- et inter-stationnels, les glands germés ont été repiqués dans des sachets en polyéthylène remplis d'un mélange contenant 2/3 de terre végétale, et 1/3 de sable (fig. II.3). Les sachets ont été placés à l'air libre et ont été arrosés trois fois par semaine (fig. II.3). La croissance des semis a été suivie pendant six mois en mesurant la hauteur des épicotyles (HE) et en comptant le nombre moyen de feuilles par semis (NFS) tous les deux jours. Après six mois, les traits phénotypiques suivants ont été relevés à l'aide d'une règle graduée et d'une balance de précision : la longueur des racines (LR), la surface foliaire moyenne par feuille (SF), le poids frais et après séchage (le séchage a été effectué dans une étuve à 65°C pendant 48h) de la partie aérienne et racinaire [PFR: poids moyen frais des racines, PFF: poids moyen frais du feuillage (feuille et tige), PSR: poids moyen sec des racines, PSF: poids moyen sec du feuillage], le poids approximatif moyen sec par feuille qui correspond au poids moyen sec du feuillage / nombre moyen de feuilles par semis (PFS), le poids approximatif moyen frais par feuille qui correspond au poids moyen frais du feuillage / nombre moyen de feuilles par semis (PF) (Thompson 1985, Zine El Abidine 2016). Aussi, les rapports suivants ont été calculés : le poids moyen frais des racines/poids moyen frais du feuillage (PFR/PFF), le poids moyen sec des racines/poids moyen sec du feuillage (PSR/PSF), la surface foliaire spécifique (SFS) qui correspond au rapport entre la surface foliaire moyenne par feuille (SF) et le poids approximatif moyen sec des feuilles (PFS), et le taux de mortalité (TM). Le test de Tukey au seuil de 5% a été utilisé pour identifier les différences significatives entre les moyennes des caractères de croissance des semis évalués à l'intérieur et entre les stations.



**Figure II.3** - Phases de préparation des sachets en polyéthylène. À gauche : remplissage des sachets de mélange de la terre végétale et du sable. À droite : développement des semis après repiquage dans les sachets (janvier 2018).

## 2.6. Analyses statistiques

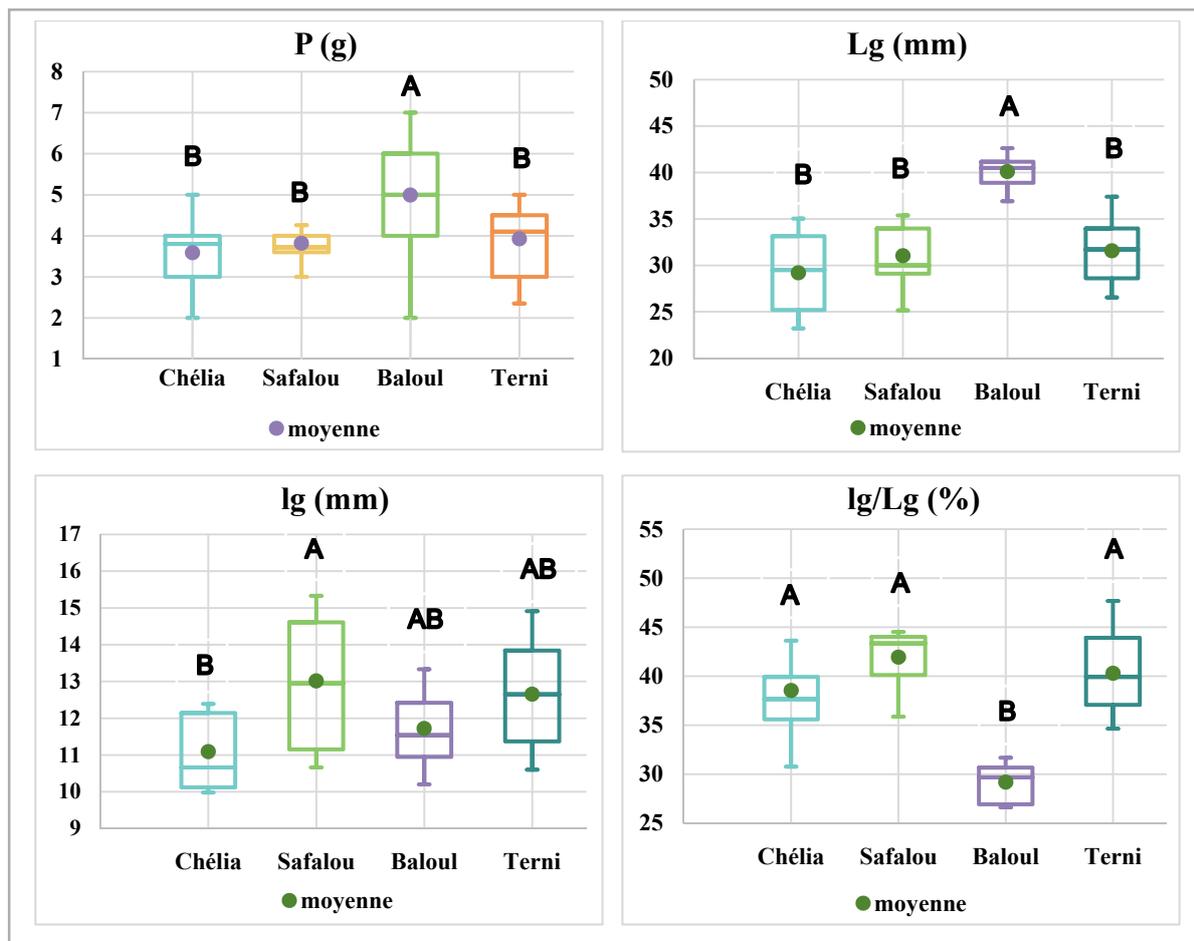
Le traitement statistique des données a été effectué avec le logiciel XLSTAT Version 2016 (Addinsoft 2016). Les différentes analyses de la variance (ANOVA) ont été utilisées pour étudier la variabilité morphologique et germinative des glands du chêne faginé, pour examiner la variabilité de la croissance des semis et pour évaluer l'influence des prétraitements physiques sur le potentiel germinatif et le développement ultérieur des semis. Des tests de corrélation de Pearson ont été réalisés entre les caractères phénotypiques et germinatifs des glands et entre les caractères phénotypiques des glands et ceux de croissance des semis. Les seuils de significativité de ces tests multiples ont été corrigés par la méthode de Bonferroni (Bollen 1989).

## 3. Résultats

### 3.1. Biométrie des glands

Au niveau intra-stationnel, les traits phénotypiques des glands montrent des différences significatives ( $P < 0.05$ ) entre arbres à la station de Chélie pour la largeur des glands (lg), et pour le rapport largeur / longueur (lg/Lg). L'arbre 9 a des glands significativement plus larges et un rapport lg/Lg plus grand que les autres arbres (tableau II.2). À la station de Baloul, le poids, la largeur et la longueur des glands diffèrent significativement entre arbres, le poids moyen des glands variant d'un facteur de plus de deux entre arbres (de 2,66 à 6,51 g, tableau II.2). Aucune différence significative entre arbres n'a été enregistrée en sein des stations de Safalou et Terni (tableau II.2).

Tous les traits des glands montrent des différences significatives ( $P < 0.05$ ) entre stations. Les glands de la station de Baloul ont un poids (P) et une longueur (Lg) supérieurs, et un rapport largeur/longueur (lg/Lg) inférieurs à ceux des autres stations (fig. II.4).



**Figure II.4** - Diagrammes en boîtes des traits phénotypiques des glands de *Quercus faginea* dans les quatre stations étudiées en Algérie (P : poids des glands en g ; Lg : longueur des glands en mm ; lg : largeur des glands en mm ; lg/Lg : rapport entre la largeur et la longueur des glands en %. Les moyennes des stations signalées avec des lettres différentes sont significativement différentes, test de Tukey au seuil de 5%).

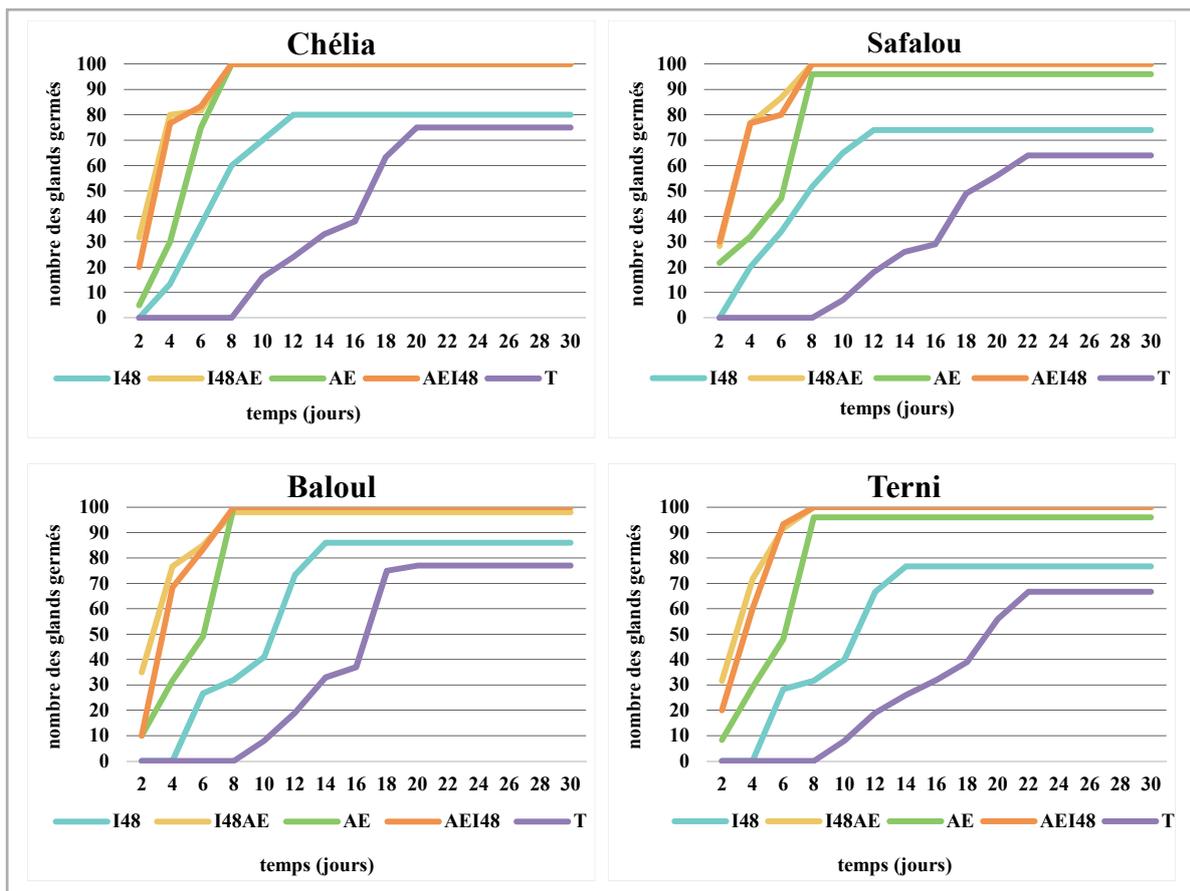
**Tableau II.2 - Traits phénotypiques des glands de *Quercus faginea* au niveau inter-stationnel (50 glands / arbre).** Moyenne  $\pm$  écart type, P : poids des glands en g ; Lg : longueur des glands en mm ; lg : largeur des glands en mm ; lg/Lg : rapport entre la largeur et la longueur des glands en %. P : P-valeur de l'ANOVA. Les valeurs marquées avec la même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Tukey au seuil de 5 %.

Station	Paramètre	P	arbre 01	arbre 02	arbre 03	arbre 04	arbre 05	arbre 06	arbre 07	arbre 08	arbre 09	arbre 10
Chélia	P (g)	0.19	3.33 $\pm 1.24$	4.00 $\pm 0.40$	5.01 $\pm 1.82$	4.33 $\pm 1.12$	4.06 $\pm 1.62$	4.21 $\pm 0.79$	3.66 $\pm 1.25$	4.66 $\pm 1.47$	3.22 $\pm 0.88$	3.96 $\pm 0.56$
	Lg (mm)	0.23	29.72 $\pm 4.25$	32.90 $\pm 5.52$	32.09 $\pm 3.95$	31.01 $\pm 2.85$	30.24 $\pm 5.55$	29.86 $\pm 6.20$	30.48 $\pm 3.17$	29.12 $\pm 4.13$	31.85 $\pm 3.22$	29.46 $\pm 3.05$
	lg (mm)	0.001	11.55 $\pm 0.96$ b	11.68 $\pm 0.88$ b	12.82 $\pm 0.30$ b	12.01 $\pm 0.71$ b	11.79 $\pm 0.37$ b	11.99 $\pm 0.45$ b	12.19 $\pm 0.22$ b	11.31 $\pm 1.76$ b	17.05 $\pm 0.86$ a	10.12 $\pm 0.89$ b

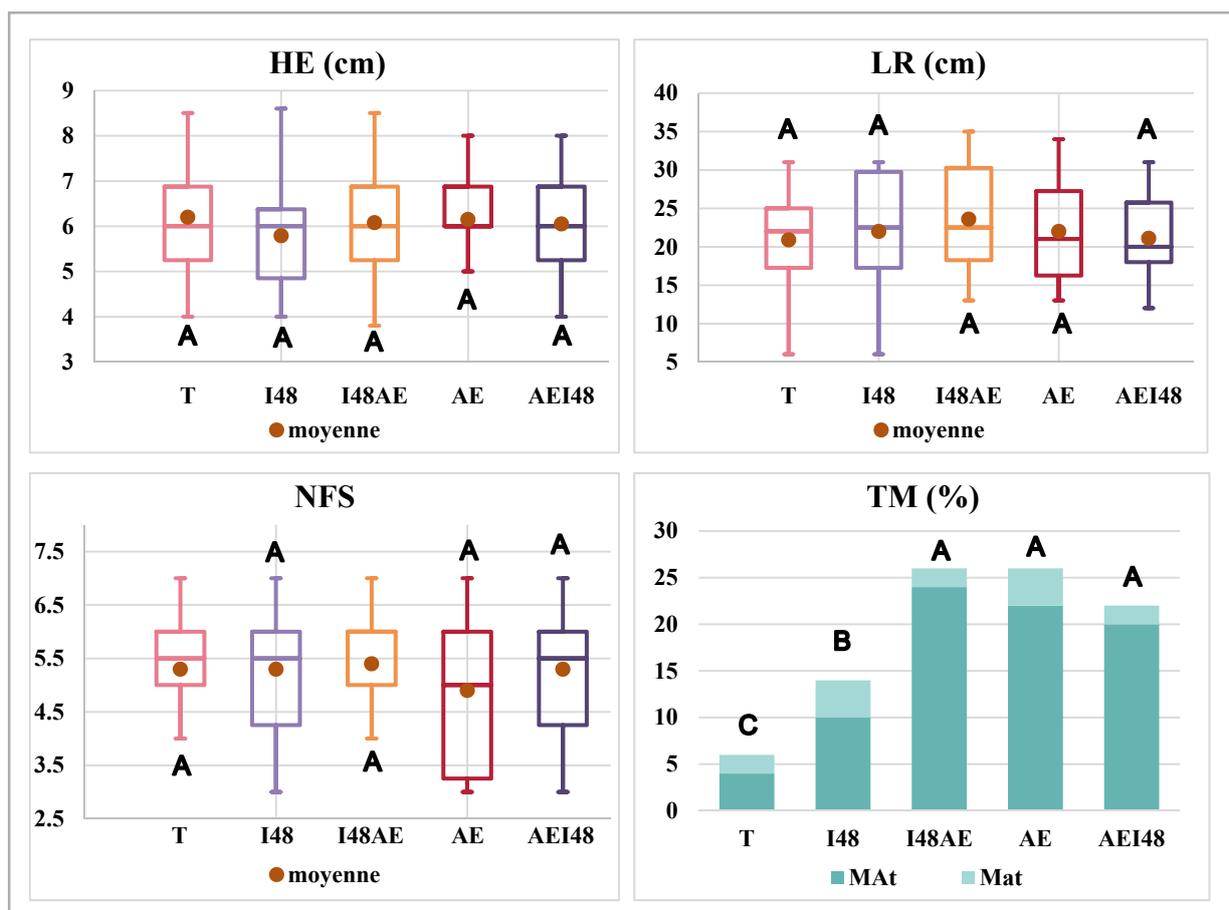
	lg/Lg %	0.003	39.57 ±7.08 b	35.66 ±4.38 b	39.05 ±2.34 b	37.55 ±2.88 b	36.58 ±1.05 b	38.85 ±1.11 b	39.92 ±4.89 b	39.06 ±7.72 b	55.54 ±5.02 a	34.89 ±1.86 b
Safalou	P (g)	0.25	4.26 ±1.41	3.74 ±0.71	3.50 ±1.81	3.68 ±0.62	3.77 ±1.44	4.12 ±0.55	4.01 ±1.11	3.35 ±0.82	3.89 ±1.36	4.30 ±0.75
	Lg (mm)	0.38	33.94 ±2.61	31.84 ±2.99	31.41 ±1.99	32.51 ±2.45	31.96 ±3.08	31.72 ±1.97	32.82 ±2.56	31.99 ±2.49	32.38 ±1.94	33.69 ±1.74
	lg (mm)	0.31	13.58 ±1.05	13.28 ±0.88	13.16 ±1.71	13.33 ±1.29	13.84 ±1.08	12.91 ±1.69	13.66 ±0.70	13.37 ±1.62	13.95 ±2.33	13.38 ±0.82
	lg/Lg %	0.48	41.71 ±2.28	41.93 ±1.42	42.99 ±2.87	42.36 ±1.97	42.10 ±3.98	42.90 ±1.09	43.67 ±1.24	43.68 ±3.04	42.37 ±2.83	42.97 ±2.07
Baloul	P (g)	0.02	6.51 ±1.77 a	5.55 ±1.17 ab	5.27 ±1.41 ab	4.25 ±0.95 ab	4.75 ±1.25 ab	5.12 ±1.36 ab	4.61 ±0.99 ab	6.05 ±0.71 a	3.50 ±2.79 ab	2.66 ±2.58 b
	Lg (mm)	0.01	41.80 ±3.14 ab	40.48 ±2.35 ab	39.40 ±2.53 ab	37.51 ±4.11 ab	39.42 ±1.57 ab	37.31 ±1.41 ab	42.27 ±3.98 a	43.03 ±2.32 a	38.66 ±2.97 ab	30.43 ±4.82 b
	lg (mm)	0.01	12.68 ±1.56 a	12.43 ±2.26 ab	11.31 ±2.57 ab	11.00 ±1.14 ab	10.29 ±1.04 ab	10.87 ±1.72 ab	11.72 ±1.54 ab	12.69 ±1.46 a	11.62 ±1.44 ab	9.26 ±1.37 b
	lg/Lg %	0.34	30.34 ±1.51	30.68 ±1.42	28.64 ±2.87	29.45 ±2.82	26.12 ±1.50	29.16 ±2.27	27.79 ±1.35	29.48 ±0.17	29.98 ±1.40	30.96 ±5.24
Terni	P (g)	0.56	4.25 ±1.41	3.76 ±1.41	3.65 ±1.07	4.35 ±1.49	3.96 ±2.49	4.72 ±1.97	4.51 ±2.14	3.63 ±1.56	4.08 ±1.76	4.89 ±1.45
	Lg (mm)	0.21	35.94 ±3.02	32.84 ±2.58	31.91 ±2.28	34.08 ±1.89	34.11 ±2.76	33.28 ±3.52	35.77 ±3.28	32.98 ±1.37	32.89 ±3.66	34.62 ±1.69
	lg (mm)	0.69	15.59 ±2.46	16.26 ±1.94	16.16 ±1.12	14.29 ±1.29	15.39 ±0.82	15.77 ±1.29	13.84 ±1.21	15.29 ±1.46	14.94 ±1.11	15.61 ±2.96
	lg/Lg %	0.08	43.23 ±5.43	49.79 ±8.32	50.75 ±5.54	44.61 ±5.98	45.46 ±4.68	47.87 ±2.86	43.72 ±6.79	43.04 ±4.43	46.29 ±5.85	47.31 ±4.67

### 3.2. Variabilité intra et interstationnelle du potentiel germinatif des glands et influence des prétraitements

Les paramètres de germination des glands ne montrent aucune différence significative ( $P > 0.05$ ) entre les différents arbres de chaque station pour chacun des prétraitements appliqués (tableau II.3). Cependant, une différence significative entre les prétraitements appliqués a été notée dans toutes les stations (tableau II.4) : le taux de germination est plus élevé dans les lots qui ont subi des prétraitements (de 74% à 100% selon les stations) par rapport aux lots témoins (entre 64% à Safalou et 75% à Chélia) (tableau II.4, fig. II.5). L'enlèvement des péricarpes et l'immersion dans l'eau ordinaire accélèrent et synchronisent la germination (tableau II.3, fig. II.4). En effet, dans les lots I48AE et AEI48, la germination commence dès le deuxième jour de la mise en culture et atteint le taux maximal au bout de huit jours seulement, avec T50 de quatre à six jours. Pour les lots témoins, la germination commence à partir du dixième jour, atteignant le T50 après seize jours environ, et se termine après vingt à vingt-deux jours (tableau II.4, fig. II.5). Un effet station pour les prétraitements appliqués a été noté notamment pour le taux de germination (G%) (tableau II.4). Les prétraitements altèrent les paramètres de germination de la même manière dans toutes les stations, d'où on note une absence d'interaction des facteurs traitement et station (tableau II.4).



**Figure II.5** - Évolution en fonction du temps de la germination des glands de chêne fagineé (*Q. faginea*) dans les quatre stations étudiées en Algérie pour différents prétraitements (I48 : glands immergés dans l'eau ordinaire pendant 48h ; I48AE : immersions des glands dans l'eau ordinaire pendant 48h suivi par un enlèvement des enveloppes séminales ; AE : enlèvement des enveloppes séminales des glands ; AEI48 : enlèvement des enveloppes séminales puis immersion des glands dans l'eau ordinaire pendant 48h ; T : Témoin).



**Figure II.6** - Paramètres de croissance et de mortalité des semis de chêne faginé (*Q. faginea*) des quatre stations étudiées en Algérie en fonction des prétraitements avant germination (HE : la hauteur des épicotyles en cm ; LR : longueur des racines en cm ; NFS : nombre de feuilles par semis ; TM : taux de mortalité en pourcentage ; MAt : taux de mortalité avant transplantation des semis ; Mat : taux de mortalité après transplantation des semis).

**Tableau II.3 - Variabilité intra-stationnelle du potentiel germinatif des glands de *Quercus faginea* pour chaque traitement.** G% : taux de germination ; T50 : temps en jours pour atteindre 50% de germination ; TL : temps de latence entre traitement et première germination. Pour les traitements, voir matériel et méthodes.

Station	traitement	paramètre	P	arbre 01	arbre 02	arbre 03	arbre 04	arbre 05	arbre 06	arbre 07	arbre 08	arbre 09	arbre 10	
Chélia	T	G%	1	90	90	70	80	70	80	70	70	70	60	
		T50	1	14	16	17	15	16	15	15	16	17	17	
		TL	1	09	10	12	11	10	10	10	12	11	12	
	I48	G%	1	90	90	80	80	70	90	80	80	70	80	70
		T50	1	07	07	08	07	09	07	08	09	08	08	07
		TL	1	03	04	04	05	05	04	04	05	05	04	
	I48AE	G%	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		T50	1	03	03	04	03	04	04	04	04	04	04	04
		TL	1	02	02	02	02	02	03	02	02	02	02	02
AE	G%	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	T50	1	07	05	06	06	06	06	06	06	06	06	07	
	TL	1	02	02	02	02	02	03	02	02	02	03	02	
AEI48	G%	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	T50	1	03	04	04	04	05	04	04	04	04	04	04	
	TL	1	02	01	02	01	02	03	03	02	02	02	02	

Safalou	T	G%	1	60	60	70	70	80	70	60	60	50	60	
		T50	1	16	15	17	18	16	16	16	15	15	18	15
		TL	1	09	09	12	10	11	11	09	12	12	12	11
	I48	G%	1	70	70	80	60	70	80	80	70	80	80	80
		T50	1	06	07	06	09	08	08	07	07	06	06	06
		TL	1	04	04	05	05	04	04	04	05	04	04	04
	I48AE	G%	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		T50	1	03	03	03	04	04	04	03	04	04	04	04
		TL	1	02	01	02	02	02	02	02	02	02	02	02
	AE	G%	1	100	90	90	100	100	100	100	90	100	100	90
		T50	1	06	06	06	05	05	06	06	06	06	06	07
		TL	1	02	02	02	02	02	03	02	02	02	03	02
AEI48	G%	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	T50	1	03	04	04	04	04	04	04	04	04	04	04	
	TL	1	02	01	02	02	03	02	02	02	02	02	02	
Baloul	T	G%	1	70	80	90	80	70	60	80	80	90	70	
		T50	1	14	16	17	16	15	17	17	16	17	17	
		TL	1	10	11	12	11	10	10	10	12	09	09	
	I48	G%	1	90	90	80	80	90	90	90	90	70	90	90
		T50	1	11	10	09	09	09	10	11	09	10	10	10
		TL	1	06	05	07	06	07	06	05	05	05	05	06
	I48AE	G%	1	100	100	100	90	100	100	100	100	90	100	100
		T50	1	04	03	04	04	04	04	03	04	04	04	04
		TL	1	02	03	02	01	02	02	02	02	02	02	02
	AE	G%	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		T50	1	06	05	06	06	06	06	07	06	06	06	07
		TL	1	02	03	02	02	02	02	02	02	02	02	02
AEI48	G%	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
	T50	1	03	03	04	04	04	04	05	04	04	04	04	
	TL	1	02	03	02	02	02	02	02	02	02	02	02	
Terni	T	G%	1	80	70	60	70	50	50	70	70	70	80	
		T50	1	18	16	16	17	18	17	17	15	17	16	
		TL	1	12	11	12	10	09	11	09	10	11	11	
	I48	G%	1	80	90	60	80	70	90	90	70	80	60	
		T50	1	11	09	10	08	09	10	09	10	10	10	
		TL	1	06	07	06	05	06	06	07	06	05	07	
	I48AE	G%	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		T50	1	03	03	04	04	04	04	05	04	04	04	
		TL	1	02	01	02	01	02	02	02	02	02	02	
	AE	G%	1	90	100	100	90	90	90	100	100	100	100	
		T50	1	07	05	07	06	06	06	06	06	06	05	
		TL	1	02	02	03	03	03	02	02	02	02	02	
AEI48	G%	1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		
	T50	1	03	03	04	04	04	05	04	04	04	04		
	TL	1	01	01	02	02	02	03	02	02	02	02		

### 3.3. Influence des prétraitements sur le développement des semis

Les paramètres de croissance des semis (HE, LR, NFS) ne montrent pas de différence significative ( $P > 0.05$ ) entre arbres au sein de chaque station (tableau II.5). Aussi, aucune différence significative n'a été détectée pour les caractères de croissance entre les lots témoins (T) et les lots ayant subi des prétraitements (I48, I48AE, AE, AEI48) (fig. II.6), ce qui indique que les prétraitements appliqués n'ont vraisemblablement aucune influence sur la croissance et le développement ultérieur des semis, du moins durant les six premiers mois de développement. Cependant, des différences significatives de mortalité des semis ( $P < 0.05$ ) ont été observées entre les prétraitements (fig. II.6). Tous les prétraitements ont conduit à une mortalité des semis supérieure à celle du témoin ; la mortalité pour les trois prétraitements avec enlèvement des péricarpes avoisine les 25% tandis que la seule immersion dans l'eau (I48) a conduit à une mortalité de 14% (fig. II.6).

