

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université Abou Bekr Belkaid



جامعة ابي بكر بلقايد

تلمسان الجزائر

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, de la Terre et de l'Univers

Département des Ressources Forestières

THESE DE DOCTORAT

FORESTERIE

Thème

Etude des potentialités subéricoles de la région Nord-Ouest Algérien : Cas de la forêt du Parc National de Theniet-El-Had (W. Tissemsilt)

Présentée par :

NAGGAR OUMELDILALI

Soutenue le :

02/10/2021

Devant le jury composé de :

Président :

BERRICHI MOHAMED

Directeur de thèse :

BOUHRAOUA RACHID TARIK

Co-Directeur de thèse :

TORRES ALVAREZ ENRIQUE

Examineurs :

DERRIDJ AREZKI

LETREUCH-BELAROUCI ASSIA

RABHI KHELLAF

Pr., Université de Tlemcen

Pr., Université de Tlemcen

Pr., Université Huelva (Espagne)

Pr., Université de Tizi Ouzou

Pr., Université de Tlemcen

M.C. A, Université de Tizi Ouzou

Année universitaire : 2020-2021

Remerciements

Au terme de ce travail, j'exprime ma profonde gratitude à mon directeur de thèse M. Bouhraoua Rachid Tarik (Professeur à l'Université de Tlemcen) de m'avoir honoré de diriger cette recherche. Je le remercie pour ses conseils, ses orientations et ses qualités humaines.

Je tiens également à témoigner ma gratitude à mon co-directeur de thèse M. Torres Alvarez Enrique (Professeur à l'Université d'Huelva, Espagne) pour son aide, sa patience, sa générosité et ses conseils. Sans le stage que j'ai effectué dans son laboratoire, je ne serais parvenue à améliorer ce travail. Je remercie encore Calzado Anabel et tout le personnel administratif et scientifique du département d'Agroforesterie de l'université

J'exprime mes profonds remerciements à :

M. Berrichi Mohamed (Professeur à l'Université de Tlemcen), d'avoir accepté de présider le jury de cette Thèse,

M. Derridj Arezki (Professeur à l'Université de Tizi Ouzou), pour m'avoir honoré d'examiner de près ce travail,

Madame Medjahdi -Letreuch Belarouci Assia (Professeur à l'Université de Tlemcen), pour avoir accepté de faire partie du jury,

M. Rabhi Khellaf (Maitre de Conférence « A » à l'Université de Tizi Ouzou), d'avoir accepté d'examiner de près ce travail.

A la mémoire de M. Messaoudène Mohand (ex-directeur de l'INRF, Azazga, Tizi-Ouzou) dont j'exprime ma profonde gratitude. Son accueil, ses orientations et sa disponibilité. Il été très serviable, un grand homme, au cœur chaud pour la forêt Algérienne et l'Algérie. Allah yerhmou.

Mes profonds remerciements vont aussi à M. Zedek Mohamed (Maitre-Assistant « A » à l'Université de Tiaret), pour son accompagnement le long du cursus universitaire, ses orientations, ses conseils et ses qualités humaines.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers le directeur et le personnel du Parc de Theniet-El-Had, en particulier M. Seddar Larbi (forestier) pour sa disponibilité lors des sorties sur terrain, son aide et sa patience. Ainsi que M. Baghloul et M. Belkaid

J'adresse mes remerciements à toutes les personnes qui m'ont aidé au niveau de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Tlemcen.

Je n'oublie pas de remercier Bouazza Khaldia (M.C.B à l'université de Tiaret), pour son amitié, sa disponibilité et ses conseils précieux.

Je tiens également à exprimer ma gratitude à mes collègues à l'Ecole Supérieure d'Agronomie de Mostaganem, pour leur soutien et leurs conseils : Ghalem Amina (M.C.B), Messaoud Nassima (M.A.A) et Azzaoui Mohamed (M.C.A), sans oublier M. Zaidi Hachemi (M.C.B) qui m'a aidé dans la réalisation des cartes.

Que toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin soient rassurées qu'aucune d'elle n'est oubliée.

Naggar.O

Sommaire

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I : Généralités sur le chêne liège et la production du

Liège

1.1. Description générale.....	5
1.1.1. Ecologie du chêne liège.....	7
1.1.2. Répartition du chêne liège et son évolution.....	8
1.1.2.1. Dans le monde	8
1.1.2.2. En Algérie.....	11
1.1.3. Formation du liège.....	12
1.1.4. Causes de destruction et d'altération	16
1.2. Production du liège.....	18
1.2.1. Production mondiale du liège	18
1.2.2. Evolution de la production du liège en Algérie	19
1.2.3. Production du liège et facteurs influençant la croissance.....	23
1.2.3.1. Caractéristiques dendrométriques de l'arbre	27
1.2.3.2. Caractéristiques génétiques de l'arbre.....	28
1.2.3.3. Influence des facteurs climatiques.....	28
1.2.3.4. Influence des facteurs édaphiques	28
1.2.3.5. Influence des traitements sylvicoles	29
1.2.4. Rendement industriel en liège	30

Chapitre 02: Présentation générale du Parc National

de Theniet-El-Had

<i>2. Présentation générale du Parc National de Theniet-El-Had.....</i>	<i>35</i>
2.1. Localisation géographique.....	35
2.2. Zonage du parc	36
2.3. Composition floristique.....	37
2.4. Milieu physique.....	38
2.4.1. Relief	38
2.4.2. Géologie	39
2.4.3. Pédologie	39