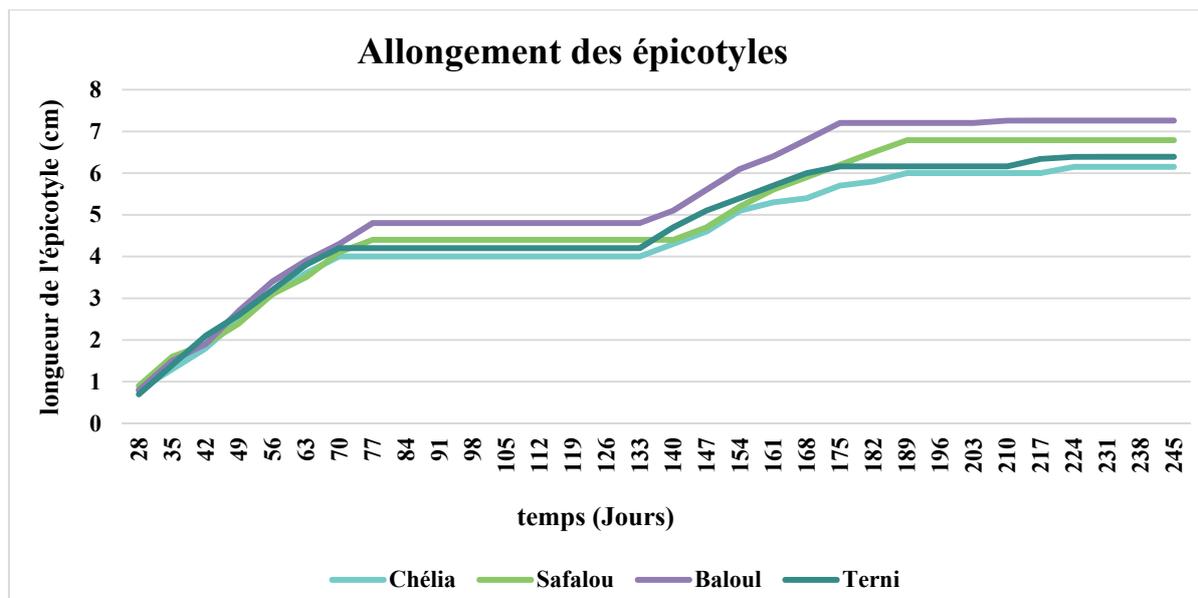
Aussi, pour l'ensemble des prétraitements, la majorité des mortalités a été observée avant transplantation des semis (fig. II.6).

**Tableau II.4 - Effet des prétraitements sur la germination des glands de *Quercus faginea*.** G% : taux de germination ; T50 : temps en jours pour atteindre 50% de germination ; TL : temps de latence entre traitement et première germination. Les tests ANOVA ont montré un effet significatif des traitements au sein de toutes les stations pour les trois paramètres examinés ( $P$  (effet traitement)  $\leq 0.0001$ ). Des effets station ont été montrés pour certains traitements et certain paramètres ( $P$  (effet station)). Aucune interaction significative station x traitement n'a été mise en évidence.

Paramètre	traitement	Chélie	Safalou	Baloul	Terni	$P$ (effet station)	$P$ (station x traitement)
G%	T	75	64	77	67	0.01	0.45
	I48	80	74	86	77	0.02	
	I48AE	100	100	98	100	0.09	
	AE	100	96	100	96	0.01	
	AEI48	100	100	100	100	1	
	$P$ (effet traitement)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		
T50	T	15.8	16.2	16.1	16.7	0.30	0.36
	I48	7.7	7	9.8	9.6	0.0001	
	I48AE	3.7	3.6	3.8	4.1	0.58	
	AE	6.1	5.9	6.1	6	0.86	
	AEI48	4	3.9	3.9	3.9	0.96	
	$P$ (effet traitement)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		
TL	T	10.7	10.6	10.4	10.6	0.94	0.76
	I48	4.3	4.3	5.8	6.1	0.0001	
	I48AE	2.1	1.9	2	2	0.36	
	AE	2.2	2.1	2.1	2.3	0.76	
	AEI48	2	2	1.8	1.9	0.86	
	$P$ (effet traitement)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		

### 3.4. Étude de la croissance et phénotype des semis

Les courbes de croissance de la partie aérienne des semis ne présentent aucune différence remarquable entre les stations d'étude (fig. II.7). L'évolution en hauteur se caractérise par une croissance rapide pendant les sept ou les huit premières semaines de croissance (automne-hiver) - sept semaines dans le cas des stations de Chélie et Terni, et huit semaines pour les stations de Safalou et Baloul. La deuxième phase correspond à une période de latence qui dure deux mois environ (durant l'hiver), suivie par une forte reprise de la croissance au début du printemps. Après deux mois, et durant la période estivale on observe un ralentissement de la croissance en hauteur (fig. II.7).



**Figure II.7** - Allongement en fonction du temps des épicotyles des semis de chêne faginé (*Q. faginea*) des quatre stations étudiées en Algérie.

L'analyse de la variance des traits phénotypiques des semis montre un effet station pour les paramètres SFS, PFR/PFF et PSR/PSF (respectivement  $P = 0.04$ ,  $P = 0.02$  et  $P = 0.01$ ). Les feuilles de la station de Chélia ont une surface foliaire spécifique (SFS) et des rapports (PSF/PFF, PSR/PSF) inférieurs à ceux des autres stations (fig. II.8).

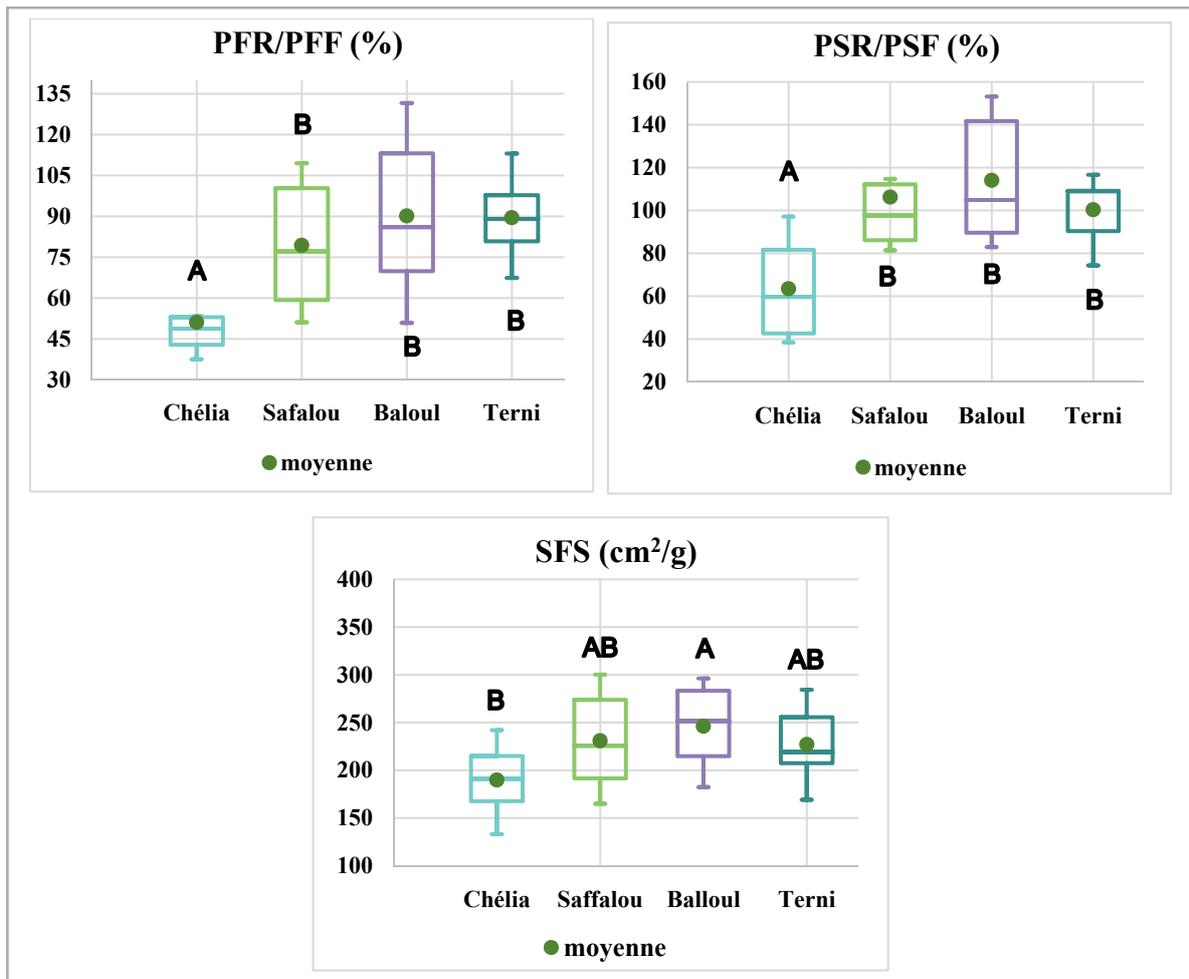
**Tableau II.5** - Traits phénotypiques des semis de *Quercus faginea* de l'ensemble des arbres échantillonnés. HE : la hauteur moyenne des épicotyles en cm ; LR : longueur moyenne des racines en cm ; NFS : nombre moyenne de feuilles par semis. Pour les traitements, voir matériel et méthodes.

Station	traitement	paramètre	P	arbre									
				01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Chélia	T	HE	0.41	5.85	5.80	6.16	5.86	6.01	6.11	5.90	6.12	6.02	6.01
		LR	0.26	17.83	19.50	18.00	18.83	19.00	17.51	17.17	18.86	16.99	18.66
		NFS	0.52	4.75	4.00	4.75	4.75	5.00	5.25	5.00	5.50	5.56	5.16
	I48	HE	0.66	6.25	5.00	5.45	5.79	5.66	6.00	5.40	5.88	5.22	5.33
		LR	0.49	18.77	19.60	17.87	19.21	16.22	16.79	16.50	16.66	18.49	16.77
		NFS	0.78	5.00	6.00	4.66	4.70	4.97	5.33	5.00	4.75	5.00	5.66
	I48AE	HE	0.09	6.00	5.55	6.22	5.60	6.06	5.91	6.56	5.93	6.25	5.44
		LR	0.54	17.60	18.60	20.25	17.60	18.30	19.85	18.58	16.66	18.49	16.77
		NFS	0.63	5.00	4.00	6.00	4.50	5.25	5.00	5.75	6.00	4.66	5.24
AE	HE	0.72	6.50	6.15	5.92	5.58	6.33	5.67	6.34	5.79	5.96	6.55	
	LR	0.24	18.66	20.02	19.56	19.65	17.37	17.97	17.32	19.22	17.76	17.90	
	NFS	0.81	5.00	5.00	4.85	6.00	4.95	5.00	5.00	5.50	4.84	6.00	
AEI48	HE	0.79	5.79	6.40	6.45	5.79	6.23	6.00	5.95	6.33	5.90	5.62	
	LR	0.62	18.45	19.87	17.60	17.95	19.47	20.05	19.58	19.84	20.45	17.84	
	NFS	0.84	4.79	4.22	5.07	5.00	5.00	4.66	6.00	4.78	5.00	4.79	
Safalou	T	HE	0.67	6.23	6.16	6.50	6.33	6.00	6.50	6.20	6.77	6.61	6.23
		LR	0.07	17.85	17.16	18.03	18.01	16.50	17.67	17.50	15.99	16.84	18.33
		NFS	0.45	4.83	4.66	4.16	4.90	5.50	4.67	4.83	4.66	4.83	5.16
	I48	HE	0.32	6.84	6.40	5.91	5.85	6.00	6.29	5.69	6.40	5.95	6.04

		LR	0.17	18.73	19.00	17.65	19.09	17.45	18.94	19.19	18.53	19.67	17.55
		NFS	0.41	5.27	5.00	4.68	6.00	4.58	5.19	4.90	5.82	4.37	5.00
	I48AE	HE	0.09	6.23	6.55	6.09	6.49	5.44	5.91	6.14	5.67	6.47	6.54
		LR	0.46	16.76	17.67	18.46	16.34	17.90	17.84	17.66	19.90	20.12	16.95
		NFS	0.70	4.00	5.61	5.42	6.00	6.00	5.29	4.07	5.90	5.00	5.22
	AE	HE	0.53	5.67	6.58	6.36	5.90	6.32	5.55	6.35	6.49	6.75	6.24
		LR	0.28	18.16	17.37	17.85	19.47	17.54	18.60	19.08	16.93	19.39	18.66
		NFS	0.19	5.94	5.00	5.13	6.00	6.00	4.89	5.00	6.06	6.00	5.16
	AEI48	HE	0.22	6.61	6.72	6.38	6.49	6.19	5.85	6.25	5.87	5.91	5.75
		LR	0.20	19.62	18.72	17.13	20.08	17.60	16.90	18.28	20.25	20.31	18.38
		NFS	0.43	5.00	5.28	5.36	6.00	5.61	5.00	4.89	5.00	6.00	4.88
Baloul	T	HE	0.80	6.58	6.75	6.02	6.42	7.15	6.48	6.65	6.57	6.48	6.01
		LR	0.38	17.83	19.50	17.30	18.83	19.00	17.51	17.17	16.86	16.99	17.17
		NFS	0.46	4.66	4.83	4.60	4.83	4.97	5.33	5.00	5.50	5.56	4.88
	I48	HE	0.62	6.91	6.04	6.49	6.10	6.60	5.70	6.62	5.91	6.14	5.75
		LR	0.20	17.04	19.62	19.85	20.05	18.41	19.71	16.84	20.07	18.85	18.07
		NFS	0.45	4.33	5.47	6.00	5.11	5.70	6.00	4.29	5.25	4.41	5.07
	I48AE	HE	0.22	6.59	5.66	6.37	5.99	5.72	5.95	6.73	6.00	6.52	6.10
		LR	0.10	18.71	20.30	20.14	19.61	19.00	17.60	19.64	16.86	19.28	16.55
		NFS	0.53	5.05	5.08	6.00	4.58	4.57	5.00	5.00	4.85	6.00	4.41
	AE	HE	0.86	6.72	5.86	6.38	6.34	6.63	6.22	5.68	6.13	6.52	5.48
		LR	0.65	19.27	18.74	19.48	20.11	17.70	18.35	16.29	17.80	18.56	19.18
		NFS	0.11	5.52	6.00	5.73	5.03	5.00	4.43	4.50	6.32	6.38	5.41
	AEI48	HE	0.46	6.48	6.28	6.29	6.38	6.26	5.82	6.46	5.84	5.86	6.31
		LR	0.19	18.80	20.24	17.85	19.36	16.95	18.12	17.51	19.31	17.68	17.54
		NFS	0.24	5.16	5.26	5.43	6.00	5.05	4.88	4.49	5.75	4.86	5.33
Terni	T	HE	0.69	5.70	6.00	5.67	6.13	5.73	5.66	6.23	5.83	6.00	6.33
		LR	0.56	18.88	17.00	16.33	17.51	17.50	15.17	15.67	17.61	16.33	15.83
		NFS	0.48	5.00	4.16	4.83	5.09	4.92	5.33	4.16	4.83	5.33	5.56
	I48	HE	0.31	6.55	5.81	5.83	6.28	6.26	5.59	6.81	6.07	5.90	5.85
		LR	0.12	18.10	19.31	18.12	19.52	17.00	18.22	16.54	16.31	16.74	17.57
		NFS	0.39	5.07	5.00	4.78	5.13	5.07	6.00	4.18	4.65	4.43	5.09
	I48AE	HE	0.42	5.83	5.44	6.48	5.67	6.04	6.28	6.59	5.85	5.79	5.59
		LR	0.30	18.31	16.44	18.02	18.46	16.26	16.45	17.35	17.12	17.22	16.61
		NFS	0.26	4.10	5.20	4.00	4.67	5.00	5.63	5.22	5.25	5.16	4.48
	AE	HE	0.33	6.17	6.57	6.12	5.78	6.27	6.86	5.79	5.83	5.42	6.00
		LR	0.18	16.80	17.23	17.48	16.55	17.68	18.71	18.28	17.61	19.42	16.31
		NFS	0.63	4.35	4.00	5.04	4.49	5.08	4.45	5.61	5.55	5.00	4.44
	AEI48	HE	0.24	5.97	5.98	5.63	5.79	6.24	6.26	5.86	6.21	6.40	6.33
		LR	0.49	18.49	17.49	17.33	16.79	18.24	18.12	16.17	17.86	16.57	17.24
		NFS	0.44	5.29	4.16	5.00	4.63	5.55	5.01	5.01	5.75	4.61	5.24

### 3.5. Corrélation des paramètres des glands et des semis

La matrice de corrélation de Pearson montre l'absence d'une corrélation significative entre les traits phénotypiques et germinatifs des glands, ce qui indique que les traits phénotypiques des glands (P, Lg, lg et lg/Lg) n'ont vraisemblablement aucune influence sur le potentiel germinatif (% , T50 et TL). Aussi, aucune corrélation significative n'a été notée entre les traits phénotypiques des glands et ceux des semis. Ces résultats montrent que la taille des glands n'a probablement aucune influence sur la croissance ultérieure des semis (HE, LR et NFS) (du moins durant les six premiers mois de développement des semis).



**Figure II.8** - Variabilité des caractères morphologiques des semis de chêne faginé (*Q. faginea*) dans les quatre stations étudiées en Algérie (PFR/PFF : poids moyen frais des racines en g / poids moyen frais du feuillage en g ; PSR/PSF : rapport en pourcentage entre le poids moyen sec des racines et le poids moyen sec du feuillage ; (SFS) : rapport en cm<sup>2</sup>/g entre la surface foliaire et le poids approximatif sec des feuilles. Les valeurs marquées avec la même lettre ne sont pas significativement différentes, test de Tukey au seuil de 5 %).

#### 4. Discussion

Notre étude nous a permis de mettre en évidence des différences entre les quatre provenances de chêne faginé en Algérie concernant certains traits morphologiques des glands et des traits morphologiques des jeunes semis. Nous avons en outre montré que l'immersion des glands dans l'eau et l'enlèvement des péricarpes améliorent et synchronisent la germination. Dans ce qui suit, ces résultats sont discutés par rapport à la littérature.

##### 4.1. Biométrie des glands

Il ressort de l'étude biométrique des glands du chêne faginé que la station de Baloul se distingue des autres stations par des glands relativement plus longs et plus lourds. L'influence de certaines caractéristiques environnementales et microenvironnementales spécifiques de la station, ou une variation génétique, ou encore 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 qu'elle est plutôt contrôlée par le génotype. 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). Comme les glands utilisés ici ne concernent qu'une seule année de récolte, il est préférable de réexaminer sur une longue période la spécificité morphologique des glands de Baloul afin de confirmer la stabilité de son caractère (Dupouey & Le Boulter 1989). Quant au niveau intra-stationnel, les variations observées dans les stations de Baloul et Chélia pourraient s'expliquer en grande partie par un effet maternel (Mercier & Rainville 1996).

Les résultats obtenus ont montré que la taille des glands n'a aucune influence sur la germination des glands ainsi que sur le développement des semis, ce qui concorde avec les observations de Ke & Weger (1999), Tilki & Alpetkin (2005) et Navarro et al. (2006). Houston (1987) ainsi que Thompson & Rabinowitz (1989) notaient 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 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 collègues (2007, 2008) 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 (Quero et al. 2007).

#### **4.2. Effet des prétraitements sur la germination**

Les caractéristiques germinatives des glands paraissent être nettement améliorées par les prétraitements appliqués. En effet, l'enlèvement des péricarpes permet de réhydrater les embryons rendant ainsi la germination plus rapide et plus synchronisée (Schopmeyer 1974, Lamond 1978). À ce propos, Levert (1977) soulignait la présence d'une forte corrélation entre la teneur en eau des glands et leur vitesse de germination. Selon Lamond & Levert (1980), le péricarpe des glands du chêne pédonculé (*Quercus robur*) possède un effet dépressif sur la réhydratation des embryons ce qui pourrait expliquer la mauvaise germination des glands à teneur en eau inférieure à 35%. Merouani et collègues (2001) notaient que la dormance des glands dépend probablement de l'arbre producteur, et suggèrent que la bonne conservation des glands peut lever cette dormance et améliorer en conséquence la vitesse et l'homogénéité de germination.

Cependant, une conséquence indésirable des prétraitements appliqués (enlèvement des péricarpes et immersion dans l'eau ordinaire) est d'avoir un taux de mortalité relativement élevé, avec la majeure partie des mortalités enregistrée avant la transplantation des semis dans les sachets polyéthylènes. Ce phénomène pourrait être lié à la vulnérabilité des glands dénudés et des jeunes semis face aux différentes maladies (Oukabli et al. 2001), ainsi, il paraît être possible de résoudre ce problème en utilisant des fongicides.

#### **4.3. Étude de la croissance des semis**

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 (Kremer 1994, Houston 1987).

L'analyse des traits morphologiques des semis montre que la station de Chélia se distingue par des feuilles de faibles dimensions. La diminution de la taille des feuilles présente une forme d'adaptation aux conditions climatiques pour les chênes méditerranéens dont *Q. faginea*, engendrant ainsi une meilleure résistance au déficit hydrique (Baldocchi & Xu 2007, Peguero-Pina et al. 2014, Gil-Pelegrín et al. 2017). Vu que les conditions de croissance des semis ont été homogènes, on peut suggérer que les différences observées sont possiblement liées aux variations génétiques qui auraient pour origine l'adaptation aux conditions environnementales de la station de Chélia, notamment concernant la sécheresse (Trabut 1892).

#### **5. Conclusion**

Notre étude a mis en évidence des différences morphologiques concernant les glands et les plants du chêne faginé au niveau inter-stationnel en Algérie. Cette diversité est probablement causée par des variations génétiques et/ou des conditions environnementales des stations, qui n'ont pas encore été bien identifiées. Les résultats de la germination et de l'évolution des plants du chêne faginé révèlent un potentiel germinatif et de croissance considérables. Compte tenu de l'ensemble des facteurs qui menacent la pérennité du chêne faginé en Algérie, nous recommandons des actions pour la conservation de l'espèce telles que des reboisements, des plantations *ex-situ* et des clôtures de protection pour éviter une régression réelle et irréversible des peuplements qui conduirait très probablement à sa disparition.

## CHAPITRE 2 - Analyse typologique et cartographique des formations de *Q. faginea* dans l'Aurès

### 1. Introduction

L'étude de la typologie des milieux est une étape très importante vers une gestion durable des forêts (dudordieu 1997). En effet, l'identification et la classification des types des formations végétales existant dans une forêt constituent une première phase dans la création d'un catalogue descriptif des stations, qui fournit aux gestionnaires la base des données nécessaires à la détermination des objectifs de la gestion (Ozenda 1982, 1986). Il est, en fait, fondamental d'identifier et de caractériser les stations afin de dresser un véritable état des lieux permettant de comprendre les niveaux dont les facteurs écologiques façonnent la production potentielle des habitats et leur évolution. Ainsi, les différents paramètres recueillis lors de cette description permettent une bonne compréhension de leur déterminisme écologique (Hugues et al. 2002). Ils permettent également d'établir une carte d'occupation du sol contribuant à une meilleure connaissance des milieux et de leurs éventuelles potentialités, et de mettre en évidence non seulement l'état actuel des écosystèmes de l'aire d'étude et les espèces qu'ils referment, mais aussi de mener une réflexion prospective sur leur avenir. Dans ce sens, l'objectif principal ici est d'établir une représentation typologique et cartographique des principales formations forestières de l'une des localités de chêne faginé en Algérie, le cas de la seule population de l'est, celle de Chélia (Aurès). Néanmoins, dans un premier temps, nous aborderons le contexte général dans lequel s'est développée cette espèce, ainsi que les conditions locales de sa distribution.

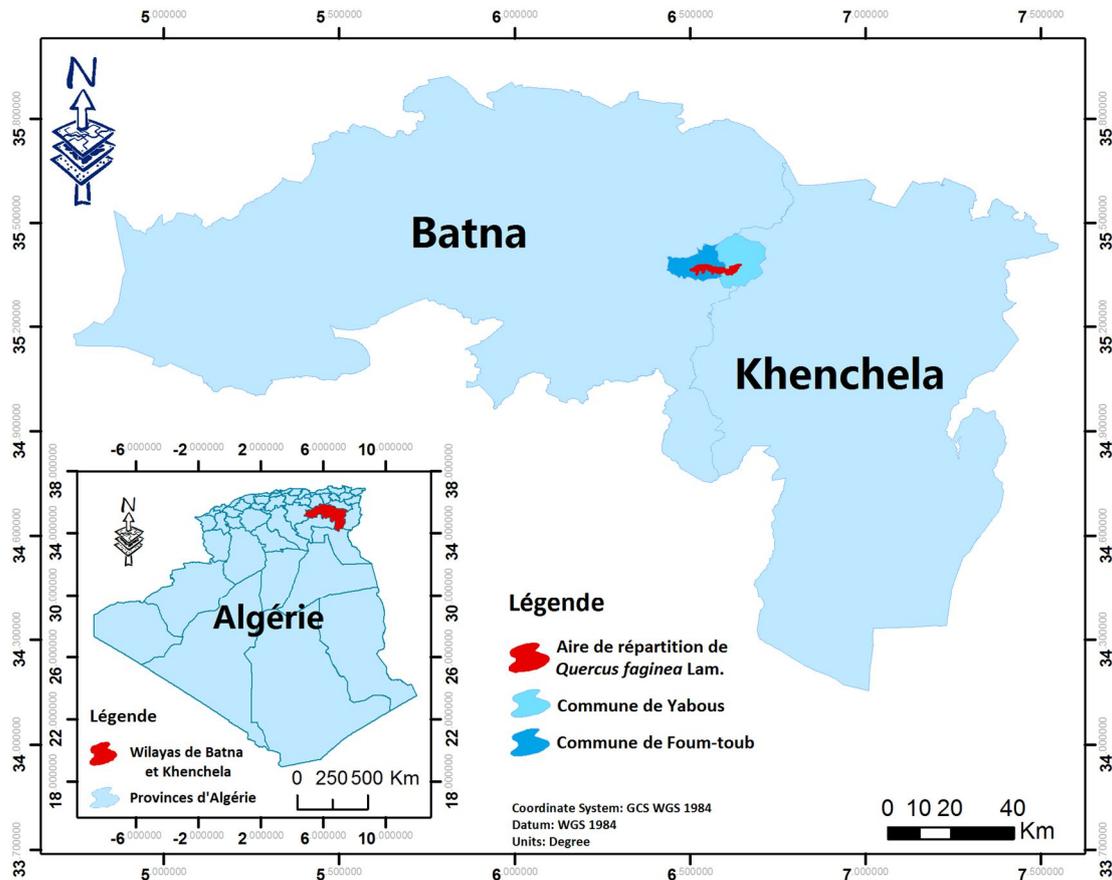
Toutefois, il est à noter que l'identification des espèces rencontrées a été réalisée, pour l'essentiel, sur la base de la nouvelle flore d'Algérie (Quézel & Santa 1962, 1963), alors que la nomenclature et la taxonomie retenues sont définies à partir de l'index synonymique de la Flore de l'Afrique du Nord (Dobignard & Chatelain 2010-2013).

### 2. Contexte régional et local du site d'étude

#### 2.1. Contexte régional

La région d'étude fait partie du massif montagneux de l'Aurès, qui à son tour appartient au domaine de l'Atlas Saharien. Ce massif compact est formé de multiples plissements de structure régulière orientés du nord-est vers le sud-ouest et qui s'étendent sur une soixantaine de kilomètres. Il se situe dans le nord-est de l'Algérie à 35° de latitude nord et entre 6 à 7° de longitude est. Au sud-ouest, djebel metlili sépare l'Aurès des Ziban, au nord-est, les chaînons des hautes plaines constantinoises forment une limite, ainsi que le synclinal de Seggana sur l'est et le synclinal faillé d'Ain Touta-Batna qui sépare l'Aurès des monts Belezma (Abdessemed 1981). Plusieurs hautes plaines, oueds et vallées généralement parallèles entaillent ces plissements, oued El-Kantara, oued El-Arab et la plaine de M'sara qui sépare la chaîne du Chélia de la forêt d'Ait Mloul (Beni Imloul). Certains oueds entrecoupent profondément les plissements en constituant une rivalité nord-sud, notamment ceux d'oued Abdi et oued El Abiod (de Lartigue 1904). Les chaînons caractérisant cette région forment deux principaux anticlinaux, dont Dj Lazreg (l'axe du massif qui se prolonge après infléchissement vers l'est par le pli du Chélia, le plus haut

sommet du nord d'Algérie 2326 m) qui s'étend de la plaine de L'Outaya au sud-ouest à celle de Medina (Ichemoul) au nord-est (de Lartigue 1904).



**Figure II.9** - Localisation géographique de *Quercus faginea* Lam. dans l'Aurès.

Concernant l'aspect géologique et pédologique, Schoenenberger (1972) montre que la plupart des formations végétales de la région de l'Aurès se reposent sur des faciès correspondant au Crétacé, en particulier le Turonien et le Coniacien, dont les substrats se caractérisent par une alternance de calcaire dur et de marne. La seule exception réside dans le mont de Chélia qui se caractérise par une variation des faciès lithologiques correspondant au Barrémien, l'Aptien (composés de grés siliceux) et à l'Albien. (Abdessemed 1981).

Le climat de la région de l'Aurès n'est pas uniforme du fait de l'hétérogénéité de la structure morphologique de son massif montagneux qui a engendré une variation climatique très remarquable, ayant pour origine les grandes différences d'altitudes et d'ensoleillement, et qui ont modelé grandement le paysage végétal en conséquence (Schoenenberger 1972, Côte 1993). Par ailleurs, ce massif est caractérisé principalement par un climat de type méditerranéen, semi-continentale faiblement contrasté, avec deux saisons ; sèche et humide, et dont les périodes diffèrent selon les zones. Les étages bioclimatiques de végétation caractérisant ce massif sont le semi-aride et le subhumide, allant jusqu'aux limites de l'aride supérieur à la limite méridionale de massif et l'humide inférieur au sommet du Chélia (Abdessemed 1981, Beghami & Bélair 2007).

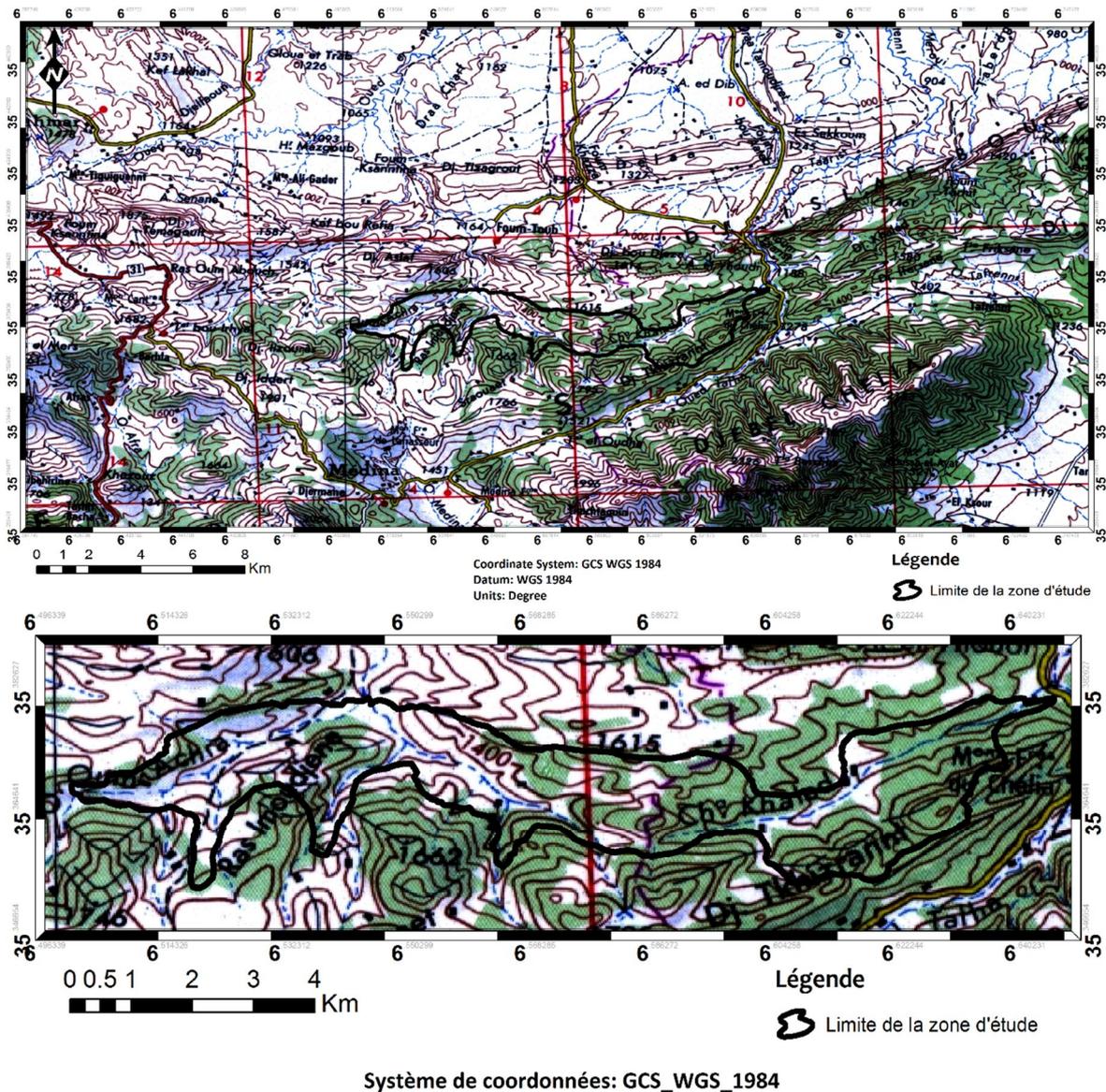
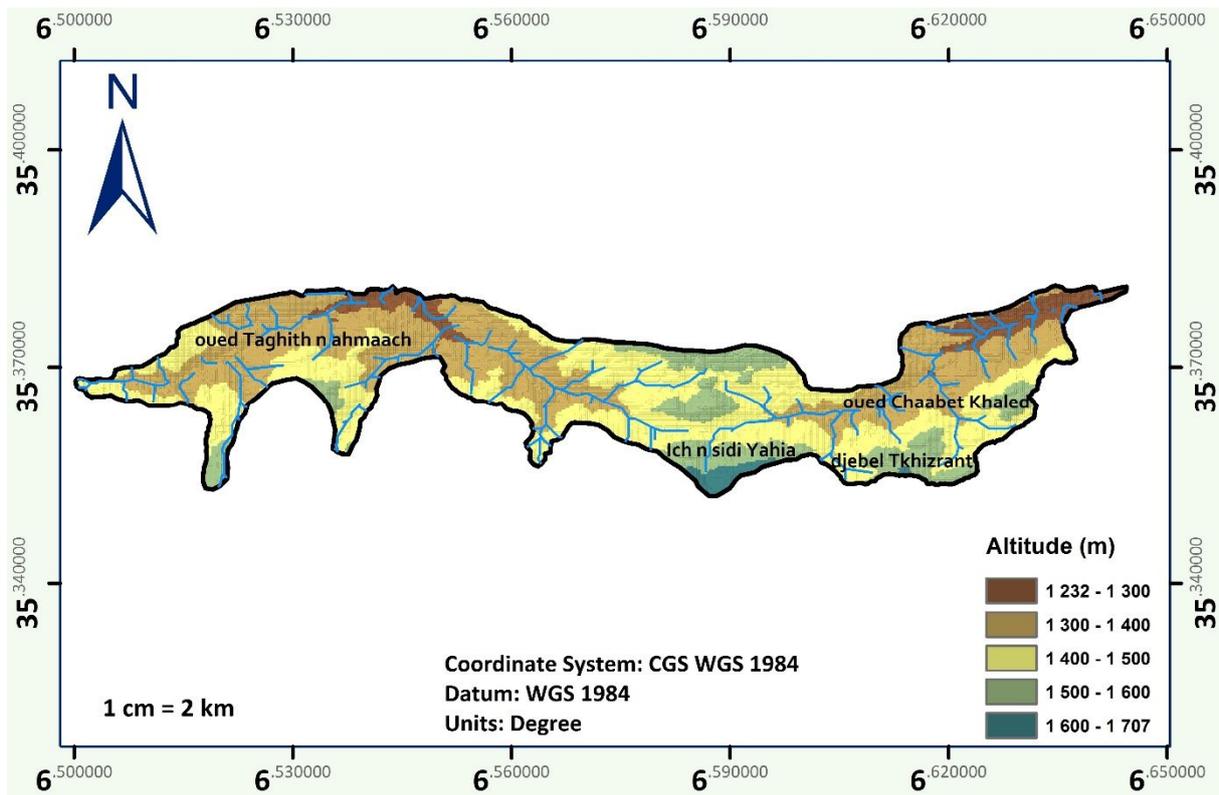


Figure II.10 - Carte de délimitation de la zone d'étude.

## 2.2. Contexte local

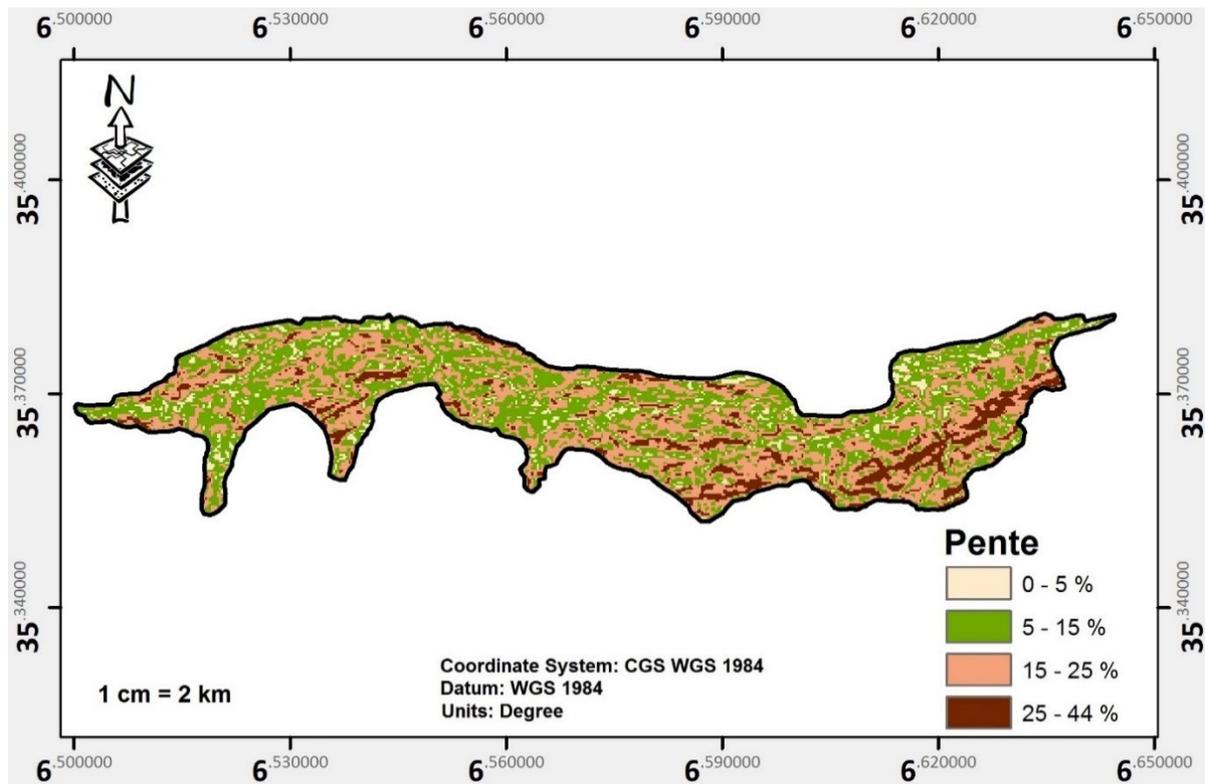
### 2.2.1. Cadre géomorphologique, géologique et pédologique

Plus précisément, dans la moitié nord du massif de l'Aurès et sur le piémont nord de djebel Chélia, se situe la zone d'étude, considérée comme étant l'unique endroit aurasién abritant le chêne faginé. Cette région, et pour sa partie est appartient à la forêt domaniale d'Ait Oudjana (Béni Oudjana). Elle se localise entre 35° 34 à 35° 40 de latitude nord et de 6° 50 à 6° 65 de longitude est, et elle dépend administrativement de la commune de Foum-Toub (Imi n Toub), daïra d'Ichemoul, wilaya de Batna et de la commune de Yabous, daïra de Bouhmama, wilaya de Khenchela ; elle est limitée au sud et à l'ouest par la ville d'Ichemoul, au nord par la ville de Foum-Toub, et à l'est par les monts de Chélia et la ville de Yabous (fig. II.9 & II.10).



**Figure II.11** - Carte hypsométrique et de réseau hydrographique de la région d'étude, générée à partir du modèle numérique de terrain (MNT).

L'utilisation du modèle numérique de terrain (MNT) de type SRTM (30 m de résolution) acquis par le biais de la base des données (U.S. Geological Survey, 2017) nous a permis de réaliser une présentation cartographique des données géographiques et orographiques en utilisant le logiciel QGIS version 2.18.11 (Quantum GIS Development Team, 2016), et d'établir ainsi les cartes thématiques suivantes : la carte d'exposition des versants, la carte hypsométrique et de réseau hydrographique et la carte des classes des pentes. L'aire d'étude est caractérisée par son aspect typiquement montagneux, elle se compose en fait de deux parties naturelles distinctes (fig. II.11). À l'est, le paysage est dominé par les terrains agricoles et les forêts d'oued Chaabet Khaled et par la forêt de djebel Tkhizrant (culminant à 1795 m), qui lui-même forme une ligne de crêtes avec de plis parallèles orientés de sud-ouest vers le nord-est. Ces plis sont à leur tour séparés du mont de Chélia par l'oued Talha (fig. II.10). À l'ouest, le milieu est caractérisé principalement par des terrains de hautes altitudes à vocation agro-sylvo-pastorale (1400 m en moyenne), dont la dénivellation est moyennement importante. La région d'étude est incisée par plusieurs oueds de longueurs et de largeurs différentes, dont les principaux sont l'oued de Taghith nahmaach (Khanget Maach) rejoignant celui de Chaabet Khaled à Ich n sidi Yahia (fig. II.11).

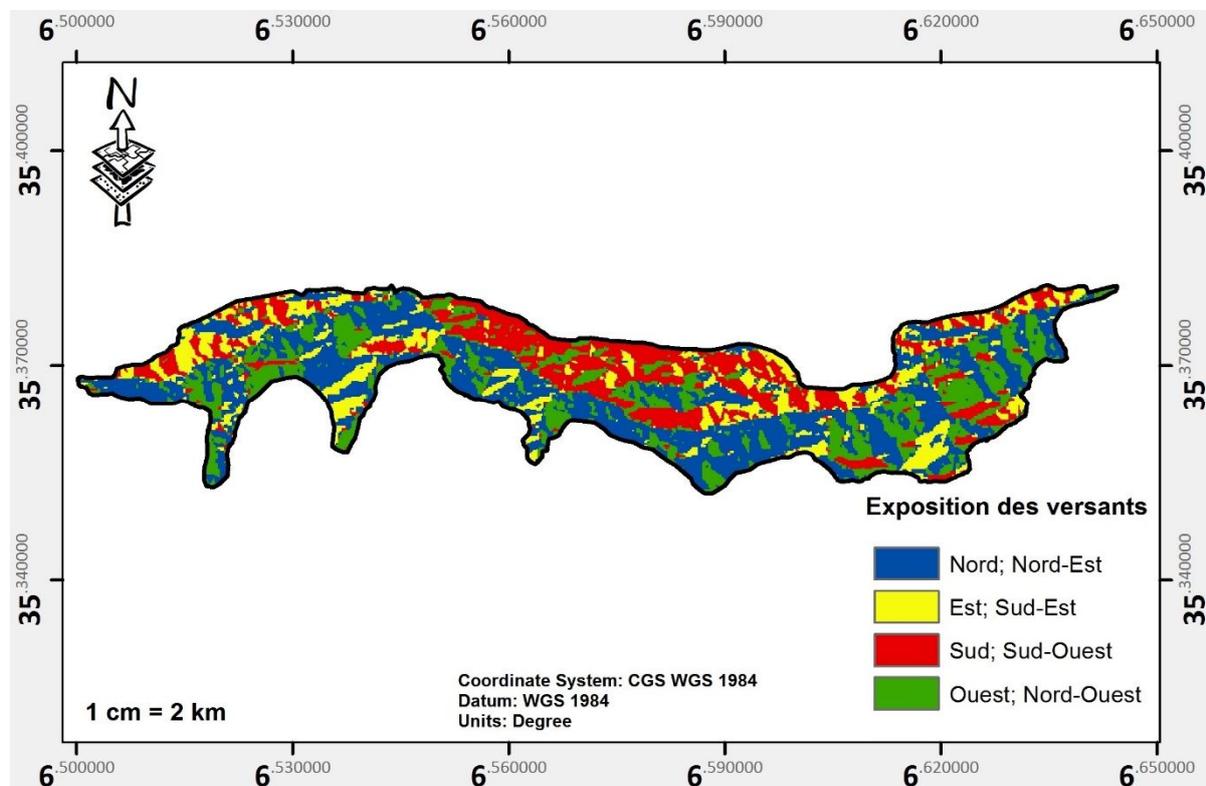


**Figure II.12** - Carte des classes des pentes dans la région d'étude, générée à partir du modèle numérique de terrain (MNT).

Le relief est très diversifié, quoiqu'une grande partie des terrains (41%) présente une topographie accidentée avec une pente allant du 15% à 25%, caractérisant les régions montagneuses qui se repartaient sur l'ensemble de la région (fig. II.12). La classe des pentes allant de 5 % à 15% représente à elle 40% de la totalité des terrains, elle caractérise les zones de piémonts prolongeant des massifs montagneux (fig. II.12). La classe des fortes pentes (entre 25 % et 44%) est représentée ici par les zones montagneuses et les falaises, dont la ligne de crêtes de djebel Tkhizrant est l'élément le plus représentatif. Cette catégorie concerne 12% de la surface totale (fig. II.12). La classe des pentes (0% à 5%) couvre uniquement 7% de la superficie totale, témoignant ainsi de l'aspect accidenté de la région d'étude (fig. II.12). Cette catégorie est représentée essentiellement par des terrains de faible pente, tels les fonds de vallées, les terrains agricoles et les collines des piémonts. Une variabilité en matière d'exposition des versants est aussi remarquable, engendrant ainsi une diversité de répartition des espèces. Étant donné que le choix de la zone d'étude est orienté par la présence de chêne faginé, les expositions caractérisant le versant nord (nord et nord-est) représentent une grande proportion des terrains (43%) (fig. II.13). Ce versant est occupé essentiellement par des forêts de pin d'Alep et de chêne vert, des préforêts, et plus rarement par des formations ouvertes et des garrigues de chêne vert et des terrains agricoles. Les espèces caractéristiques des milieux humides sont représentées principalement au niveau des habitats forestiers par *Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière, *Acer monspessulanum* L., *Quercus faginea* subsp. *faginea*, *Rosa montana* Chaix ex Vill., *Crataegus monogyna* Jacq., *Geranium robertianum* L., etc. Le chêne faginé se rencontre par ailleurs le long des ravins depuis la source principale qui prend naissance à Taghith nahmaach et qui continue jusqu'à

Chaabet Khaled, près du barrage de Tagharist (Yabous, Khenchela) (fig. II. 10). Sur le versant sud, ce sont plutôt les formations ouvertes et les garrigues de chêne vert et les terrains agricoles qui dominent le paysage. Parmi les taxons les plus répandus, nous citons, *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) T.Durand & Schinz, *Calicotome spinosa* (L.) Link, *Genista microcephala* Coss. & Durieu, *Erinacea anthyllis* Link., *Astragalus armatus* subsp. *numidicus* (Coss. & Durieu ex Murb.) Tietz.

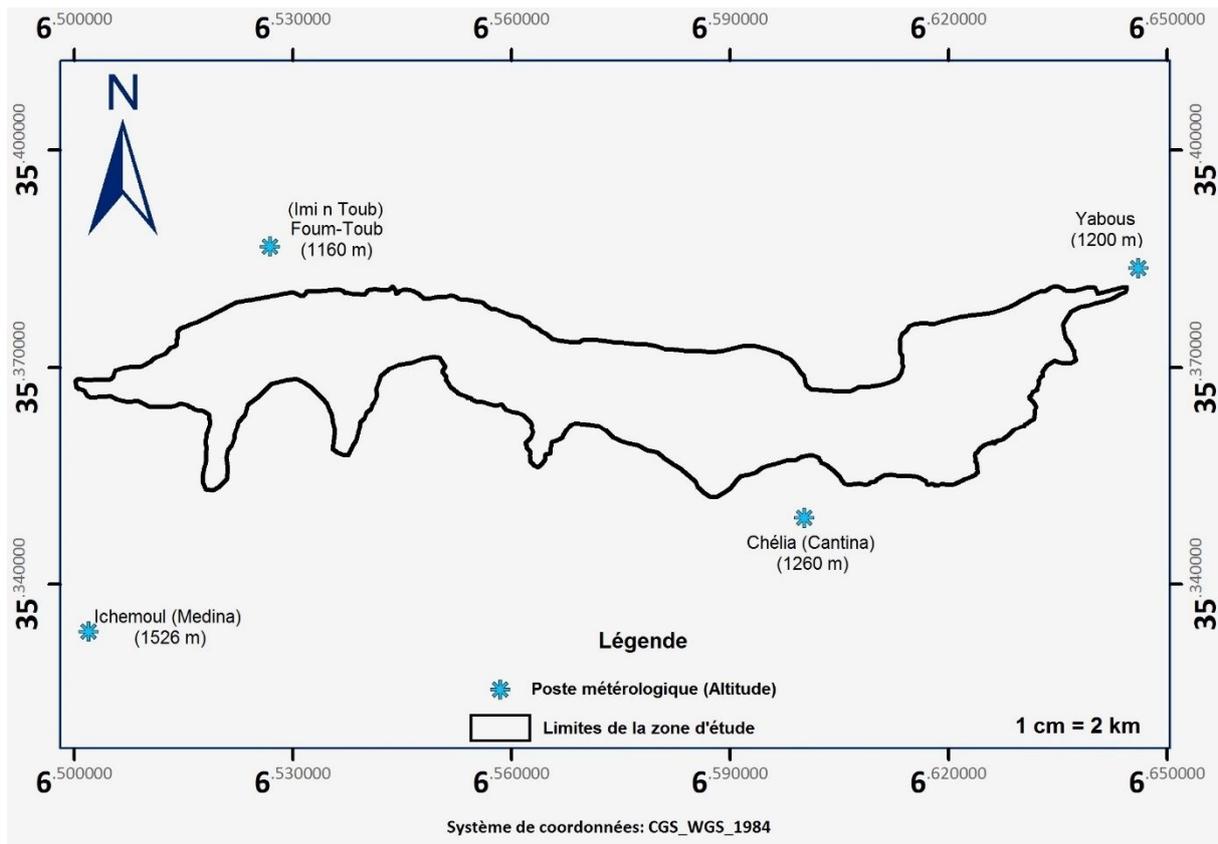
Les sols rencontrés au niveau de cette région notamment à Chaabet Khaled et à djebel Tkhizrant sont des rendzines (peu évolués) brunifiés (calcimagnésiques) reposant sur des faciès lithologiques à tendance marno-calcaire du Turonien (Abdessemed 1981, BNEDER 2010), caractérisés par une faible charge caillouteuse en surface, renfermant une activité biologique importante, une bonne porosité, une texture équilibrée et une bonne structuration d'agrégats. Ces sols abritent également une fertilité chimique appréciable, un pH (potentiel hydrogène) moyennement alcalin et une bonne teneur en matière organique, avec une absence remarquable de salinité (BNEDER 2010).



**Figure II.13** - Carte d'exposition des versants dans la région d'étude, générée à partir du modèle numérique de terrain (MNT).

### 2.2.2. Cadre climatique

Afin d'approcher le climat de la zone d'étude, et pour mieux comprendre les exigences climatiques et bioclimatiques du chêne faginé dans la région de l'Aurès, une étude climatique a été effectuée, tout en utilisant les données existantes issues des postes météorologiques contournant la zone d'étude et qui se trouvent sur les deux expositions nord et sud (fig. II.14, tableau II.5). Malheureusement, seuls les relevés pluviométriques ont été utilisés pour cette étude en raison de l'absence de données des autres paramètres climatiques.



**Figure II.14** - Carte de répartition des postes météorologiques par rapport à la zone d'étude.

### 2.2.2.1. Les précipitations

On constate du tableau II.5 que les précipitations sont irrégulières au niveau des quatre postes météorologiques de référence. La quantité moyenne annuelle des pluies reçues oscille entre 362 mm (à Yabous) et 533 mm (à Cantina). Les postes situés sur les versants nord (à l'exception du poste de Yabous) sont relativement plus arrosés que le poste d'Ichemoul, situé à haute altitude (1526 m) et sur versant sud. Cela montre que la variation des précipitations est en fonction de l'altitude (une compensation altitudinale dans le cas du poste d'Ichemoul) et de l'exposition des versants (Seltzer 1946).

La quantité de précipitations tombées est très variable et divulgue une forte irrégularité annuelle pour l'ensemble des postes de référence, les stations de Chélia et d'Ichemoul ont enregistré le maximum d'années pluvieuses (13 ans) ; la moyenne annuelle maximale à la région de Chélia au cours de l'année 1976-1977 était de l'ordre de 771.2 mm/an. Durant l'année suivante (1977-1978), ce même poste a enregistré la moyenne annuelle la plus faible (252.7 mm/an) (tableau II.6).

**Tableau II.6 - Pluviométrie moyenne annuelle des postes météorologiques de référence.** PMA : totaux de précipitations moyennes annuelles ; IAO : Intervalle d'années d'observation ; AO : nombre d'années d'observation ; AP : nombre d'années pluvieuses (l'année est pluvieuse lorsque la moyenne de précipitations est supérieure à celle de la période considérée) ; APP : l'année la plus pluvieuse de la période considérée ; P1 : la moyenne des précipitations de APP ; AMP : l'année la moins pluvieuse de la période

considérée ; P2 : la moyenne de précipitations d'AMP. Les années avec des résultats non complètes ont été exclues de l'étude.

Station	Versant	PMA	IAO	AO	AP	APP	P1	AMP	P2
Chélia (Cantina)	Nord	533.60	1976-2003	23	13	1976-1977	771.2	1977-1978	252.7
Ichemoul	Sud	414.60	1975-1999	24	13	1975-1976	546.4	1996-1997	229.9
Foum-Toub	Nord	416.63	1975-2004	27	11	1988-1989	686.5	1977-1978	203.8
Yabous	Nord	362.52	1981-2005	23	7	2002-2003	534.5	1995-1996	138.8

Dans le but de classer les saisons par ordre pluviométrique décroissant et pour déterminer le régime saisonnier des stations (saisons humides et sèches), nous avons calculé le coefficient relatif saisonnier (CRS) développé par Musset (1935), qui se calcule comme suit :  $PMS \times 4 / PMA$  (PMS : totaux de précipitations moyennes de chaque saison ; PMA : totaux de précipitations moyennes annuelles). Les saisons à coefficient supérieur à 1 ( $CRS > 1$ ) sont considérées comme étant humides alors que celles à coefficient inférieur à 1 ( $CRS < 1$ ) sont considérées plutôt sèches.

La distribution saisonnière des précipitations indique que l'ensemble des postes localisés sur les versants nord présentent un régime saisonnier de type PAHE (Yabous, Chélia et Foum-Toub), alors que le poste d'Ichemoul situé sur versant sud présente un régime saisonnier de type APHE ; pour les deux régimes, les saisons printanières, automnales et hivernales sont les plus arrosées (saisons humides,  $CRS > 1$ ), tandis que les précipitations sont rares pendant les saisons estivales (saison sèche,  $CRS < 1$ ). Pour le régime APHE, une pluviométrie maximale au printemps coïncide remarquablement avec la reprise végétative des plantes ; la quantité moyenne saisonnière oscille entre 113.20 mm (à Yabous) et 148.80 mm (à Chélia) (tableau II.7). Il est intéressant de noter ici que durant la saison estivale, la présence particulière du chêne faginé dans les ravins et sur les versants nord lui permet vraisemblablement de compenser tout déficit hydrique.

**Tableau II.7 - Variation saisonnière de précipitations dans les stations étudiées.**

PMS : totaux des précipitations moyennes de chaque saison ; PMA : totaux des précipitations moyennes annuelles ; RS : type de régime saisonnier de précipitations ; CRS : Coefficient relatif saisonnier de Musset.

Station	hiver		Printemps		Été		Automne		PMA	RS
	PMS	CRS	PMS	CRS	PMS	CRS	PMS	CRS		
Chélia (Cantina)	133.70	1.00	148.80	1.11	109.40	0.82	141.70	1.06	533.60	PAHE
Ichemoul	107.6	1.04	117.9	1.14	64.1	0.61	125	1.21	414.60	APHE
Foum-Toub	109.65	1.05	131.48	1.25	61.11	0.59	110.51	1.06	416.36	PAHE
Yabous	93.29	1.19	113.20	1.25	48.50	0.53	108.62	1.03	362.52	PAHE

### **2.2.2.2. L'enneigement**

Nous ne disposons pas malheureusement de données récentes sur l'enneigement, cependant, Seltzer (1946) montre que la région de Fom-Toub située à 1220 m reçoit une moyenne de 21.3 jours de neige par an. Compte tenu de l'altitude plus élevée au niveau de la zone d'étude (oscillant entre 1200-1700 m d'altitude) on pourrait s'attendre à un nombre de jours d'enneigement plus élevé, avec un manteau neigeux plus épais.

### **2.3. Synthèse**

Les données climatiques disponibles ne permettent pas de mieux caractériser le climat de la région d'étude. Néanmoins, les valeurs des précipitations montrent que cette région appartient au climat méditerranéen à étage bioclimatique de végétation semi-aride, avec une saison sèche et une humide, et une pluviométrie révélant une irrégularité annuelle pouvant atteindre 533 mm par an.

Quant aux conditions de répartition du chêne faginé relatives à la pédologie et au climat, il semble que l'espèce est indifférente en matière de composition physico-chimique du substrat, elle se contente ainsi d'une pluviométrie moyenne variant de 362 mm à 533 mm par an. Sa localisation et sa distribution très particulière le long des ravins et sur les versants nord, et ses caractéristiques physiologiques et physiologiques lui permet de bien s'adapter aux conditions de son milieu, climatiques notamment (cf. partie I - chapitre 2). En fait, le système racinaire développé combiné avec d'autres fonctions adaptatives de l'espèce, et son évolution sur des sols à fortes capacités de rétention d'eau, le cas des vallées et d'oueds, lui permettent de mieux s'adapter aux conditions climatiques méditerranéennes (Castro-Díez et al. 1997).

## **3. Analyse typologique et cartographique**

### **3.1. Matériel et méthodes**

Les objectifs typologiques et cartographiques de cette étude visent principalement à identifier les différentes caractéristiques écologiques de la région d'étude et de fournir une description cartographique aussi fine et précise que possible de l'ensemble des formations végétales existantes. La totalité des formations forestières réparties dans la zone d'étude a été identifiée et délimitée en recueillant leurs coordonnées géographiques sur terrain par moyen d'un GPS. En outre, le logiciel Google Earth Pro (version 7.1.1) a été aussi utilisé pour mieux délimiter le barrage de Tagharist et les parties les plus difficiles à atteindre, en l'occurrence, les crêtes des monts, les falaises, etc. Les polygones résultants sont intégrés dans le gestionnaire QGIS afin de générer une carte d'occupation du sol. Ainsi, l'estimation de la hauteur des arbres est effectuée par la méthode de la croix du bûcheron, alors qu'un ruban gradué est utilisé pour calculer leur circonférence.

### **3.2. Résultats et discussions**

L'aire d'étude recèle une grande richesse taxonomique et écosystémique ; elle forme une mosaïque de peuplements formés de différentes espèces, parmi lesquelles, le pin d'Alep, le chêne vert, le chêne faginé, le cèdre de l'Atlas, l'érable de Montpellier (*Acer monspessulanum* L.), etc. Ainsi, à partir des données obtenues, nous avons identifié les différents habitats et formations suivants (fig. II.15) :

### 3.2.1. Les formations à chêne faginé

Le chêne faginé se rencontre principalement en mélange avec d'autres espèces (le pin d'Alep, le cèdre de l'Atlas, le chêne vert...) sur les deux versants, et le long des ravins et des oueds, le cas le plus fréquent (fig. II.16). En effet, les deux principaux oueds abritant ce chêne (Taghith nahmaach et Chaabet Khaled) s'étalent sur une longueur de près de 17 km. Cette espèce occupe principalement les strates arborescentes sous forme de gros pieds, et dont la hauteur dépasse souvent les dix mètres. Sa présence dans les strates arbustives étant moins importante (fig. II.17). Elle constitue rarement des peuplements purs. Cependant, sur les hauts sommets d'exposition nord de djebel Tkhizrant, à 1500 m d'altitude, se situe le peuplement de Lglalath qui s'étend sur une surface de 2.5 ha (fig. II.18). La strate arborescente est formée par des arbres qui ne dépassent pas 1.5 m de haut et dont la circonférence est inférieure à 30 cm. Le taux de recouvrement y est élevé, soit de l'ordre de 80%. Cette faible dimension ayant résulté de l'ébranchage incessant et intense qui a pour objectif de faciliter le pacage du bétail (Abdessemed 1981). La strate buissonnante est constituée essentiellement par *Calicotome spinosa* (L.) Link et *Erinacea anthyllis* Link., avec un taux de recouvrement d'environ 60%. La strate herbacée est très dense (le recouvrement est de l'ordre de 70%) et assez riche en espèces, parmi les plus fréquentes, citons : *Bromopsis erecta* (Huds.) Fourr., *Trachynia distachya* (L.) Link, *Carex halleriana* Asso, *Helianthemum cinereum* subsp. *rotundifolium* (Dunal) Greuter & Burdet, *Asperula hirsuta* Desf., *Catananche caerulea* L., *Xeranthemum inapertum* (L.) Mill, *Arenaria serpyllifolia* L., *Catapodium rigidum* (L.) C. E. Hubb. (Abdessemed 1981).



**Figure II.16** - chêne faginé (à feuillage jaune) en mélange avec le pin d'Alep le long d'Oued Chaabet Khaled, avec de chêne vert en sous-bois (décembre 2015).



**Figure II.17** - Gros pied de chêne faginé (à feuillage jaune) le long d'un petit ravin, en présence de quelques jeunes pieds mêlés avec le chêne vert ou encore avec le pin d'Alep, plus en hauteur (Jar El kiffan, Yabous, décembre 2015).

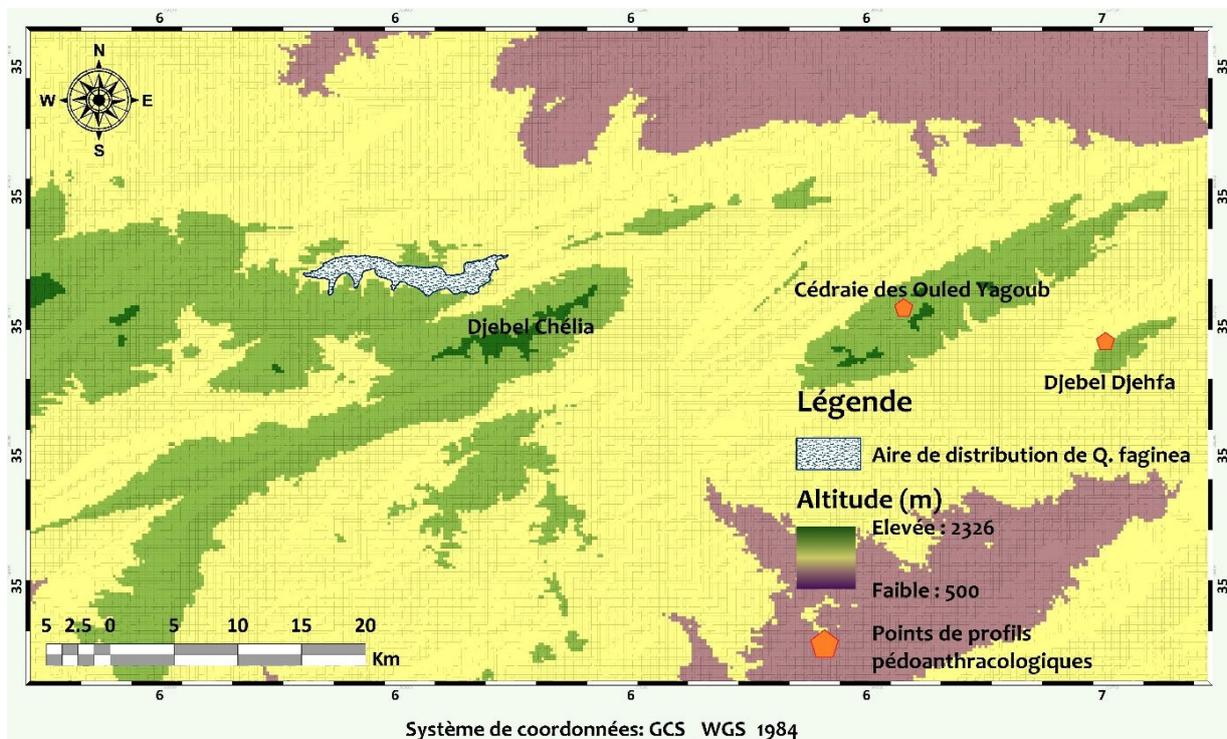


**Figure II.18** - La pinède à chêne vert (très dense en sous-bois) du versant nord de djebel Tkhizrant, en présence de quelques pieds de chêne faginé (à feuillage jaune) à basse altitude et sur le sommet du mont (la formation de Lglalath) (décembre 2015).

La formation pure et unique de Lglalath révèle des signes d'un feu de forêt (présence de la cendre), ce qui nous donne une idée sur l'origine probable de la dominance de ce chêne dans cette zone, de l'âge relativement jeune des arbres et de l'absence des sujets adultes. En outre, dans la pinède de Tkhazith, et après un feu de forêt, le chêne faginé prend l'ampleur et couvre partiellement la partie incendiée (fig. II.19). Ceci fait en sorte que l'espèce possède désormais un caractère dominant et un potentiel notamment envahissant des espaces vides. À ce propos, Boudy (1950) note que *Q. faginea* (s.l) arrive à se régénérer même sans l'effet protecteur du sous-bois (fig. II.19), un caractère très rare chez les espèces du genre *Quercus*, selon le même auteur.



**Figure II.19** - Régénération naturelle du chêne faginé sur la parcelle incendiée de la pinède de Tkhizrant (à gauche), et sans couvert, près de l'arbre mère (à droite) (mai, 2016).



**Figure II.20** - Distribution actuelle de *Q. faginea* dans l'Aurès, ainsi que deux sites représentant sa potentielle existence au passé, selon les études pédoanthracologiques de Beghami (2013) et Kherchouche (2013).

Les analyses pédoanthracologiques menées par Beghami (2013) et Kherchouche (2013) suggèrent qu'il existait auparavant un chêne caducifolié, très probablement *Q. faginea* dans la cédraie d'Ait Yagoub (Ouled Yagoub) et à djebel Djehfa, situés à l'est de la région d'étude (figure II.20). Ces résultats suggèrent donc que le chêne faginé, ou encore un chêne caduc très proche, probablement un ancêtre qui a disparu, avait une aire de distribution plus large, dont certaines conditions défavorables, notamment climatiques et humaines auraient vraisemblablement entraîné sa disparition.

### **3.2.2. Les formations à pin d'Alep**

La pinède de la région appartient à la forêt d'Ait Oudjana, qui constitue avec les peuplements d'Ait Yagoub et d'Ait Mloul, les plus belles futaies de l'Aurès et de l'Algérie (Boudy 1955). Couvrant une superficie de 891 ha, le pin est l'espèce dominante dans la région d'étude. Il forme des peuplements en bon état et bien venants surtout à djebel Tkhizrant et à Chaabet Khaled (fig. II.21), qui représentent à eux deux 51% de la totalité des peuplements, et couvrent une superficie de 454 ha. La pinède se situe entre 1200 m à 1600 m d'altitude sur des pentes comprises entre 5 % et 44%, tout en occupant surtout les versants nord.

Il est à noter que la régénération naturelle de cette essence est quasiment absente, ce qui pourrait être en liaison avec la forte densité des peuplements, dont le recouvrement moyen excède dans la plupart des cas 50%. Elle forme des peuplements souvent mêlés avec le chêne vert, ou encore avec le cèdre de l'Atlas et le chêne faginé. Le groupement de la pinède à chêne vert représente 87% de la surface totale occupée par cette espèce. Il se localise surtout dans la partie est de la zone d'étude à Chaabet Khaled et à djebel Tkhizrant sur versant nord, et à Bouylief, Tkhathith et Tmili sur versant sud, tout en occupant notamment les reliefs accidentés. Ces peuplements se caractérisent généralement par une densité très élevée, avec un taux de recouvrement moyen de plus de 75% ; la densité de la strate arborescente varie de 45% à 75%, alors que la densité de la strate arbustive est comprise entre 35% et 65% (BNEDER 2010). Cette formation se rencontre par ailleurs dans la partie est de l'aire d'étude, essentiellement sur versant nord, à Taghith nahmaach, Maachra, Hit n Ayoub et Ich Imoudjane, sur une tranche altitudinale allant de 1350 m à 1500 m, et sur des pentes variant entre 5% et 25%. Elle présente un couvert végétal avec un taux de recouvrement moyennement dense (plus de 50%) ; le recouvrement de la strate arborescente est plutôt relativement faible, il dépasse rarement un taux de 30%. Sur l'ensemble des peuplements de cette catégorie, une présence très faible du chêne faginé est notée. Concernant le chêne vert, il est rarement présent dans la strate arborescente, mais on le rencontre en pieds isolés dans les hautes altitudes, sur les crêtes et dans les oueds. Il forme par contre la strate arbustive dense, accompagné parfois du genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus* L.). La densité importante des strates de ces peuplements, et notamment la strate arbustive, est à l'origine de l'appauvrissement des espèces herbacées (BNEDER 2010).



**Figure II.21** - Vue générale de la partie est de l'aire d'étude (les garrigues de chêne vert de Tkhabith et la pinède de djebel Tkhizrant, à l'avant-plan) entrecoupée par les terrains agricoles de Chaabet Khaled. En arrière-plan, les monts du Chélia recouverts d'un peu de neige (mars 2019).

Sur les crêtes et les hautes altitudes (à partir de 1400 m) du versant nord du djebel Tkhizrant, on remarque la présence de quelques pieds de cèdre de l'Atlas qui ont échappés aux incendies de forêt durant la guerre de libération (Abdessemed 1981). La densité moyenne du couvert végétal est moyennement élevée, elle dépasse 50%. Le recouvrement de la strate arborescente dominée par le pin ne dépasse guère 25%. Cette dernière montre ainsi une présence très peu significative du chêne faginé. Le chêne vert forme la strate arbustive en présence de genévrier oxycèdre, dont le recouvrement est estimé à 75%. Une portion de ce peuplement (qui s'étend sur 11 ha environ) en fait partie intégrante de la zone d'étude, dont le reste n'a pas été associé à l'aire d'étude en raison de l'absence de chêne faginé. Également, sur le piémont nord du djebel Tkhizrant, le cèdre en présence de chêne faginé s'associe au pin dans un peuplement dense de quelques hectares (4 ha), avec un recouvrement moyen de la végétation excède 75%, et dont la densité de la strate arborescente est de l'ordre de 45%. La strate arbustive dense (60%) est formée essentiellement par le chêne vert, avec une présence faible de genévrier oxycèdre et de frêne dimorphe (*Fraxinus dimorpha* Coss. & Durieu).

Les peuplements situés le long de l'oued Chaabet Khaled (peuplements de Chaabet Khaled et Bouyilef) et des ravins humides de djebel Tkhizrant (peuplements d'Iaarqab n Tacheta et de Tizi n laaseth) sont généralement les plus denses, avec un recouvrement de la végétation moyen allant de 50% à 80%. La strate arborescente est caractérisée par le pin, le chêne faginé et plus rarement par le chêne vert (fig. II.16). La présence de chêne faginé est marquée généralement par des pieds de grosses dimensions, avec un taux de

recouvrement de l'ordre de 15%. Sur les pentes, ce chêne occupe principalement les strates arborescentes intermédiaire (5-15m) et basse (<5m), et arbustive plus rarement, avec un taux de recouvrement très varié, oscillant de 5% à 100%. Il forme en fait la strate arborescente basse à Iaarqab n Tacheta avec des arbres qui ne dépassent guère 6 m de haut, et dont le recouvrement est estimé à 40%. La strate arborescente haute (>15m) est caractérisée par un recouvrement faible de l'ordre de 30%, elle est formée particulièrement par le pin. Le chêne vert constitue souvent la strate arbustive et ligneuse notamment base et moyenne le long des oueds et sur les hautes altitudes. Il est accompagné parfois dans la strate arbustive par l'oxycèdre, le frêne dimorphe et le calicotome épineux (*Calicotome spinosa* (L.) Link).

L'étude phytoécologique menée par Abdessemed (1981) sur la formation à chêne faginé de Lglalath et les formations à pin d'Alep abritant le chêne faginé, notamment les peuplements d'Iaarqab n Tacheta et de Tizi n laaseth, avait montré une présence peu significative, voire même rare, de certaines espèces sylvatiques, témoignant probablement d'une ambiance sylvatique plus développée qu'elle ne l'est aujourd'hui. Parmi lesquelles : *Cephalanthera damasonium* (Mill.) Druce, *Cedrus atlantica* (Endl.) Carrière, *Thalictrum minus* L., *Epipactis helleborine* (L.) Crantz, *Coronilla valentina* subsp. *speciosa* (Uhrová) Greuter & Burdet. De plus, quelques espèces alticoles ont été notées, citons : *Ammoides atlantica* (Coss. & Durieu) H. Wolff, *asphodeline lutea* (L.) Rchb, *Carduus nutans* L., *Arabis hirsuta* (L.) Scop.

Selon le même auteur, les espèces appartenant aux Quercetea ilicis sont bien représentées par *Quercus ilex* L., *Pinus halepensis* Mill., *Juniperus oxycedrus* L., *Teucrium chamaedrys* L., *Rubia peregrina* L., *asparagus acutifolius* L., *Phillyrea latifolia* L., *Clematis flammula* L. Les espèces des Ononido-Rosmaninetea sont bien représentées, parmi lesquelles les plus notables : *Calicotome spinosa* (L.) Link, *Carex halleriana* Asso, *Erinacea anthyllis* Link., *Asperula hirsuta* Desf., *Helianthemum pilosum* (L.) Mill., *Helianthemum cinereum* subsp. *rotundifolium* (Dunal) Greuter & Burdet, *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) T.Durand & Schinz, *Coronilla minima* L., etc.

Les autres espèces sont nombreuses et composées surtout d'espèces annuelles ; les plus fidèles sont : *Catananche caerulea* L., *Bromopsis erecta* (Huds.) Fourr., *Xeranthemum inapertum* (L.) Mill, *Arenaria serpyllifolia* L., *Catapodium rigidum* (L.) C. E. Hubb., *Microthlaspi perfoliatum* (L.) F. K. Mey., *Dactylis glomerata* L., *Anacyclus clavatus* (Desf) Pers., etc. (Abdessemed 1981).

### 3.2.3. Les formations à chêne vert

Le chêne vert est la deuxième espèce forestière et préforestière dominante au niveau de l'aire d'étude. Il se rencontre à l'état pur ou en mélange avec d'autres espèces (le pin d'Alep, le cèdre de l'Atlas, le chêne faginé, le genévrier oxycèdre et l'érable de Montpellier) en occupant notamment la strate arbustive ou encore moins souvent la strate arborescente. Il forme rarement des garrigues denses en mélange avec le frêne dimorphe sur versant nord ; cette formation se situe à 1350 m d'altitude et s'étend sur une surface de 3 ha. Sur les pentes (entre 15% et 44%) d'exposition nord du djebel Tkhizrant, près du peuplement de Lglalath, on rencontre un peuplement mixte formé par de beaux et gros spécimens de chêne vert et d'érable de Montpellier, couvrant 4 ha de superficie. Avec une

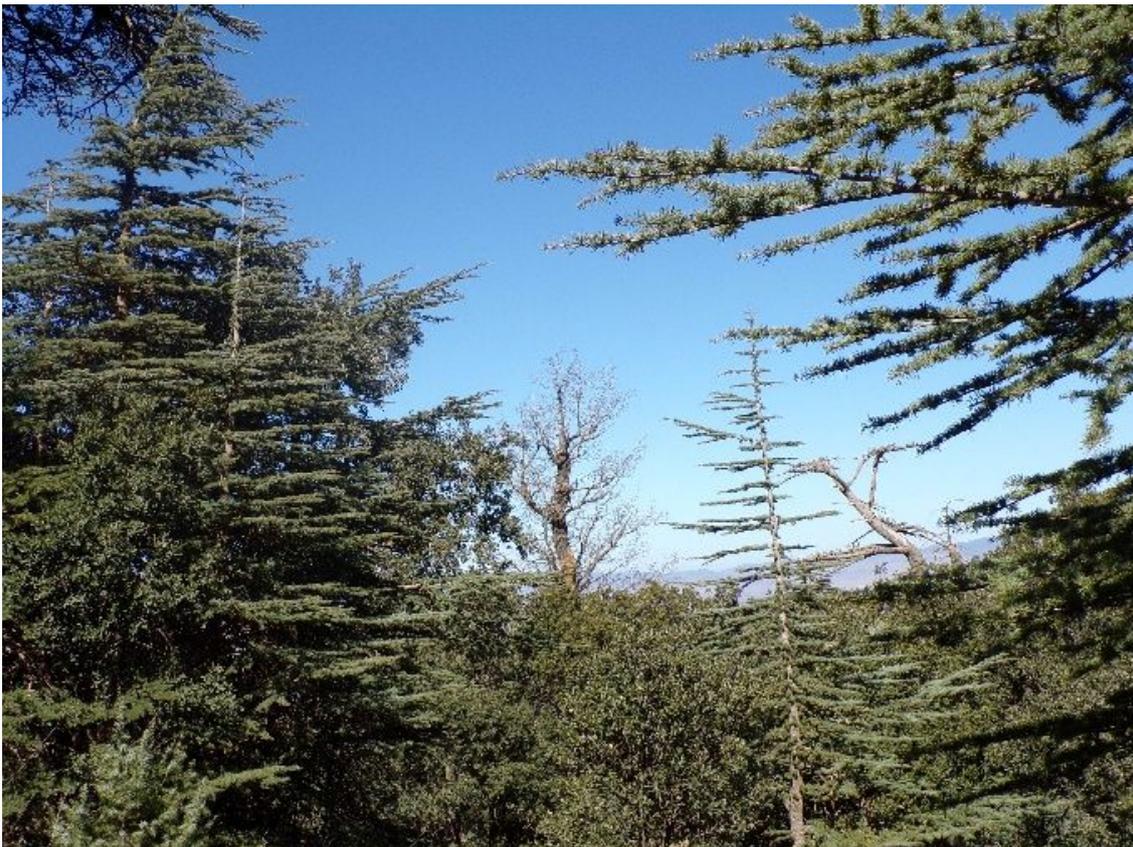
surface totale de 550 ha et sur une tranche altitudinale allant de 1300 m à 1600 m, ce chêne constitue sur les deux versants des formations généralement ouvertes et des garrigues qui caractérisent notamment les zones d'altitudes de la partie ouest de la région d'étude (fig.II.22). Les formations ouvertes représentent une grande partie de la zone d'occupation de l'espèce. Elles sont généralement entrecoupées par des terrains agricoles (fig.II.22), dont de gros arbres de chêne vert montrant une distribution éparpillée sont répartis sur l'ensemble de la zone. Une répartition semblable, mais aussi plus concentrée sur les ravins et les oueds est notable pour le chêne faginé. Les garrigues de chêne vert se rencontrent souvent sur les pentes et occupent essentiellement les versants nord, les gros sujets caractérisent plutôt les hautes altitudes et les sommets des monts ; le cas d'Ich n tbbal, formé par une futaie bien venante en haute altitude (le recouvrement de la végétation est estimé à 50%) et d'un taillis très dense (> 80%) vers le piémont. D'une manière générale, les formations à chêne vert semblent les plus dégradées ; elles sont issues probablement du défrichement de la forêt (une activité qui a modelé le paysage au cours du temps) et de l'action anthropique qui reste toujours très présente et forte. Ce qui se traduit par un pacage intense et par des coupes sur les arbres, et met encore en péril la pérennité de ces formations et la biodiversité qu'elles contiennent. Parmi les espèces herbacées associées à ces formations, citons : *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) T.Durand & Schinz, *Calicotome spinosa* (L.) Link, *Genista microcephala* Coss. & Durieu, *Erinacea anthyllis* Link., *Astragalus armatus* subsp. *numidicus* (Coss. & Durieu ex Murb.) Tietz., *Asphodelus ramosus* L., *Anisantha rubens* (L.) Nevski, *Avena sterilis* L., *Centaurea acaulis* L., *Leontodon hispidus* L., *Helianthemum cinereum* subsp. *rotundifolium* (Dunal) Greuter & Burdet, *Lysimachia arvensis* (L.) U. Manns & Anderb., *Alyssum granatense* Boiss. & Reut., etc.



**Figure II.22** - Terrains agricoles (en présence de quelques pieds de chênes verts et faginé) entaillant les formations ouvertes de chêne vert sur la partie ouest de la région d'étude (Taghith nahmaach, mai 2016).

### 3.2.4. Les formations à cèdre de l'Atlas

Le cèdre de l'Atlas est l'espèce la moins fréquente dans la région, quelques individus persistent encore sur les hauts sommets et crêtes de djebel Tkhizrant. Il forme ainsi sur versant nord un peuplement mixte à chêne vert, en présence de chêne faginé, de frêne et de pin plus rarement. Il se développe sur les hautes altitudes à fortes pentes (entre 15% et 44%) d'Ich n sidi Yahia, sur une tranche altitudinale allant de 1600 m à 1707 m, en occupant une superficie de 42 ha environ (fig. II.23). Ce peuplement manifeste un état de dégradation de la cédraie, et une dynamique progressive de chêne vert. Il se caractérise par une faible densité de cèdre dans la strate arborescente, estimé à 25%, où il est accompagné par le chêne faginé et plus rarement par le pin. Il en va de même pour les strates herbacées et arbustives, qui divulguent une absence alarmante des jeunes semis de cèdre. Le chêne vert occupe la strate ligneuse intermédiaire, avec un recouvrement moyen de l'ordre de 50%, ainsi que la strate arbustive, qui forme un taillis plus ou moins ouvert, en présence de quelques pieds de l'oxycèdre et de frêne, dont le recouvrement de la strate est inférieur à 40%. Cette formation est mal conservée et l'action anthropique y est assez forte. Cette dernière est marquée par des coupes répétées et un pacage intense, et attestée par une présence significative de certaines espèces héliophiles telles que *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) T.Durand & Schinz, *Calicotome spinosa* (L.) Link, *Asphodelus fistulosus* L.



**Figure II.23** - Cèdre de l'Atlas en mélange avec les chênes faginé (sans feuillage) et vert (Ich n sidi Yahia, mars 2019).

### **3.2.5. Les terrains agricoles**

Ils occupent une superficie importante dans la région (environ 345 ha), et sont établis souvent sur des terrasses alluviales autour des oueds, ou encore sur des terrains accidentés et disposés en terrasse. Les cultures les plus communes sont la céréaliculture et les cultures irriguées notamment l'arboriculture fruitière, dont la plus importante est la pratique du pommier. On note ici que les chênes faginé et vert sous forme de gros arbres, mutilés parfois, sont présents à l'état isolé sur ces terrains.

### **3.3. Conclusion**

L'analyse typologique et cartographique menée nous a permis de dresser un état des lieux de la situation, des potentialités, mais aussi des contraintes qui pèsent sur le fonctionnement des écosystèmes composant l'aire d'étude. Elle met ainsi en évidence les principaux habitats et formations de la région et permet par la suite l'élaboration de la carte d'occupation du sol sur la base de ces derniers. Il ressort de cela que cette région est caractérisée par une richesse et une diversité très remarquable ; elle renferme une multitude d'espèces qui constituent un ensemble d'habitats et formations dont l'origine est le résultat probable de la variété des reliefs, des orientations et de l'activité humaine. Les plus belles forêts se concentrent surtout dans la partie est, et sont constituées principalement par des formations à pin d'Alep, généralement en bon état. Néanmoins, le chêne faginé est présent, le plus souvent à l'état isolé, en mélange avec d'autres espèces, ou encore à l'état pur, très rarement, soumis à une action anthropique intense qui menace sa pérennité. De même pour le cèdre qui semble être très dégradé dans cette zone, un phénomène qui s'explique en partie par une pression humaine exercée sous forme d'une forte exploitation et d'un pacage abusif. De ce fait, la préservation, la protection et la réhabilitation de ce patrimoine écologique et patrimonial deviennent une nécessité, afin d'éviter à court terme une situation irréversible. Cette action humaine avait ainsi modelé fortement le paysage notamment dans la partie ouest, dont les formations à chêne vert de cette zone paraissent les plus dégradées. Ces arbres méritent en fait d'être préservés, tout en prenant en compte les besoins des riverains pour une gestion durable de ces espaces.

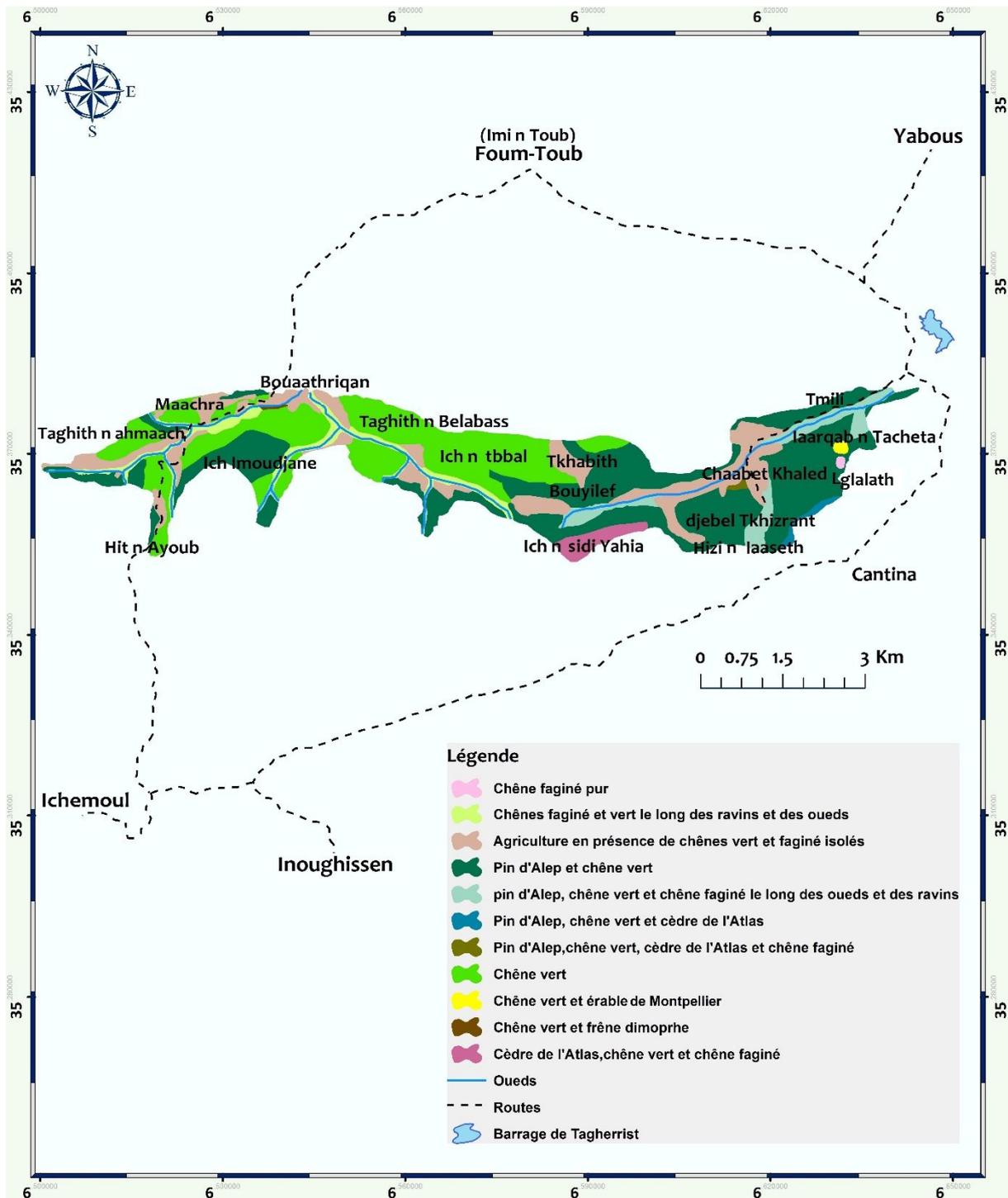


Figure II.15 - Carte d'occupation du sol de la région d'étude.

## CHAPITRE 3 - Indice de Biodiversité Potentielle (IBP) des formations de *Q. faginea* dans l'Aurès

### 1. Introduction

Les approches utilisées classiquement pour évaluer la biodiversité forestière sont basées essentiellement sur les trois principaux niveaux d'organisation taxonomique, génétique et écosystémique (Gosselin & Laroussinie 2004). En outre, d'autres facteurs interviennent dans la description de la biodiversité et la distinction entre ces types selon les niveaux suivants : la biodiversité remarquable qui consiste en une protection des espèces et des habitats menacés ou en voie de disparition ; la biodiversité ordinaire englobant toutes les échelles, du local au national et même à l'international ; et la biodiversité fonctionnelle qui prend en considération le fonctionnement et la durabilité des écosystèmes (Gosselin et al. 2009). Cependant, l'évaluation de la biodiversité est difficile à achever dans son intégralité en raison de l'analyse complémentaire complexe et fastidieuse (Gonin et al. 2012). Pour cela, et afin de mieux appréhender cette diversité et pour orienter les gestionnaires forestiers vers une gestion durable des forêts, un nouvel indice a été développé visant à analyser la biodiversité ordinaire en forêt d'une manière simple et efficace. Il s'agit de l'indice de biodiversité potentielle (IBP) (Larrieu & Gonin 2008), qui consiste à effectuer un diagnostic rapide sur les éléments clés (les 10 facteurs identifiés sont liés au peuplement forestier considéré, de sa gestion, et de son contexte) de biodiversité des espèces forestières permettant d'estimer la biodiversité potentielle d'une forêt au niveau taxonomique et donc sa capacité d'accueil en espèces et en communautés et d'identifier parmi ces éléments ceux déjà favorables à la biodiversité et ceux potentiellement améliorables suite à l'intervention des gestionnaires (Larrieu & Gonin 2008, 2010, Gonin et al. 2012).

L'IBP a été développé initialement pour les forêts continentales et atlantiques de la France métropolitaine dont les caractéristiques de chaque élément clé correspondent aux conditions écologiques et stationnelles de ces domaines. Par ailleurs, des mesures adaptatives ont été effectuées sur ces facteurs de biodiversité afin de les rendre plus conformes aux caractéristiques de la région méditerranéenne et plus particulièrement aux forêts françaises (Gonin et al. 2012, Gonin et al. 2017). En fait, les essences forestières "autochtones" à recenser, la taille de végétation en différentes strates et les seuils de grosseur du bois vivant et mort ont été revus, tout en cherchant une cohérence optimale avec les particularités de cette région notamment les variations climatiques entre les deux saisons les plus remarquables (des hivers humides et des étés marqués par des périodes de sécheresse) et l'action anthropique, qui ont modelé la composition et la structure de végétation forestière et en conséquence les caractéristiques de sa biodiversité (Gonin et al. 2012). Gonin et al. (2017) souligne à cet effet que l'IBP est envisageable sur les forêts méditerranéennes partageant les mêmes caractéristiques que leurs homologues français.

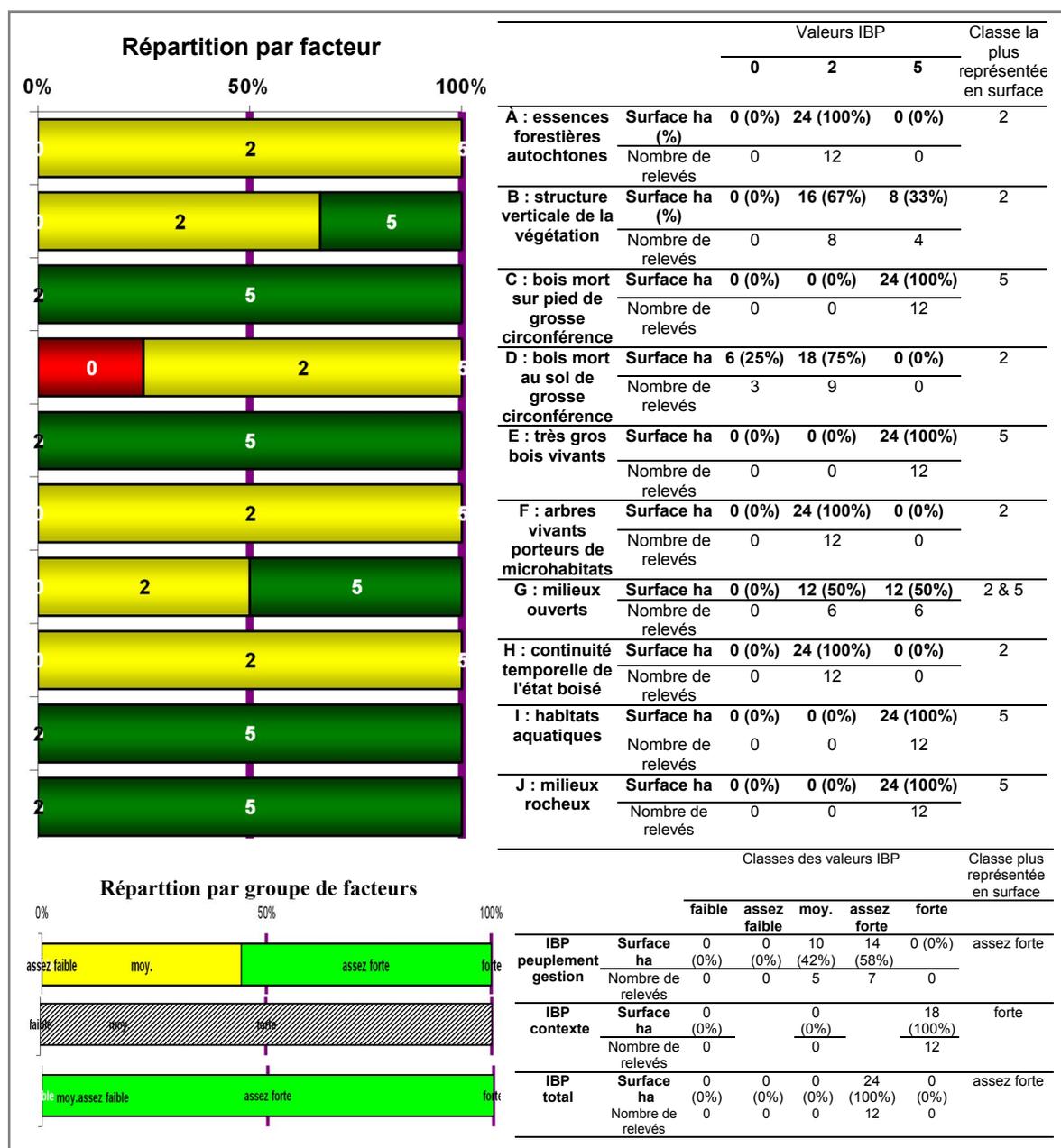
Parmi les étages de végétation dans cette région où l'IBP est utilisable (Gonin et al. 2012), nous pourrions citer la végétation des hautes altitudes de la rive sud de la méditerranée. L'exemple le plus intéressant et le plus représentatif de la biodiversité forestière est sans doute celui des forêts mixtes de la région de l'Aurès (nord-est de l'Algérie) représentée

par un peuplement mixte de chêne faginé (*Q. faginea*) de Chélia. Cette région est considérée comme étant le seul endroit abritant la sous-espèce "*faginea*" (cf. partie I-chapitre 2), montrant ainsi une distribution très particulière où elle est souvent mêlée avec d'autres espèces, ou encore le long des ravins et des oueds, le cas le plus répandu. Ce peuplement est malheureusement maltraité et très menacé par plusieurs facteurs, dont le principal est l'action anthropique. Dans ce contexte, nous nous intéressons à évaluer la biodiversité ordinaire taxonomique de ces formations tout en mettant en application l'IBP, testé pour la première fois sur les forêts algériennes notamment celles de l'Aurès, dans le but de recueillir les renseignements nécessaires permettant par la suite de déterminer les meilleures pratiques et démarches de protection et/ou de gestion durable.

## 2. Matériel et Méthodes

L'étude des peuplements forestiers et non des formations ouvertes ou arbustives figure parmi les exigences essentielles de l'évaluation de la biodiversité par le biais de l'IBP (Gonin et al. 2012). Pour cela, notre étude et les placettes que nous avons installées concernent uniquement le peuplement forestier, alors que les autres formations (le long des oueds, les formations ouvertes et arbustives) abritant notamment le chêne faginé n'ont pas été prises en compte. Suivant les différents documents illustrant comment appliquer l'IBP (v2.9) sur terrain (disponible sur <http://www.foretpriveefrancaise.com/ibp>), la méthode de relevé par échantillonnage a été adoptée. Trois principaux groupes de placettes répartis sur l'ensemble de la surface du peuplement à être apprécié ont été installés. Au total, douze placettes de 0.33 ha (sur une surface totale de 2 ha) chacune ont été établies et font l'objet de recueil des données : Tafrent nu Kassem (El Waldja) (7 placettes), Iaqarqab n Tacheta (2 placettes) et Ich n sidi Yahia (3 placettes). Pour chaque placette, les éléments observables et notables des 10 facteurs sont reportés sur leurs fiches de relevés, et une valeur de 0, 2 ou 5 leur a été attribuée selon une échelle de valeurs seuils conçue spécialement pour la région méditerranéenne (Gonin et al. 2012). Ces facteurs sont subdivisés en deux grandes parties, sept entre eux sont liées au peuplement et à la gestion forestière, alors que les trois autres sont plutôt associés au contexte (Larrieu & Gonin 2008, Gonin et al. 2012). Sur la base de ces facteurs, les opérations suivantes ont été effectuées : un recensement d'essences autochtones (facteur A) ; un comptage du nombre de strates présentant la structure du peuplement (facteur B) ; un comptage du bois mort de grosse circonférence sur pied (facteurs C) et au sol (facteurs D) ; un comptage des très gros bois vivant (Facteur E) ; un comptage des arbres vivants porteurs de dendromicrohabitats, tout en déterminant ainsi les différents types de ces derniers (Facteur F) ; une estimation de la surface des milieux ouverts présents (caractérisés par sa végétation particulière) par rapport à la surface totale de la placette (Facteur G) ; une évaluation de la continuité temporelle de l'état boisé du peuplement (Facteur H) ; un comptage des types de milieux aquatiques (facteur I) et rocheux (facteur J) existants dans le peuplement. Les données recueillies ont été intégrées sur un tableur Excel édité spécialement à cet effet (disponible sur <https://www.foretpriveefrancaise.com/ibp>) et qui permet de représenter les résultats obtenus sous forme de graphique. De plus, des mesures supplémentaires de la densité moyenne d'arbres par hectare (D), de la circonférence moyenne à 1.30 m (C) et de

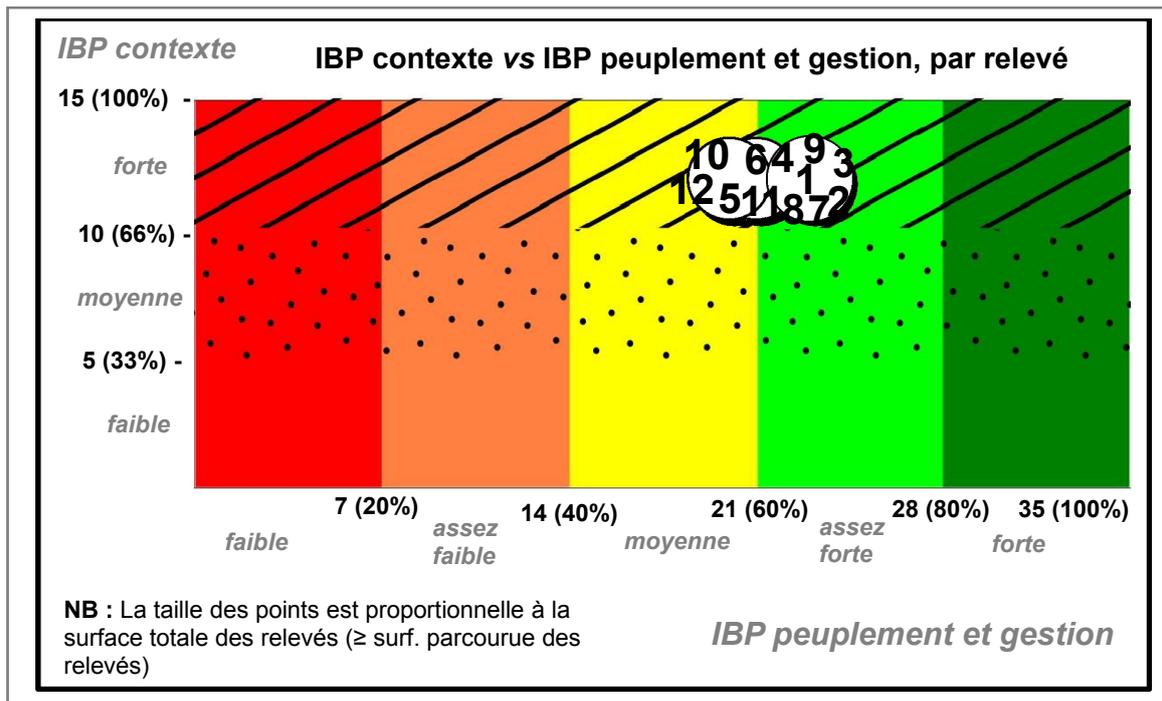
la hauteur moyenne (H) des pieds de chêne faginé ont été effectuées sur chaque placette. La hauteur des arbres a été estimée par la méthode de la croix du bûcheron, alors que leur circonférence a été calculée à l'aide d'un ruban gradué.



**Figure II.24 - Répartition de la surface totale des relevés par classe de valeurs et par groupe de facteurs IBP.**

### 3. Résultats et discussions

Les résultats obtenus pour les placettes inventoriées révèlent des scores IBP totaux (A à J) oscillant de 64% à 70%, qualifiés selon l'échelle IBP comme assez fort. Les valeurs IBP relatives aux facteurs liés au peuplement et sa gestion forestière (A à G) sont considérées comme fortes, allant de 57% à 66%, tandis que les valeurs IBP des facteurs liés au contexte sont de l'ordre de 80% pour l'ensemble des stations (fig. II.24 & II.25). Cela s'explique par une forte présence de certains éléments des facteurs IBP étudiés. Dans ce qui suit, une présentation écologique des facteurs a été effectuée.



**Figure II.25** - Représentation graphique des résultats IBP de la région d'étude.

### 3.1. Écologie des facteurs IBP

Au sujet de facteur A, le peuplement analysé est composé d'une forêt mixte d'espèces feuillues et de conifères. Dans les groupes de parcelles El Waldja et Iaraqab n Tacheta se situant entre 1240 m et 1400 m d'altitude, on distingue une forêt dense avec un recouvrement moyen de strates dépassant souvent 75%, à l'exception de la strate ligneuse haute dont le recouvrement moyen est généralement faible (30% à El Waldja et < 10% à Iaraqab n Tacheta). La forêt est formée d'un mélange de pin d'Alep, de chêne vert et de chêne faginé. Le chêne vert associé au genévrier oxycèdre forme la strate ligneuse basse et moyenne, alors que les strates ligneuses intermédiaires et hautes sont occupées par le chêne faginé et le pin d'Alep. Ces formations présentent ainsi moins de milieux ouverts par rapport à la formation d'Ich n sidi Yahia, qui est moins dense. En fait, se situant entre 1600 m et 1707 m d'altitude, cette dernière se constitue d'un mélange de cèdre de l'Atlas, de chêne vert, de chêne faginé et à moindre degré, de pin d'Alep ; la strate ligneuse intermédiaire est occupée par le chêne vert, avec un taux de recouvrement moyen de 50%. Le cèdre de l'Atlas accompagné par le chêne faginé en présence de quelques pieds de pin d'Alep occupe la strate ligneuse intermédiaire avec un recouvrement faible de l'ordre de 25%, dont peu de pieds atteindront la strate haute. Un taillis plus ou moins ouvert (recouvrement moyen < 40%) de chêne vert en présence de quelques pieds de l'oxycèdre forme la strate herbacée et semi-ligneuse de ces formations.

Il est à noter qu'un nombre important de gros bois mort sur pied (annexe 7) est présent sur l'ensemble des placettes examinées. Ce type de bois est représenté principalement par des pieds de chêne faginé dans la région d'El Waldja, où le nombre moyen est de 6 pieds/ha. Néanmoins, un nombre moins important (4 pieds/ha au moyen) de pieds de pin à Iaraqab n Tacheta est notable. Le cèdre représente, par ailleurs cette catégorie à Ich n

sidi Yahia avec un nombre moyen de 6 pieds/ha. Au niveau de la classe du très gros bois vivant, cette formation ainsi que celle d'Iaaraqab n Tacheta sont moins riche en bois de cette catégorie avec une densité moyenne de 9 pieds/ha et 8 pieds/ha respectivement. Les seuls pieds présents appartiennent généralement au pin ou encore au cèdre, ce dernier étant plus remarquable dans la formation d'Ich n sidi Yahia. Ce type de bois est par contre très abondant à El waldja avec une densité moyenne de 15 pieds/ha, dont le chêne faginé constitue une grande proportion (plus de 60%, en moyenne). De plus, un nombre ne dépassant pas 3 pieds/ha de bois mort au sol de grosse circonférence (annexe 7) a été recensé dans toutes les placettes, avec une présence notable de petits bois mort au sol, qui est souvent destiné au chauffage.



**Figure II.26** - Troupeau de chèvres entre les arbres émondés du chêne faginé (Lglalath, septembre 2018).

Les mesures relatives à la densité, à la longueur et à la circonférence des pieds de chêne faginé révèlent une situation contrastée ; la plupart d'entre eux (80%) ont des circonférences très importantes (> 60 cm) et des hauteurs dépassant souvent 15 m. Ils sont plus nombreux dans les formations d'El Waldja et d'Ich n sidi Yahia, avec une densité moyenne de 35% et 15% respectivement. Dans la forêt d'Iaaraqab n Tacheta, les arbres de ce chêne caduc ont par contre de faibles dimensions (< 30 cm de circonférence) et ne dépassent pas une hauteur maximale de 6 m, dont la hauteur moyenne est de l'ordre de 3 m. La densité moyenne est de l'ordre de 40%. Il est important ici de souligner que l'appellation "Iaaraqab n Tacheta" signifie "les collines de chêne faginé" témoignant ainsi d'une présence plus significative et développée qu'elle ne l'est aujourd'hui. Cette situation est due à la mutilation et à l'ébranchage continus par les riverains pour qu'ils puissent subvenir à leurs besoins en bois de chauffage et à ceux de leurs troupeaux surtout. Une situation similaire, voire plus grave, affecte encore la zone de Lglalath (ne figurant pas

parmi les placettes de l'IBP) où le chêne faginé forme un peuplement pur sur une superficie de 2.5 ha. Les pieds survivants ne dépassent pas souvent 1.5 m de hauteur et 30 cm de circonférence ; cette faible hauteur favorisée par l'homme facilite le pacage du bétail. Abdessemed (1981) avait rapporté pratiquement les mêmes chiffres et la même situation critique et donc malheureusement les mêmes conditions défavorables dans lesquelles persiste encore ce chêne (fig. II.26).



**Figure II.27** - Vue générale du barrage de Tagharist (mars 2019) (Facteur I).

Observant les dendromicrohabitats sur les arbres, leur abondance est remarquable surtout dans la région d'El Waldja dont plus d'un arbre sur trois est porteur d'un ou plusieurs types de dendromicrohabitats appartenant majoritairement (80%) au chêne faginé (annexe 1-6). Dans les autres régions, la fréquence des dendromicrohabitats est moins importante en raison de la faible densité des gros bois plus particulièrement les pieds des chênes vert et faginé. Les cavités de pied à fond dur et les cavités évolutives à terreau de tronc et de pied figurent parmi les types les plus communs (annexe 1-6). Les résultats de l'observation sur terrain montrent ainsi que l'occurrence des dendromicrohabitats est généralement liée à la catégorie du gros bois vivant (cf. Larrieu et al. 2014).

Concernant les facteurs liés au contexte, et pour ce qui est de l'ancienneté de la forêt, il nous semble clair que notre peuplement fait partie d'une ancienne forêt défrichée, dont les limites restent encore imprécises (fig. II.21, partie II - chapitre 2, p76). La région est caractérisée par la présence d'un faible cours d'eau temporaire et d'un barrage artificiel (barrage de Tagharist) situé à la limite du peuplement (fig. II.27). Une diversité en milieux rocheux est également remarquable ; parmi les types les plus captivants, nous citons les falaises de djebel Tkhizrant et ceux de Jar El kiffan (fig. II.28).



**Figure II.28** - Exemples de milieux rocheux : les falaises de djebel Tkhizrant (à gauche) et Jar el Kifan (à droite) (Facteur J).

### 3.2. Une gestion préconisée sur la base des résultats IBP

La caractérisation écologique des facteurs IBP recèle une biodiversité ordinaire très remarquable au niveau du peuplement analysé ; la présence du très gros bois vivant et du bois mort sur pied et au sol, parmi d'autres facteurs ayant été favorisés probablement à la fois par l'absence des pratiques de gestion (le cas d'El Waldja) et par une action humaine très marquée ont le plus contribué le plus à cette diversité. Ainsi, dans cette optique, la gestion appliquée notamment à El Waldja devrait tenir en compte l'importance primordiale du très gros bois vivant sur la biodiversité et sa liaison avec les dendromicrohabitats et leur maintien, dont ces derniers jouent un rôle très important en favorisant la biodiversité en espèces forestières, notamment les coléoptères saproxyliques (Emberger et al. 2016). En effet, la préservation de cette catégorie du bois (Larrieu et al. 2014) ainsi que celle du bois mort sur pied est hautement préconisée aussi bien dans cette formation que dans les autres.

La densité des semis des espèces existantes, en particulier le chêne faginé, est assez faible, ce phénomène étant la conséquence de la forte densité de la forêt à El Waldja et surtout de la strate herbacée et semi ligneuse. Donc afin d'améliorer le potentiel de biodiversité et pour assurer la pérennité des espèces, et notamment de ce chêne, il est conseillé de diminuer la densité tout en créant des trouées au sein de cette formation. Cependant, à d'autres égards, il est remarquable à Ich n sidi Yahia que le cèdre est l'espèce dominante en strate ligneuse alors que sa présence dans les strates herbacées et semi ligneuses fait malheureusement défaut. Il paraît indispensable alors d'intervenir par des plantations pour maintenir l'espèce et assurer sa survie.

Néanmoins, comme décrit auparavant, le chêne faginé est face à une situation inquiétante en particulier à Iarqab n Tacheta et à Lglalath. De ce fait, il est très important de recommander aux services forestiers de mettre en place des politiques convenues et des mesures de protection telles que des clôtures afin de laisser tout le temps nécessaire pour que ce chêne puisse se développer. Ainsi, une plantation de semis pourrait contribuer au

rétablissement de cette espèce tout en assurant sa régénération et pourrait ainsi mener à une meilleure structuration de ces formations.

#### **4. Conclusion**

L'analyse de biodiversité ordinaire du peuplement mixte de l'Aurès par le biais de l'IBP a révélé une capacité d'accueil en espèces et en communautés très significative. Cette approche paraît être très efficace et utile pour réaliser un diagnostic écologique rapide de la forêt et pour tirer des décisions relatives à la gestion préconisée. Le bois vivant de très grande dimension et le bois mort sur pieds comptent en fait parmi les facteurs IBP les plus représentatifs de cette richesse. Les résultats de l'IBP ont mis ainsi en évidence une diversité en termes d'habitats aquatiques et milieux rocheux. Ces caractéristiques ont attribué une grande importance à la diversité potentielle de ce peuplement et les formations qu'ils abritent, et dévoilent en outre une situation différente et particulière concernant le chêne faginé et le cèdre de l'Atlas. Ce patrimoine écologique mérite d'être plus valorisé et l'on doit accorder la plus grande attention en ce qui concerne sa préservation. Il est également important de sensibiliser les citoyens et les riverains en particulier à l'importance, et à la vulnérabilité de ces espèces.

## CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVE

Le présent travail aura le mérite d'étudier la taxinomie des populations de *Quercus faginea* Lam. (s.l) en Algérie, d'examiner la variabilité et le potentiel germinatifs de ses formations notamment celles de chêne faginé, ainsi que d'étudier l'écologie de l'une des stations de son aire de répartition en l'occurrence les formations de l'Aurès. À l'issue de cette contribution, les principaux résultats ainsi trouvés se résument comme suit :

L'analyse taxonomique menée dans ce travail, basée sur une description morphologique et micromorphologique de différentes populations du complexe *Q. faginea* suggère que ce dernier serait représenté en Algérie par trois taxons regroupés en deux espèces ; *Q. canariensis* représenté par les populations du Tell algéro-constantinois et des monts de Tlemcen (Hafir et Zarifet, Thniet el hed, El Hamdania, Errich, Akfadou, Babor, Hamza, Machrouha, Ghorra), *Quercus faginea* subsp. *broteroi* représenté par les populations du Tell oranais (Terni, Baloul, Safalou) et *Quercus faginea* subsp. *faginea* représenté par une population de l'Aurès (Chélia) prolongeant celle, historique, des monts du Hodna (Maire 1961). Il est important de souligner ici que nous avons tenté en vain de repérer des formations et/ou des escarpes de cette espèce dans la région de Maadid (Hodna). Toutefois, cette enquête loin d'être complète ou exhaustive, suggère que ce chêne avait probablement disparu de cette zone.

Ainsi ces résultats taxonomiques nous ont incités à proposer une clé d'identification pour l'Algérie, basée sur le modèle de Quézel et Santa (1962) avec secteurs phytogéographiques modifiés selon Meddour (2010) :

- 1) Face inférieure des feuilles, pétioles et bourgeons à tomentum rapidement caduc, ne persistant que près de la base du limbe, le reste devenant glabrescent ; feuilles grandes et très majoritairement plus larges que 4 cm, à lobes grands (2-4 cm) et sinus profonds (1,5-3,5 cm). – AC dans les forêts des montagnes du Tell à l'E d'Alger, R ailleurs (Ouarsenis, monts de Tlemcen) – Ouest-Méd. – Chêne Zéen, «Zehn», «Tacheta» – (= *Q. faginea* subsp. *baetica* (Webb) Maire) – ***Q. canariensis*** Willd.
- 2) Face inférieure des feuilles, pétioles et bourgeons à tomentum persistant jusqu'à la chute ; feuilles plus petites et très majoritairement larges de moins que 4,5 cm, à lobes petits (1,5-2,5 cm) et sinus peu profonds (1-2 cm). – Ibéro-Maur. – Chêne Faginé, «Tacheta» – ***Q. faginea*** Lam.
  - a) Feuilles à contour crénelé (lobes arrondis), dépassant majoritairement 6 cm de long par 3,5 cm de large ; bourgeon terminal majoritairement plus long que 4 cm. – AR : O3, dans les forêts des montagnes du Tell Oranais – (= subsp. *tlemcenensis* (A.DC.) Greuter et Burdet) – subsp. ***broteroi*** (Cout.) A.Camus
  - b) Feuilles à contour denté (lobes aigus), majoritairement inférieures à 6 cm de long et 3,5 cm de large ; bourgeon terminal majoritairement moins long que 4 cm. – RR : AS3 (Aurès), C2 (monts du Hodna, disparu ?) – (= var. *microphylla* (Trab.) Maire) – subsp. ***faginea***

L'analyse de la morphométrie géométrique semble en outre démontrer que les trois taxons identifiés partagent les mêmes caractéristiques morphologiques, notamment la forme des feuilles, et se distinguent essentiellement par une variation dimensionnelle, dont la taille des feuilles tend à se diminuer graduellement en allant de l'est vers le l'ouest et aussi du nord au sud du pays. Le caractère caduc du tomentum des feuilles matures de *Q. canariensis* nous renseigne sur les conditions mésiques dans lesquelles il s'est développé (Tshan & Denk 2012), alors que la réduction de la taille et le caractère persistant du tomentum des feuilles parmi d'autres traits de *Q. faginea* pourraient être des formes d'adaptation aux conditions climatiques et environnementales. En effet, l'origine paléographique de ce dernier dévoile qu'il fait probablement partie des descendants des chênes de la flore arcto-tertiaire qui se sont adaptés aux conditions xériques méditerranéennes (cf. Gil-Pelgrín et al. 2017).

Ces constats mettent ainsi en évidence le fait que les populations de ce complexe partagent désormais le même génome maternel, et suggèrent ainsi qu'ils possèdent probablement un ancêtre commun. Dans ce contexte, des analyses génétiques sur l'ensemble des populations examinées au terme de ce travail sont en cours, visant à répondre aux principaux enjeux découlant de nos résultats ; de mieux comprendre l'histoire évolutive de ces populations, d'étudier la désignation génétique de chacune et de valider ou infirmer les hypothèses proposées.

Sur la base de l'évolution de la définition taxonomique de *Q. faginea*, une étude de la variabilité morphologique des glands et des semis et une évaluation du potentiel germinatif sur les quatre provenances de l'espèce ont été réalisées. Les résultats obtenus montrent une variabilité morphologique interstationnelle des feuilles et des glands ; une spécificité des feuilles des semis de la station de l'Aurès et des glands de celle de Baloul a été mise en relief, résultant probablement des variations génétiques et/ou des conditions environnementales des stations, qui n'ont pas encore été bien identifiées et qui méritent en fait d'être investiguées de façon plus approfondie. L'étude de la germination et de l'évolution des plants révèle ainsi un potentiel germinatif et de croissance considérables. Néanmoins, la pérennité du chêne faginé est guettée par plusieurs facteurs d'ordre naturel et anthropique notamment, qui se manifestent par un pâturage intense et un ébranchage ayant résulté une faible régénération naturelle (Abdessemed 1985) et des arbres affaiblis, généralement de grosses dimensions.

Il paraît judicieux à cet égard de recommander aux gestionnaires forestiers des politiques convenues et des actions pour la conservation de l'espèce telles que des reboisements, des plantations *ex-situ* et des clôtures de protection pour éviter une régression réelle et irréversible des peuplements qui conduirait très probablement à sa disparition. En effet, dans la station de Safalou, l'espèce est mêlée avec le chêne liège et couvre une surface très réduite, dont le nombre des sujets de chêne faginé ne dépasse pas 300 arbres au total. Elle forme ainsi à l'Aurès une formation pure de quelques hectares (2.5 ha) dans la région dite Lglalath, qui semble être très maltraitée et menacée. Ces deux formations en particulier méritent d'être clôturées afin de laisser tout le temps nécessaire pour qu'elles puissent rétablir leur équilibre.

*Q. faginea* est connu sous les noms de chêne zéen (à petites feuilles, le cas du peuplement de l'Aurès en raison de la taille de ces feuilles, var. *microphylla* (Trab.) Maire) ou chêne faginé, le second nom étant le plus représentatif de l'espèce retenue ici, afin d'éviter la confusion avec *Q. canariensis*. Le nom vernaculaire berbère 'Tacheta' est utilisé en Algérie pour désigner cette espèce ainsi que *Q. canariensis* dans certaines localités (Maire 1961) notamment au centre et à l'ouest du pays. À l'Aurès, cette appellation est associée de longue date avec la qualité médiocre du bois, une caractéristique qui est généralement liée avec la catégorie d'arbres creux et vieux, très répandue dans la région. Cela dévoile que cette situation est éventuellement due à une pression anthropique inquiétante qui remonte probablement loin dans l'histoire, notamment dans la partie ouest de son aire de distribution, qui paraît la localité la plus dégradée.

Cette espèce se rencontre à l'échelle nationale à des altitudes variantes de 850 m à 1700 m. Elle se développe dans l'étage supra-méditerranéen et montagnard méditerranéen sous un bioclimat semi-aride ou subhumide, dont les précipitations moyennes annuelles se situent généralement entre 362 mm et 688 mm (Seltzer 1946, Schoenenberger 1972, Gaouar 1980). La station Chélia qui représente la sous-espèce *faginea*, est à la fois une des plus alticoles, mais surtout la plus continentale de toutes, et semblerait être le résultat d'une adaptation aux conditions climatiques rustiques à la fois sèches et froides. Elle se contente d'une pluviométrie moyenne annuelle variant entre 362 à 533 mm/an, et se développe entre 1200 m et 1700 m d'altitude sur des substrats marneux et marneux-calcaires à fortes capacités de rétention de l'eau.

A part les formations de Chélia et Safalou, *Q. faginea* se rencontre aussi dans deux autres localités, souvent à l'état individuel, en mélange avec d'autres espèces, et ne constitue pas de véritable peuplement. Dans la région de Baloul, ce chêne pousse à 850 m d'altitude, uniquement le long des ravins et sur des substrats gréseux, accompagné parfois du chêne vert. La taille des arbres est très importante, dépassant souvent les quinze mètres. De même pour Terni, l'espèce se rencontre essentiellement le long des ravins en mélange avec le chêne vert, sur des substrats calcaires, en occupant la tranche comprise entre 1350 m et 1500 m d'altitude. La hauteur moyenne des arbres est de quatre à cinq mètres.

L'étude typologique et cartographique menée à l'Aurès sur les formations abritant du chêne faginé dévoile une richesse taxonomique et une diversité en termes d'écosystèmes assez remarquable, issue probablement de la variété des reliefs, des orientations et de l'activité humaine. Multiples espèces forment un ensemble d'habitats et de formations. Parmi les plus remarquables, citons les formations de pin d'Alep, de cèdre de l'Atlas, des chênes vert et faginé, d'érable de Montpellier et les terrains agricoles. Les forêts de pin d'Alep occupent une proportion importante de la surface totale de l'aire d'étude surtout en sa partie est, et sont représentées essentiellement par les formations de djebel Tkhizrant et Chaabet Khaled. Le chêne vert, en liaison avec ses intérêts socioéconomiques multiples constitue généralement des formations ouvertes dans la partie ouest, qui paraissent être les plus maltraitées et dégradées. Aussi, le cèdre montre un état de dégradation due peut-être à la pression anthropique sous forme d'une exploitation et d'un pacage outrées. Concernant le chêne faginé, sa distribution et sa densité sont très

variables, dévoilant ainsi trois aspects généraux ; le premier concerne les formations de Lglalath et Iaqab n Tacheta abritant une densité forte à moyennement forte avec des arbres de faibles dimensions et émondés souvent. Le second est marqué par de gros arbres, dépassant souvent les quinze mètres de hauteur ; ils se situent le long des ravins et des oueds et sur les versants nord notamment, en mélange avec le chêne vert, le pin ou encore le cèdre. La proportion des jeunes sujets dans ces formations est faible. Sur les terrains agricoles, les chênes faginé et vert sous forme de gros arbres, mutilés parfois, et très distants caractérisent le troisième aspect.

Cette analyse recèle ainsi des potentialités remarquables notamment en ce qui concerne le pin, et un état de dégradation pour le cèdre et les chênes faginé et vert. Ces résultats ont abouti également à l'élaboration de la carte des formations et habitats existants dans cette région et nous permettent de faire des recommandations, en proposant des mesures de protection, de préservation et de réhabilitation adaptées aux besoins des riverains pour une gestion durable de ces espaces.

Le dernier chapitre de cette contribution repose sur une analyse de la biodiversité ordinaire des formations forestières à chêne faginé de l'Aurès, tout en mettant en application l'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP), testé pour la première fois sur les forêts Algériennes. Il ressort de cela que cette approche est très utile et efficace pour une caractérisation écologique rapide de la forêt et pour tirer des décisions relatives à la gestion préconisée. Les formations analysées renferment une capacité d'accueil en espèces et en communautés très significative ; parmi les facteurs IBP les plus représentatifs, citons, le bois vivant de très grande dimension et le bois mort sur pieds. Les habitats aquatiques et les milieux rocheux révélant ainsi une richesse remarquable. Les résultats de cette analyse témoignent d'une considérable diversité potentielle et écosystémique, mais aussi de la situation inquiétante des formations de chêne faginé et de cèdre de l'Atlas. Il est temps maintenant d'agir afin de préserver ce patrimoine écologique très exceptionnel et de lui prêter l'attention qu'il mérite, en tenant compte des politiques de gestion des services forestiers. L'aspect socioéconomique étant très important, il est primordial de sensibiliser les citoyens et les riverains en particulier à l'importance, mais aussi à la vulnérabilité de ces espèces pour une gestion durable et conservatrice.



## RÉFÉRENCES

1. Abdessemed, K. (1981) Le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica manetti*) dans les massifs de l'Aurès et du Belezma. - Étude phytosociologique problèmes de conservation et d'aménagements. Thèse - doc - Ing Université Aix Marseille p. 199.
2. Abdessemed, K. (1985) Les problèmes de la dégradation des formations végétales dans l'Aurès (Algérie). Deuxième partie : Les mesures à prendre. *Forêt méditerranéenne* 7: 43-52.
3. Ackerly, D.D., Knight, C.A., Weiss, S.B., Barton, K., Starmer, K.P. (2002) Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses. *Oecologia* 130: 449-457.
4. Adams J.C., Farrish K.W. (1992) Seedcoat Removal Increases Speed and Completeness of Germination of Water Oak. *Tree Planter's Notes* 43: 52-53.
5. Addinsoft. (2016) XLSTAT: Data Analysis and Statistical Solution for Microsoft Excel. Paris, France. Available from <https://www.xlstat.com/en/> [accessed 19 Mar. 2019].
6. African Plant Database (version 3.4.0). Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève and South African National Biodiversity Institute, Pretoria, "accès [mars, 2019]", de < <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/>>.
7. Aimé, S., Ainad-Tabet, L., Hadjadj-Aoul, S. Sebaa, E. Dj. (1983) Recherches phytoécologiques en Oranie. Premiers résultats. Mém. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, N.S. 17-31. Alger.
8. Aimé, S., Bonin, G., Chaabane, A., Loisel, R. Saoudi, H. (1986) Notes phytosociologiques nord-africaines. Contribution à l'étude phytosociologique des zénaies du littoral algéro-tunisien. *Ecol. Medit.*, 12 (3-4): 113-131.
9. Albarrán-Lara AL., Mendoza-Cuenca, L., Valencia-Alvados, S., Gonzales-Rodriguez, A., Oyama, K. (2010) Leaf fluctuating asymmetry increases with hybridization and introgression between *Quercus magnoliifolia* and *Quercus resinosa* (Fagaceae) through an altitudinal gradient in Mexico. *Int J Plant Sci* 171:310-322.
10. Alcaraz C. (1982) La végétation de l'Ouest algérien. Thèse d'état, Univ. Perpignan, 415 p + annexes.
11. Alcaraz C. (1992) Contribution à l'étude des groupements à *Quercus ilex* et *Quercus faginea* subsp. *tlemcenensis*, des monts de Tlemcen (Algérie) *Ecologia Mediterranea* xv (3/4).
12. Alfonso, S.M.A. (1985) Ecologia, tipologia, valoracio y atlernasivas silvopascícolas de los quejigares (*Quercus faginea* Lamk.) de Guadalajara [Ecologie, typologie, valorisation et alternatives sylvopastorales des populations de (*Quercus faginea* Lamk.) de Guadalajara]. Phd thesis, Universidad Politecnica de Madrid [En espagnol].
13. Allen, A.E., Harvey, C.H., James, R.S., Rennie, J.S. (1991) Influence of Leaf Surface Features on Spore Deposition and the Epiphytic Growth of Phytopathogenic Fungi. Eric. J. H. Andrews et al. (eds.), *Microbial Ecology of Leaves*, 87-100. Springer-Verlag New York Inc.
14. Amaral Franco, J. (1990) *Quercus* L. In: Castroviejo S., Laínz M., López G.G., Montserrat P., Muñoz G.F., Paiva J., Villar L. (eds) *Flora Ibérica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares* [Plantes vasculaires de la Péninsule ibérique et des îles Baléares]. Vol. II. Platanaceae - Plumbaginaceae (partim). Real Jardín Botánico, CSIC: 15-36. Madrid, España [En espagnol].

15. Babali B. (2013) Contribution à une étude phytoécologique des monts de Moutas (Tlemcen-Algérie occidentale): Aspecte syntaxonomique, biogéographique et dynamique. PhD thesis, Université Aboubakr Belkaïd, Tlemcen, Algérie.
16. Bailey, I.W., Sinnott, E.W. (1915) A botanical index to Cretaceous and Tertiary climates. *Science* 41: 831-834.
17. Baldocchi, D.D., Xu, L. (2007) What limits evaporation from Mediterranean oak woodlands - the supply of moisture in the soil, physiological control by plants or the demand by the atmosphere? *Advances in Water Resources* 30: 2113-2122. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2006.06.013>
18. Baquedano, F.J., Valladares, F., Castillo, F.J. (2008) Phenotypic plasticity blurs ecotypic divergence in the response of *Quercus coccifera* and *Pinus halepensis* to water stress. *European Journal of Forest Research* 127: 495-506. <https://doi.org/10.1007/s10342-008-0232-8>
19. Batos, B., Vilotić, D., Orlović, S., Miljković, D. (2010) Inter and intra-population variation of leaf stomatal traits of *Quercus robur* L. in northern Serbia. *Arch. Biol. Sci., Belgrade* 62 (4): 1125-1136.
20. Battandier J.A., Trabut L. (1890) Flore de l'Algérie. (Dicotylédones) .Typographie
21. Battandier, J.A., Trabut, L.C. (1902) Flore analytique et synoptique de l'Algérie et de la Tunisie. Alger, p. 460
22. Beghami Y., De Bélair G. (2007) Les groupements végétaux de la cédraie du massif de Chéla« Aurès » Algérie. Actes du colloque GEOFLORE 2007. Bulletin de l'association des botanistes lorrains, numéro spécial 1 (ISSN 1773-1968).
23. Beghami, Y. (2013) Ecologie et dynamique de la végétation de l'Aurès : analyse spatio-temporelle et étude de la flore forestière et montagnarde. Thèse Doc, Université Batna1 Hadj Lakhdar, Batna, Algérie.
24. Belhabib, N., Pemonge, M.H., Ooussou, A., Sbay, H., Kremer, A., Petit R.J. (2001) Frequent cytoplasmic exchanges between oak species that are not closely related: *Quercus suber* and *Q. ilex* in Morocco. *Molecular Ecology* 10: 2003-2012.
25. Benabid, A. (2000) Flore et écosystèmes du Maroc : Evaluation et préservation de la biodiversité. Ibis Press, Paris.
26. Berrichi, M. Bouazzaoui, A. (2015) *Quercus faginea* in the mounts of Tlemcen (North-west Algeria): State of Knowledge. *Ecologia Balkanica* 7: 21-28.
27. Bickford, C.P. (2016) Ecophysiology of leaf trichomes. *Functional Plant Biology* 43: 807-814. Faculty Publications.
28. Blackith, R., Reyment, R.A. (1971) Multivariate morphometrics. Academic Press, New York.
29. Blue, M.P., Jensen, R.J. (1988) Positional and seasonal variation in oak (*Quercus*; Fagaceae) leaf morphology. *Amer. J. Bot.* 75(7): 939-947.
30. BNEDER (2010) Étude de classement de la cédraie de Beni Oudjana et d'Ouled Yagoub en parc national. Phase II : Présentation de l'état des lieux. Bureau National d'Études pour le Développement Rural.
31. Bollen, K.A. (1989) Structural equations with latent variables. New York, Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118619179>
32. Bonito, A., Varone, L., Gratani, L. (2011) Relationship between acorn size and seedling morphological and physiological traits of *Quercus ilex* L. from different climates. *Photosynthetica* 49: 75-86. <https://doi.org/10.1007/s11099-011-0014-2>

33. Bonner, F.T. (1968) Water uptake and germination of red oak acorns. *Botanical Gazette* 129: 83-85. <https://doi.org/10.1086/336416>
34. Bonner, F.T. (1987) Importance of seed size in germination and seedling growth. In: Karma S., Ayling R. (eds) Proc. IUFRO international symposium on forest seed problems in Africa Department of Forest Genetics and Plant Physiology. Report 7: 53-61. Harare, Zimbabwe & Umea, Sweden.
35. Bookstein, F.L. (1986) Size and Shape Spaces for Landmark Data in Two Dimensions. *Statistical Science* 1(2): 181-242.
36. Bookstein, F.L. (1991) Morphometric tools for landmark data: geometry and biology [Orange book]. Cambridge New York: Cambridge University Press 435pp.
37. Bookstein, F.L. (1996) Combining the tools of Geometric Morphometrics. 131-151.
38. Borazan, A., Babaç, M.T. (2003) Morphometric leaf variation in oaks (*Quercus*) of Bolu, Turkey. *Ann. Bot. Fennici* 40: 233-242.
39. Boudy, P. (1950) Economie forestière Nord-Africaine., Monographie et Traitement des essences. Édition la rose, Paris.
40. Boudy, P. (1955) Economie forestière Nord-Africaine. T. 1: Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie.
41. Bruschi, P., Vendramin, G.G., Bussotti, F., Grossoni, P. (2000) Morphological and molecular differentiation between *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus pubescens* Willd. (Fagaceae) in northern and central Italy. *Ann Bot* 85: 325-333.
42. Bruschi, P., Vendramin, G.G., Bussotti, F., Grossoni, P. (2003) Morphological and molecular diversity among Italian populations of *Quercus petraea* (Fagaceae). *Annals Bot* 91: 707-716.
43. Bussotti, F., Grossoni, P. (1998) Des problèmes dans la classification des chênes. Taxonomie en Europe et région méditerranéenne. *Forêt méditerranéenne* XIX: 267-278.
44. Caliskan, S. (2014) Germination and seedling growth of holm oak (*Quercus ilex* L.): effects of provenance, temperature, and radicle pruning. *iForest* 7: 103-109. <http://dx.doi:10.3832/ifor0967-007>
45. Camus, A. (1936-1939) Les Chênes : Monographie du genre *Quercus* Tome I-II. Paul Lechevalier & Fils (eds.). Paris.
46. Capelo, J., Catry, F. (2007) A distribuicao do carvalho- portugues em Portugal [La distribution de chêne portugais au Portugal]. In: Silva J.S. (eds) Os carvalhais: um património a conservar [Les chênes: un héritage à conserver]. Liga para a Protecção da Natureza. 83-94. Lisbon, Portugal [En portugais].
47. Capelo, J., Costa, J.C. (2001) Notícia acerca dos carrascais arbóreos da Serra da Arrábida. *Silva Lusitana* 9: 269-271.
48. Capelo, J., Costa, J.C. (2005) *Quercus rivasmartinezii*, uma espécie autónoma de carvalho, endémica de Portugal. *Silva Lusitana* 13: 268-269.
49. Carazo-Montijano, M.M., Fernandez-Lopez, C. (2006) Catálogo de las plantas vasculares de Andalucía y Marruecos. Herbario Jaèn, 420 p.
50. Carpenter, S.B., Smith, N.D. (1975) Stomatal distribution and size in southeastern Appalachian hardwoods. *Can. J. Bot* 59: 1153-1156.
51. Carvalho, A. (1997) Madeiras portuguesas – Estrutura anatomica, propriedades, utilizacoes [Bois portugais – anatomie, propriétés, utilisations] (vol. II). Direcção-Geral das Florestas, Lisbon, Portugal [En portugais].

52. Castro-Díez, P., Villar-Salvador, P., Perez-Rontome, P., Maestro-Martinez, M., Montserrat-Marti, G. (1997) Leaf morphology and leaf chemical composition in three *Quercus* (Fagaceae) species along a rainfall gradient in NE Spain. *Trees* (1): 127-134.
53. Ceballos, L., Ruiz de la torre, J. (1971) Arboles y arbustos de la España Peninsular [Arbres et arbustes de l'Espagne Péninsulaire]. Madrid, I.F.I.E. E.T.S.I.M. [En espagnol].
54. Côme, D. (1970) Les obstacles à la germination (monographie et physiologie végétale). Paris, Masson et Cie.
55. Côme, D., Corbineau, F. (1998) Semences et germination. In: Mazliak P. (eds) *Physiologie végétale II. Croissance et développement*: 185-313. Paris, Hermann.
56. Corcuera, L., Camarero, J.J., Gil-Pelegrín, E. (2002) Functional groups in *Quercus* species derived from the analysis of pressure-volume curves. *Trees* 16: 465-472.
57. Côte, M. (1993) L'Algérie ou l'espace retourné, Canstantine, Édition, Media-Plus, Algérie, p. 65.
58. Coutinho, A.X.P. (1988) The *Quercus* of Portugal. Extr. Do Boletim da Soc. Brot 26-39. University press (in Portugais).
59. Cristofolini, G., Crema, S. (2005) A morphometric study of the *Quercus crenata* species complex (Fagaceae). *Botanica Helvetica* 115: 155-167.
60. De lartigue M. (1904) 'Monographie de l'Aurès' Constantine 1904, Fichier électronique, 491p.
61. Dean C. Adams, F. James Rohlf, Dennis E. Slice (2004) Geometric morphometrics: Ten years of progress following the 'revolution'. *Italian Journal of Zoology* 71(1): 5-16. Doi: 10.1080/11250000409356545
62. Del-Villar, H. (1937) Les *Quercus* de l'herbier d'Alger. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord (Tome 28), 432-478.
63. Desfontaines, R. (1798-1799) *Flora atlantica, sive historia plantarum, quae in atlante, agro tunetano et algeriensi crescunt (tomus secundus)*. Paris, 458 p. + pl. 121-261.
64. Dickson, R.E., Tomlinson, P.T. (1996) Oak growth, development and carbon metabolism in response to water stress. *Ann Sci For* 53: 181-196.
65. Dobignard A., Chatelain C. (2010-2013) Index synonymique de la Flore d'Afrique du Nord, Éditions Des Conservatoire Et Jardin Botaniques. 5 Volumes, Édition des conservatoire et jardin botaniques, Genève, Suisse.
66. Dryden, I.L., Mardia K.V. (1993) Multivariate shape analysis. *Sankhya* 55: 460-480.
67. Dryden, I.L., Mardia K.V. (1998) *Statistical shape analysis*. Wiley, Chichester.
68. Dubordieu, J. (1997) Dossier sylviculture, revue arborescence 68. Office national des forêts. Contact habillage édition, Beaume.
69. Dupouey, J.L., Le Boulter, H. (1989) Discrimination morphologique des glands de chênes sessile (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) et pédonculé (*Quercus robur* L.). *Annales des sciences forestières* 46: 187-194. [http:// dx.doi.org/10.1051/forest:19890207](http://dx.doi.org/10.1051/forest:19890207)
70. Ehleringer, J. (1982) The influence of water stress and temperature on leaf pubescence development in *Encelia farinosa*. *American Journal of Botany* 69: 670-675.
71. Ehleringer, J. (1984) Ecology and ecophysiology of leaf pubescence in North American desert plants. In: *Biology and chemistry of plant trichomes*. E. Rodriguez, P.L. Healey, & I. Mehta (eds.), 113-132. Plenum Press, New York.
72. Ehleringer, J., Björkman, O., Mooney, H. A. (1976) Leaf Pubescence - Effects on Absorptance and Photosynthesis in a Desert Shrub. *Science* 192: 376-377.

73. Emberger, C., Larrieu, L., Gonin, P. (2016) Dix facteurs clés pour la diversité des espèces en forêt. Comprendre l'Indice de Biodiversité Potentielle (IBP). Paris : Institut pour le développement forestier, Déc. 2016. p 58.
74. Farmer, R.E.J. (1980) Comparative analysis of 1st-year growth in six deciduous tree species. *Canadian Journal of Forest Research* 10: 35-41. [http:// dx.doi.org/10.1139/x80-007](http://dx.doi.org/10.1139/x80-007)
75. Fonseca, C.R., Overton, J.M., Collins, B., Westoby, M. (2000) Shifts in trait-combinations along rainfall and phosphorus gradients. *J Ecol* 88: 964-977.
76. Gaouar, A. (1980) Hypothèses et réflexions sur la dégradation des écosystèmes forestiers dans la région de Zarifet (Algérie). *Forêt méditerranéenne* 2: 131-146.
77. Garcia-Amorena, I, Wagner, F., van Hoof, T.B., Gomez-Manzaneque, F. (2006) Stomatal response in deciduous oaks from southern Europe to the anthropogenic atmospheric CO2 increase; refining the stomatal-based CO2 proxy. *Review of Palaeobotany & Palynology* 141: 303-312.
78. Gellini, R., Bussotti, F., Bettini, D., Grossoni, P., Bottacci, A. (1992) Species of genus *Quercus* in Italy: Characterization by means of leaf surface observation. *Giornale Botanico Italiano* 126: 481-504.
79. Gil-Pelegrín, E., Ángel, S.M., 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) Oaks Physiological Ecology. Exploring The Functional Diversity of Genus *Quercus* L. *Tree Physiology* (Volume 7): 137-177. Springer International Publishing AG. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-69099-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69099-5_5)
80. Gonin, P., Larrieu, L., Deonchat M. (2017) L'Indice de biodiversité potentielle (IBP) : comment l'étendre à l'ensemble des forêts méditerranéennes ? *Forêt Méditerranéenne* t. XXXVIII (3): 335-342.
81. Gonin, P., Larrieu, L., Martel, S. (2012) L'indice de biodiversité potentielle (IBP) en région méditerranéenne. *Forêt Méditerranéenne* t. XXXIII (2) :133-143.
82. Gosselin, F., Bouget, C., Gosselin, M., Chauvin, C., Landmann, G. (2009) L'état et les enjeux de biodiversité forestière en France : chap 6. Bio2. Biomasse et Biodiversité forestières. In: Landmann G. Gosselin F. Bonhême I. (Eds). Augmentation de l'utilisation de la biomasse forestière : implications pour la biodiversité et les ressources naturelles. GIP Ecofor. France.
83. Gosselin, M., Laroussinie, O. (2004) Biodiversité et gestion forestière. Connaître pour préserver. GIP-Ecofor, Cemagref Éditions. Nogent sur Vernisson, France.
84. Gratani, L., Covone, F., Larcher, W. (2006) Leaf plasticity in response to light of three evergreen species of the Mediterranean maquis. *Trees-Structure and Function* 20: 549-558.
85. Greuter, W., Burdet, H.M., Long, G. (1986) (Med-Checklist 3) A critical inventory of vascular plants of the circum-mediterranean countries. 3. Dicotyledones (Convolvulaceae Labiatae). Editions des Conservatoire et jardin botaniques de la Ville de Genève. Secretariat Med-Checklist Botanischer Garten & Botanisches Museum Berlin-Dahlem. (<http://ww2.bgbm.org/mcl/home.asp>).
86. Halimi, A. (1980) L'Atlas Blidéen. Climats et étages végétaux. O.P.U. Alger.

- 87.** Hanley, M.E., Lamont, B.B., Fairbanks, M.M., Rafferty, C.M. (2007) Plant structural traits and their role in anti-herbivore defense. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics* 8: 157-178.
- 88.** Hardin J.W. (1979) Patterns of variation in foliar trichomes of eastern North American Quercus. *Am J Bot* 66: 576--585.
- 89.** Hardin, J.W. (1975) Hybridization and introgression in Quercus alba. *J. Arnold Arbor. Harv. Univ.* 56: 336-363.
- 90.** He, Y., Li, N., Wang, Z., Wang, H., Yang, G., Xiao, L., Wu, J., Sun, B. (2014) Quercus yangyiensis sp. nov. from the late Pliocene of Baoshan, Yunnan and its paleoclimatic significance. *Acta Geologica Sinica* 88: 738-747.
- 91.** Hong-Qin, S., Jian-Ping, L. (2010) Comparison of drought resistance of pepper with different hairiness character under drought stress. *Nuclear Agricultural Sciences* 24: 835-839.
- 92.** Hopper, G.M. (1982) Seed dormancy and germination of northern red oak. PhD thesis, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, USA.
- 93.** Hopper, G.M., Smith, D.Wm., Parrish, D.J. (1985) Geminatio and seedling growth of northern red oak: effects of stratification and pericarp removal. *Forest Science* 31: 31-39. <https://doi.org/10.1093/forestscience/31.1.31>
- 94.** Houston, D.B. (1987) Variation in southern seed sources of Northern red oak. Proc. of the 5th North Central Tree Improvement Conference, August 10-12, Fargo, North Dakota: 132-140.
- 95.** Hugues, C. (2002) Vers une cartographie informatisée des stations forestières. *Forêt wallonne* 57: 22-30.
- 96.** Jahandiez, E., Maire, R. (1932) Catalogue des plantes du Maroc (Spermatophytes et Ptéridophytes). Tome deuxième: Dicotylédones Archichlamydées. Alger. p. 161-557.
- 97.** Jahandiez, E., Maire, R. (1932) Catalogue des Plantes du Maroc (Spermatophytes et Ptéridophytes). Tome deuxième, Dicotylédones Archichlamydées. Imprimerie Minevra, Alger.
- 98.** Jarvis, P.G., McNaughton, K.G. (1986) Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. *Advances in Ecological Research* 15: 1- 49.
- 99.** Jensen, R.J. (1988) Assessing patterns of morphological variation of Quercus spp in mixed-oak communities. *Am Midl Nat* 120: 120-135.
- 100.** Jensen, R.J. (1990) Detecting shape variation in oak leaf morphology: A comparison of rotational-fit methods. *American Journal of Botany* 77: 1279-1293. DOI: 10.2307/2444589
- 101.** 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(11): 1358-1366.
- 102.** Jimenz, P., Lopez De Heredia, U., Collada, C., Lorenzo, Z., Gil, L. (2004) High variability of chloroplast DNA in three Mediterranean evergreen oaks indicates complex evolutionary history. *Heredity* 93: 510-515.
- 103.** Johnson, H.B. (1975) Plant Pubescence - Ecological Perspective. *Botanical Review* 41: 233-258.
- 104.** Jones, L., Brown, C.L. (1966) Cause of slow gemination in cherrybark and northern red oak. *Proceedings of the Association of Official Seed Analysts* 56: 82-88.

- 105.** Karabourniotis, G., Bornman, J.F. (1999) Penetration of UV-A, UV-B, and blue light through the leaf trichome layers of two xeromorphic plants, olive and oak, measured by optical fibre microprobes. *Physiologia Plantarum* 105: 655-661.
- 106.** 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: 579-586. [https://doi.org/10.1016/S1146-609X\(99\)00103-4](https://doi.org/10.1016/S1146-609X(99)00103-4)
- 107.** Kendall, D.G. (1984) Shape manifolds, procrustean metrics, and complex Projective spaces. *Bulletin of the London Mathematical Society* 16: 81-121.
- 108.** Kendall, D.G. (1985) Exact Distributions for Shapes of Random Triangles in Convex Sets. *Advances in Applied Probability* 17(2): 308-329.
- 109.** Kendall, D.G. (1989) A survey of the Statistical Theory of Shape. *Statistical Science* 4(2): 87-120.
- 110.** Kent, J.T., Mardia, K.V. (2001) Shape, Procrustes tangent projections and bilateral symmetry. *Biometrika* 88: 469-485.
- 111.** Kherchouche, D. (2013) Approches sylvicole et paléocéologique pour l'étude des facteurs de dépérissement et la répartition spatio-temporelle du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Ma.) de l'Aurès. Thèse Doc, Université Batna1 Hadj Lakhdar, Batna, Algérie.
- 112.** Klingenberg C.P. (2011) MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular ecology resources* (1): 353-357. doi: 10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x
- 113.** Klingenberg, C.P. Monteiro, L.R., (2005) Distances and directions in multidimensional shape spaces: implications for morphometric applications. *Systematic biology* 54(4): 678-688.
- 114.** Kolb, T.E., Steiner, K.C. (1989) Genetic variation among and within single-tree progenies of northern red oak. *Forest Science* 35: 251-256. <https://dx.doi.org/10.1093/forestscience/35.1.251>
- 115.** Koumiche, F., Benmahioul, B. (2016) Effet de quelques traitements physiques sur la germination des glandes et la croissance ultérieure des plants de chêne vert (*Quercus rotundifolia* Lam.). *Algerian journal of arid environment* 6: 83-92.
- 116.** Kremer, A. (1990) Combined provenance and progeny test. Laboratoire d'amélioration des arbres forestiers, Bordeaux, INRA éditions.
- 117.** Kremer, A. (1994) Programme d'amélioration génétique du chêne rouge en France. In: Timbal J., Kremer A., Le Goff N., Nepveu G. (eds) Le chêne rouge d'Amérique. Bordeaux, INRA éditions.
- 118.** Kremer, A., Dupouey, J.L.J., Deans, D., Cottrell, J., Csaikl, U., Finkeldey, R., Espinel, S., Jensen, J., Kleinschmit, J., Barbara, V.D., Ducouso, A., Forrest, I., de-Heredia, U.L., Lowe, A.J., Tutkova, M., Munro, R.C., Badeau, S.S.V. (2002) Leaf morphological differentiation between *Quercus robur* and *Quercus petraea* is stable across western European mixed oak stands. *Annals of Forest Science* 59: 777-787. Springer Verlag/EDP Sciences.
- 119.** Lamarck, J.-B. (1783) Encyclopédie Méthodique Botanique. Tome 1. Panckoucke Libraire. Paris, 725.
- 120.** 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. *Cahier Agricultures* 9: 369-380. <https://doi.org/10.19182/bft2017.333.a31466>

- 121.** Lamond, M. (1978) Péricarpe et cinétique de germination des glands de chêne pédonculé. *Annales des Sciences Forestières* 35: 203-212. <https://doi.org/10.1051/forest/19780303>
- 122.** Lamond, M., Levert, J. (1980) Influence des enveloppes séminales sur l'imbibition des glands de chêne pédonculé (*Q. robur* L.). *Annales des Sciences Forestières* 37: 73-83. <https://doi.org/10.1051/forest:19800105>
- 123.** Lapie, G., Maige, A. (1914) Flore forestière de l'Algérie (comprenant les arbres, arbustes et arbrisseaux les plus répandus en Tunisie, au Maroc, et dans le Midi de la France). Paris, VIII + 359 p.
- 124.** Larrieu, L., Cabanettes, A., Brin, A., Bouget, C., Decouchat, C. (2014) Tree microhabitats at the stand scale in montane beech-fir forests: practical information for taxa conservation in forestry. *Eur J Forest Res* (133): 355-367. doi:10.1007/s10342-013-0767-1
- 125.** Larrieu, L., Gonin P. (2008) L'indice de Biodiversité Potentielle (IBP) : une méthode simple et rapide pour évaluer la biodiversité potentielle des peuplements forestiers. *Rev. For. Fr.* 727-748.
- 126.** Larrieu, L., Gonin P. (2010) L'indice de biodiversité potentielle (IBP) : un outil pratique au service de la biodiversité ordinaire des forêts. *Forêt entreprise* (190): 52-57.
- 127.** Leaf Architecture Working Group (1999) Manual of Leaf Architecture, morphological description and categorization of dicotyledonous and net-veined monocotyledonous angiosperms. 65 p.
- 128.** Lebart, L., Morineau, A., Piron, M. (1995) Statistique exploratoire multidimensionnelle. Dunod, Paris, 185-206.
- 129.** Leroy T., Roux C., Villate L., Bodénès C., Romiguié J., Paiva J.A., Dossat C., Aury J.M., Plomion C., Kremer A. (2017) Extensive recent secondary contacts between four European white oak species. *New Phytologist* 214(2): 865-878. DOI:10.1111/nph.14413
- 130.** Levert, J. (1977) Etude de l'influence de quelques facteurs physiques sur la germination des glands de chêne pédoncule (*Quercus pedunculata* Ehrl., syn.: *Q. robur* L.). Mémoire de D.E.A., Université de Clermont II, France.
- 131.** Levin, D.A. (1973) The role of trichomes in plant defense. *Quarterly Review of Biology* 48: 3-15.
- 132.** Liu, Y., Li, Y., Song, J., Zhang, R., Yan, Y., Wang, Y., Du, F.K. (2018) Geometric morphometric analyses of leaf shapes in two sympatric Chinese oaks: *Quercus dentata* Thunberg and *Quercus aliena* Blume (Fagaceae). *Annals of Forest Science* 75:90. DOI: 10.1007/s13595-018-0770-2
- 133.** Llamas, F., Perez-Morales, C., Acedo, C., Penas, A. (1995) Foliar trichomes of the evergreen and semi-deciduous species of the genus *Quercus* (Fagaceae) in the Iberian Peninsula. *Botanical Journal of the Linnean Society* 117: 47-57.
- 134.** Long T.J., Jones R.H. (1996) Seedling growth strategies and seed size effects in fourteen oak species native to different soil moisture habitats. *Trees* 11: 1-8. <https://doi.org/10.1007/s004680050051>
- 135.** López González, G.A. (2001) Los árboles y arbustos de la Península Ibérica e Islas Baleares [Les arbres et les arbustes de la Péninsule ibérique et des îles Baléares]. Tomo I. Mundi-Prensa, Madrid [En espagnol].
- 136.** Lumaret, R., Tryphon-Dionnet, M., Michaud, H., Sanuy, A., Ioptesi, E., Born, C., Mir, C. (2005) Phylogeographical Variation of Chloroplast DNA in Cork Oak (*Quercus suber*). *Annals of Botany* 96: 853-861.

- 137.** Lumaret, R., Mir, C., Michaud, H. Raynal, V. (2002) Phylogeographical variation of chloroplast DNA in holm oak (*Quercus ilex* L.) - *Molecular Ecology* 11: 2327-2336.
- 138.** Magri, D., Fineschi, S., Bellarosa, R., Buonamici, A., Sebastiani, F., Schirone, B., Simeone, M.C., Vendramin, G.G. (2007) The distribution of *Quercus suber* chloroplast haplotypes matches the paleogeographical history of the western Mediterranean. *Molecular Ecology* 16: 5259-5266.
- 139.** Maire, R. (1931) Contribution à l'étude de la flore de l'Afrique du Nord. Bulletin de la Société d'histoire Naturelle de l'Afrique du Nord (Tome 22), 30-93. Imp. Minerva.
- 140.** Maire, R. (1961) Flore de l'Afrique du Nord (Tome 6), 97-105. Lechevalier (eds.), Paris.
- 141.** 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.
- 142.** Margaris, N.S., Mooney, H.A. (1981) Components of productivity of Mediterranean-climate regions. Basic and applied aspects. Junk, The Hague.
- 143.** McDonald, P.G., Fonseca, C.R., Overton, J.M., Westoby, M. (2003) Leaf-size divergence along rainfall and soil-nutrient gradients: is the method of size reduction common among clades? *Funct Ecol* 17: 50-57.
- 144.** Meddour, R. (1993) Analyse phytosociologique de la chênaie caducifoliée mixte de Tala Kitane (Akfadou, Algérie). *Ecol. Médit.* 19 (3-4): 1-9.
- 145.** Meddour, R. (2010) Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie. PhD thesis, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie.
- 146.** Mercier, S., Rainville, A. (1996) Effet de la morphologie, du génotype et de la germination précoce des glands de chêne rouge sur la croissance des plants en récipient. Mémoire de recherche forestière no 123, Biologie des semences d'arbres feuillus. Bibliothèque nationale de Québec, Canada.
- 147.** Merouani, H., Branco, C., Helena, M., Almeida, M.H., Peirira, J.S. (2001) Comportement physiologique des glands de chêne-liège (*Quercus suber* L.) durant leur conservation et variabilité inter-individus producteurs. *Annales des Sciences Forestières* 58: 143-153. <https://doi.org/10.1051/forest:2001114>
- 148.** Messaoudène, 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 Sci., Univ. Aix-Marseille III, 105p.
- 149.** Messaoudène, M. (1996) Chêne zéen et chêne afares. *La forêt algérienne* 1: 18-25. INRF, Bainem, Alger.
- 150.** Messaoudène, M. Mahmoud, L. Derridj, A. (2008) Étude de la diversité floristique de la forêt de l'Akfadou (Algérie). *Bois et Forêts tropiques* 291: 75-81.
- 151.** Messaoudène, M. Tessier L. (1996) Relations cerne-climat dans des peuplements de *Quercus afares* Willd et *Quercus canariensis* Pomel en Algérie. *Ann. Sci. For* 54: 347-358.
- 152.** Messaoudène, M. Tessier L. (2003) Relation climat-croissance radiale de *Quercus canariensis* et de *Quercus afares*. *Ann. Recherche Forestière en France N:* 347-358.
- 153.** Messaoudène, M., Tessier, L. (1991) Croissance radiale de *Quercus canariensis* Willd. et *Quercus afares* Pomel en Kabylie (Algérie). *Ecologia Méditerranée* 17: 119-133.
- 154.** Miara, M.D, Hadjadj Aoul, S., Ait Hammou, M. (2012) Analyse phytoécologique et syntaxonomique des groupements végétaux dans le Massif de Guezoul-Tiaret (N-O Algérie). *Bulletin de la Société Botanique du Cente-Ouest-Nouvelle Série* 43: 279-316.

- 155.** Michaud, H., Toumi, L., Lumaret, R., Li, T.X., Romane, F., & Di-Guisto, F. (1995) Effect of geographical discontinuity on genetic variation in *Quercus ilex* L. (holm-oak): Evidence from enzyme polymorphism. *Heredity* 74: 590-606.
- 156.** Mitrakos, K. (1980) A theory for Mediterranean plant life. *Acta Oecologica* 1: 245-252.
- 157.** Morales Alonso, R., Vicente Orellana, J. A., Galán de Mera, A. (2006) Genetic variability in some species of the genus *Quercus* (Fagaceae). *Bocconea* 19: 261-269.
- 158.** Mossa, L., Bacchetta, G., Brullo, S. (1999) *Quercus ichnusae* (Fagaceae), a new species from Sardinia. *Israel Journal of Plant Sciences* 47: 199-207.
- 159.** Mouton, J.A. (1976) La biométrie du limbe : mise au point de nos connaissances. *Bulletin de la Société Botanique de France* 123: 145-157.
- 160.** Müller, C.H. (1952) Ecological control of hybridization in *Quercus*: A factor in the mechanism of evolution. *Evolution* 6: 147-161.
- 161.** Musset, R. (1935) Les calculs relatifs aux régimes pluviométriques. Fraction pluviométrique, écart pluviométrique relatif, coefficient pluviométrique relatif. In : Les Études rhodaniennes. Vol 11, no 1, pp 75-85. <https://doi.org/10.3406/geoca.1935.6461>
- 162.** 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. *Annales of Forest Science* 63: 961-967. <https://doi.org/10.1051/forest:2006079>
- 163.** Nixon, K.C. (1993) Infrageneric classification of *Quercus* (Fagaceae) and typification of sectional names. *Annals of Forest Science*. Suppl. 1 (Paris) 50: 25-34.
- 164.** Nixon, K.C. (2006) Global and Neotropical Distribution and Diversity of Oak (genus *Quercus*) and Oak Forests. *Ecological Studies* 185: 1-5.
- 165.** Oukabli, A., Lansarib, A., Loudiyl, W., Abousalim, A. (2001) Effets endogamiques sur la germination et la croissance de semis du cultivar autocompatible Tuono (*Prunus dulcis*). *Fruits* 56: 197- 205. <https://doi.org/10.1051/fruits:2001123>
- 166.** Ozenda, P. (1982) Les végétaux dans la biosphère. Doin Éditeurs, Paris. p. 431.
- 167.** Ozenda, P. (1986) La cartographie écologique et ses applications. Édition Masson, Paris. p. 160.
- 168.** 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: 301-313. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu108>
- 169.** Peguero-Pina, J.J., Sisó, S., Sancho-Knapik, D., Díaz-Espejo, A., Flexas, J., Galmés, J., Gil-Pelegrín, E. (2016) Leaf morphological and physiological adaptations of a deciduous oak (*Quercus faginea* Lam.) to the Mediterranean climate: a comparison with a closely related temperate species (*Quercus robur* L.). *Tree Physiology* 36: 287–299.
- 170.** Peñaloza-Ramirez, J.M., Gonzales-Rodriguez, A., Mendoza-Cuenca, L., Caron, H., Kremer, A., Oyama, K. (2010) Interspecific gene flow in a multispecies oak hybrid zone in the Sierra Tarahumara of Mexico. *Ann Bot* 105: 389-399.
- 171.** Phelps, J.E., Chambers, J.L., Hinkley, T.M. (1976) Some morphological, ecological, and physiological traits of four ozark forest species. In Proc. First Central Hardwood Forest Conference. Eds. Fralish, J.S., Weaver G.T., Schlesinger, R.C.; South Illinois Univ, Carbondale, 231-243.

- 172.** Quantum GIS Development Team (2016) QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Available from <https://www.qgis.org/en/site/> [accessed 19 Mar. 2019].
- 173.** 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: 1795-1803. <https://doi.org/10.3732/ajb.94.11.1795>
- 174.** 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 Ecology* 35: 725-737. <https://doi.org/10.1071/FP08149>
- 175.** Quezel, P. Medail, F. (2003) *Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen*. Elsevier, Paris.
- 176.** Quézel, P., Bonin, G. (1980) Les forêts feuillues du pourtour méditerranéen : constitution, écologie, situation actuelle et perspectives. *Revue Forestière Française* 32 (3): 253-268.
- 177.** Quézel, P., Santa, S. (1962-1963) Nouvelle flore d'Algérie et des régions désertiques méridionales. Ed. CRNS, Paris (FR), Tome I : 1-565, Tome II: 566-1170.
- 178.** Ripley, B.S., Pammenter, N.W., Smith, V.R. (1999) Function of leaf hairs revisited: The hair layer on leaves *Arctotheca populifolia* reduces photoinhibition but leads to higher leaf temperatures caused by lower transpiration rates. *Journal of Plant Physiology* 155: 78-85.
- 179.** Rivas-Martínez, S., Sáenz Laín, C. (1991) Enumeración de los *Quercus* de la Península Ibérica. *Rivasgodaya* 6: 101-110.
- 180.** Rohlf F.J., Marcus L.F. (1993) A revolution morphometrics. *Trends in Ecology & Evolution* 8(4): 129-132.
- 181.** Rohlf, F.J. (2016) Tps series. Departement of Ecology & Evolution, State University of New York. SUNY at Stony Brook. <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>
- 182.** Royer, L.D., Wilf, P. (2006) Why do toothed leaves correlate with cold climates? Gas exchange at leaf margins provides new insights into a classic paleotemperature proxy. *International Journal of Plant Sciences* 167: 11-18.
- 183.** Rueden, C.T., Schindelin, J., Hiner, M.C., DeZonia B.E., Walter A.E., Arena, E.T., Eliceiri, K.W. (2017) ImageJ2: ImageJ for the next generation of scientific image data. *BMC Bioinformatics* 18, 529. doi:10.1186/s12859-017-1934-z.
- 184.** Rushton, B.S. (1993) Natural hybridization within the genus *Quercus* L. *Annals of Forest Science*. Suppl. 1 (Paris) 50: 73-90.
- 185.** Sack, L., Melcher, P.J., Liu, W.H., Middleton, E., Pardee, T. (2006) How strong is intracanalopy leaf plasticity in temperate deciduous trees? *American Journal of Botany* 93: 829-839.
- 186.** Salamani, M. (1991) Premières données palynologiques sur l'histoire Holocène du massif de l'Akfadou (Grande-Kabylie, Algérie). *Ecologia Mediterranea* 17: 145-159.
- 187.** Sarir R., Benmahiou 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 Forest Journal* 1: 42-48. <https://doi.org/10.5281/zenodo.810092>
- 188.** Schimper, A.F.W. (1903) *Plant-geography on a physiological basis*. Clarendon Press, Oxford.

- 189.** Schoenenberger, A. (1972) Présentation géobotanique du massif des Aurès (Algérie). In: Comptes rendus des séances mensuelles de la société des sciences naturelles et physiques du Maroc 38: 68-77.
- 190.** Schopmeyer, C.S. (1974) Seeds of woody plants in the United States. Washington, Forest Service. Agriculture Handbook 450, US Department of Agriculture.
- 191.** Schwarz O. (1936) Entwurf zu einem natürlichen System der Cupuliferen und der Gattung Quercus L. Notizblatt des Botanischen Gartens und Museums zu Berlin-Dahlem 13: 1-22.
- 192.** Schwarz, O. (1964) Quercus L. In: Tutin, T.G., Heywood, V.H., Burges, N.A., Valentine, D.H., Walters, S.M., Webb, D.A., (eds.), Flora europaea (Vol. I. 1st eds.), 61-64. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.5281/zenodo.302862>
- 193.** Schwarz, O. (1993) Quercus L. In: Tutin, T.G., Burges, N.A., Chater, A.O., Eedmonson, J.R., Heywood, V.H., Moore, D.M., Valentine, D.H., Walters, S.M., Webb, D.A., (eds.), Flora europaea (Vol. I. 2nd eds), 72-76. Cambridge University Press, Cambridge.
- 194.** Seltzer P. (1946) Le climat de l'Algérie. Alger, Carbonel.
- 195.** Shibuya, T., Itagaki, K., Ueyama, S., Hirai, N., Endo, R. (2016) Atmospheric humidity influences oviposition rate of Tetranychus urticae (Acari: Tetranychidae) through morphological responses of host Cucumis sativus leaves. *Journal of Economic Entomology* 109: 255-258.
- 196.** Skaltsa, H., Verykokidou, E., Harvala, C., Karabourniotis, G., Manetas, Y. (1994) UV-B protective potential and flavonoid content of leaf hairs of Quercus ilex. *Phytochemistry* 37: 987-990.
- 197.** Stipanovi, R.D. (1983) Function and chemistry of plant trichomes and glands in insect resistance: protective chemical in plant epidermal glands and appendages, plant resistance to insects. *Journal of the American Chemical Society* 5: 69-100.
- 198.** Tassin, C. (2012) La complexité des étages végétaux. In: Tassin C. (eds) Paysages végétaux du domaine méditerranéen : bassin méditerranéen, Californie, Chili central, Afrique du Sud, Australie méridionale. Marseille, IRD Editions. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.9781>
- 199.** Terras, M. (2011) Typologie, cartographie des stations forestières et modélisations des peuplements forestières. Cas des massifs forestiers de la wilaya de Saida (Algérie). Thèse Doct. en Sci., Université Abou Bakr Belkair-Tlemcen, 401p.
- 200.** Thompson, B.E. (1985) Seedling morphological evaluation. What you can tell by looking. In: Duryea M.L. (eds) Proceedings evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major tests. *Forest Research Laboratory*: 59-71. Oregon State University.
- 201.** Thompson, K., Rabinowitz, D. (1989) Do big plants have big seeds? *American Naturalist* 133: 722-728. <https://doi.org/10.1086/284947>
- 202.** 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: 441 - 447. <https://doi.org/10.15258/sst.2005.33.2.16>
- 203.** Toumi, L., Lumaret, R. (1998) Allozyme variation in cork oak (Quercus suber L.): the role of phylogeography and genetic introgression by other Mediterranean oak species and human activities. *Theoretical and Applied Genetics* 97: 647-656.

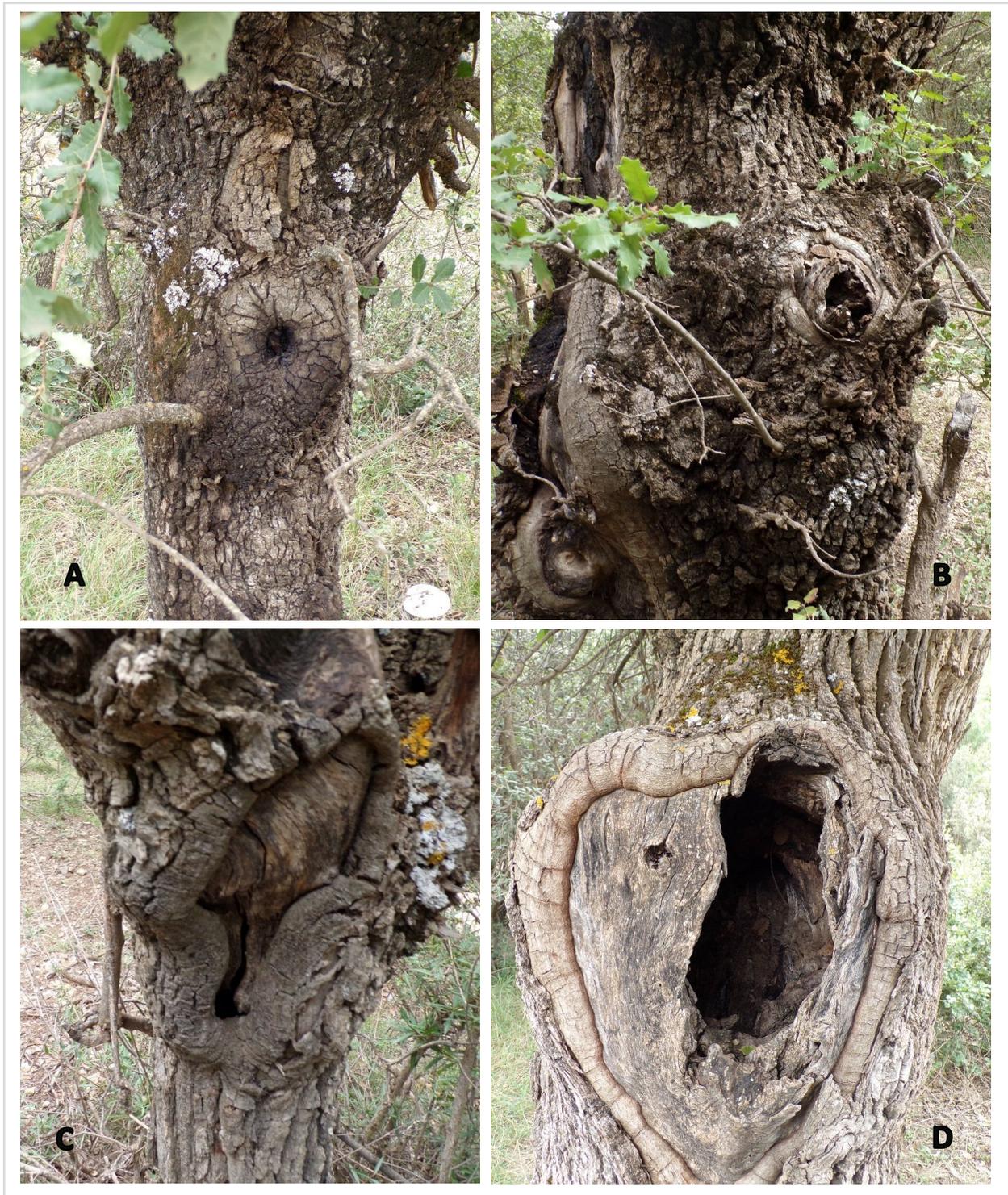
- 204.** Trabut, L. (1892) Sur les variations du *Quercus Mirbeckii*. Durieu en Algérie. *Revue générale de Botanique* (Tome 4.), 1-6. Librairie des Sciences Naturelles, Paris.
- 205.** Trubat, R., Cortina, J., Vilagrosa, A. (2010) Nursery fertilization affects seedling traits but not field performance in *Quercus suber* L. *Journal of Arid Environments* 74: 491-497. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.10.007>
- 206.** Tschan, G.F., Denk, T. (2012) Trichome types, foliar indumentum and epicuticular wax in the Mediterranean gall oaks, *Quercus* subsection *Galliferae* (Fagaceae): implications for taxonomy, ecology and evolution. *Botanical Journal of the Linnean Society* 169(4): 611-644.
- 207.** U.S. Geological Survey (2017) Earthquake Facts and Statistics. At URL <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/stats.php> [accessed 22Mar. 2018].
- 208.** Valladares, F., Martínez-Ferri, E., Balaguer, L., Perez-Corona, E., Manrique, E. (2000) Low leaflevel response to light and nutrients in Mediterranean evergreen oaks: a conservative resource-use strategy? *New Phytol* 148: 79-91.
- 209.** Van Valen, L. (1976) Ecological species, multispecies, and oaks. *Taxon* 25: 233-239.
- 210.** Vazquez Pardo F.M., A.J. Coomes & al. (2018). Anotaciones a la nomenclatura del género *Quercus* L. (Fagaceae) en la Peninsula Iberica y NW de Africa. *Folia Bot. Extrem.* 12: 30.
- 211.** Véla, E., Rebbas, K., Martin, R., de Premorel, G., Tison, J.M. (2015) Waiting for integrative taxonomy: Morphospecies as an operational proxy for the radiative and reticulate genus *Ophrys* L. (Orchidaceae)?. *European Journal of Environmental Sciences* 5(2): 153-157.
- 212.** Villar-Salvador, P., Oliet Pala, J., Heredia Guerrero, N., Uscola Fernandez, M., Goicoetxea, O. (2013) *Quercus faginea* lam. y *Quercus humilis* Mill. [*Quercus faginea* Lam. et *Quercus humilis* Mill.] In: Pemán J., Navarro-Cerrillo R.M., Nicolás J.L., Prada M.A., Serrada R. (eds) *Producción y Manejo de Semillas y Plantas Forestales* [Production et gestion des semences et des plantes forestières]. Tomo II., Organismo Autónomo Parques Nacionales: 206-225. Madrid, Ministerio de Agricultura Alimentacion y Medio Ambiente [En español].
- 213.** Viscosi V., Lepais O., Gerber S., Fortini P. (2009b) Leaf morphological analysis in four European oak species (*Quercus*) and their hybrids: a comparison of traditional and new morphometric methods. *Plant Biosyst* 143: 564-574.
- 214.** 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 L.R. (eds.) *Tools for Identifying Biodiversity: Progress and Problems*. 257-261. Proceedings of the International Congress, Paris. EUT Edizioni Università di Trieste.
- 215.** 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* 179 (2): 335-348. DOI: <https://doi.org/10.1111/boj.12323>
- 216.** Viscosi, V. Cardini, A. (2012) Correction: Leaf morphology, Taxonomy and Geometric Morphometrics: A Simplified Protocol for Beginners. *PLoS ONE* 7(3): e25630. [10.1371/annotation/bc347abe-8d03-4553-8754-83f41a9d51ae](https://doi.org/10.1371/annotation/bc347abe-8d03-4553-8754-83f41a9d51ae). <https://doi.org/10.1371/annotation/bc347abe-8d03-4553-8754-83f41a9d51ae>

- 217.** Viscosi, V., Fortini, P., Slice, D.E., Loy, A., Blasi, C. (2009a) Geometric morphometric analyses of leaf variation in four oak species of subgenus *Quercus* (Fagaceae). *Plant Biosyst* 143: 575–587.
- 218.** Walker, A.R., Marks, M.D. (2000) Trichome initiation in *Arabidopsis*. *Advances in Botanical Research* 31: 213-233. Academic Press, New York.
- 219.** Webb, P.B. (1838) *Iter hispaniense* or a synopsis of plants collected in the southern provinces of Spain and in Portugal, with geographical remarks, and observations on rare and undescribed species. Paris & London, 80 p.
- 220.** Werker, E. (2000) Trichome diversity and development. *Advances in Botanical Research* 31: 1-35.
- 221.** Wigston, D.L. (1975) The distribution of *Quercus robur* L, *Q. petraea* (Matt.) Liebl. and their hybrids in south-western England 1. The Assessment of the taxonomic status of populations from leaf characters. *Watsonia* 10: 345-369.
- 222.** Willan, R.L. (1985) A guide to forest seed handling. FAO Forestry Paper 20/2. Rome.
- 223.** Zine el Abidine, A. (1999) Fagaceae. In, Fennane et al. "Flore pratique du Maroc" 1 : 129-132.
- 224.** Zine El Abidine, A., Bouderrah, M., Bekkour, A., Lamhamedi, M.S., Abbas, Y. (2016) Croissance et développement des plants de deux provenances de chêne-liège (*Quercus suber* L.) produits en pépinière dans des conteneurs de différentes profondeurs. *Forêt Méditerranéenne* 37: 137-150.
- 225.** Zine el Abidine, A., Fennane, M. (1995) Essai de la taxonomie numérique sur le chêne zène (*Quercus faginea* Lam.) au Maroc. *Lagascalia* 18: 39-54.

## ANNEXES

### Annexe (1- 7) - Guide illustré de quelques dendromicrohabitats rencontrés dans les placettes échantillonnées

**Annexe 1** - Cavités évolutives à terreau de tronc sur des pieds de chêne faginé. Images A & B montrent les premières phases de l'évolution (plage de bois plus ou moins altérée). Image B & C montrent les dernières phases de l'évolution (Bois partiellement (C) et entièrement évidé (D)).



**Annexe 2** - Cavités de pieds à fond dur (cavités des contreforts racinaires) sur des arbres de chêne faginé.



**Annexe 3** - Cavités évolutives à terreau de pied sur un arbre de chêne faginé.



**Annexe 4 - Plages de bois non carié (sans écorce) sur des arbres de chênes vert (au milieu) et faginé.**



**Annexe 5 - Dendrotelmes (cavités remplies d'eau) à fond dur (à gauche) et à fond partiellement carié (à droite).**



**Annexe 6** - Fente profonde (à gauche) et charpentière (à droite) sur des arbres de chêne faginé.



**Annexe 7** - Bois mort de grosse circonférence au sol et sur pied.