2.4.4. Réseaux hydrologiques.....	39
2.6. Délimitation de la zone d'étude.....	41
2.6.1. Composition floristique.....	43
2.6.2. Synthèse climatique.....	46

Chapitre 02: Matériel et Méthodes

3. Matériel et méthodes.....	49
3.1. Echantillonnage.....	49
3.2. Données milieu physique.....	50
3.3. Données récoltées.....	51
3.3.1. Données dendrométriques et descriptives des arbres.....	51
3.3.2. Données structure des peuplements et typologie.....	54
3.3.3. Données état sanitaire.....	56
3.3.4. Données échantillons plaques de liège et cycle de production.....	59
3.3.5. Données rendement des arbres et production des peuplements.....	63
3.3.5.1. Données rendement des arbres.....	63
3.3.5.2. Données production des peuplements.....	64
3.4. Traitement statistique.....	64

Chapitre 04: Résultats

4. Résultats.....	70
4.1. Description du milieu physique.....	70
4.1.1. Exposition.....	70
4.1.2. Pente du terrain.....	70
4.1.3. Topographie.....	71
4.1.4. Altitude.....	72
4.2. Description et dendrométrie des tiges de chêne liège.....	73
4.2.1. Caractérisation qualitative des tiges de chêne lièges.....	75
4.2.1.1. Rectitude du tronc et exploitation du liège.....	78
4.2.1.2. Symétrie du houppier.....	79
4.2.1.3. Statut social des tiges.....	79
4.2.2. Caractérisation dendrométrique des tiges de chêne liège.....	80
4.2.2.1. Circonférence sous écorce à 1.30m.....	80

4.2.2.2. Hauteur totale des tiges	81
4.2.2.3. Surface terrière	82
4.2.2.4. Catégories de diamètres.....	83
4.2.2.5. Hauteur des fûts.....	84
4.2.2.6. Hauteur d'exploitation des tiges (ou d'écorçage).....	84
4.2.2.7. Epaisseur de l'écorce sur pied	85
4.2.2.8. Rendement en liège par arbre	86
4.2.3. Variabilité de croissance des tiges de chêne liège en rapport avec les descripteurs écologiques.....	87
4.2.3.1. Variabilité de la circonférence à 1.30m des tiges	87
4.2.3.2. Variabilité de la hauteur totale des tiges.....	88
4.2.3.3. Variabilité de la surface terrière des tiges	88
4.2.3.4. Variabilité de l'épaisseur du liège des tiges	89
4.2.3.5 Variabilité du rendement en liège des tiges en relation avec les descripteurs écologiques	89
4.2.3.6. Variabilité du statut social des tiges en relation avec les descripteurs écologiques	91
4.3. Structure des peuplements à chêne liège et typologie	92
4.3.1. Description dendrométrique des subéraies	92
4.3.1.1. Circonférence moyenne.....	92
4.3.1.2. Circonférence dominante.....	93
4.3.1.3. Surface terrière totale des peuplements	94
4.3.1.4. Hauteur totale moyenne.....	94
4.3.1.5. Hauteur dominante	95
4.3.1.6. Densité totale des peuplements de chêne liège.....	96
4.3.2. Caractérisation du peuplement de chêne liège à travers les facteurs stationnels.....	97
4.3.2.1. Variabilité de la circonférence dominante en relation avec les descripteurs écologiques	98
4.3.2.2. Variabilité de la surface terrière totale en relation avec les descripteurs écologiques.....	98
4.3.2.3. Variabilité de la hauteur totale moyenne.....	99
4.3.2.4. Variabilité de la hauteur dominante en relation avec les descripteurs écologiques.....	100
4.3.2.5. Variabilité de la densité totale en relation avec les descripteurs écologiques	100
4.3.3. Typologie structurale des subéraies.....	102
4.3.3.1. Caractérisation des subéraies à travers le triangle typologique	102
4.3.3.2. Caractérisation des subéraies à travers l'analyse en composantes principales	103
4.3.3.3. Caractérisation des subéraies à travers une classification hiérarchique ascendante	105
4.4. Etat de santé des subéraies de Theniet-El-Had.....	119
4.4.1. Déficit foliaire des tiges de chêne liège.....	119
4.4.1.1 Variabilité du déficit foliaire des tiges en relation avec les descripteurs écologiques	120

4.4.2. Etat sanitaire des peuplements de chêne liège.....	123
4.2.2.1. Variabilité de l'état sanitaire des peuplements à chêne liège en rapport avec les descripteurs écologiques et dendrométriques	125
4.5. Caractérisation du liège de Theniet-El-Had et cycle de production	127
4.5.1. Description générale du liège	127
4.5.2. Description de la croissance du liège et cycle de production	128
4.5.3. Accroissement moyen des échantillons de liège	133
4.5.4. Variation de la croissance du liège	134
4.5.5. Croissance cumulée	136
4.5.6. Sensibilité moyenne.....	140
4.5.7. Variabilité de la croissance du liège en relation avec les facteurs du milieu.....	141
4.6. Caractérisation du rendement et de la productivité du liège	142
4.6.1. Liège mâle ou naturel	142
4.6.2. Liège de reproduction.....	145
4.6.2.1. Variabilité du rendement et de la productivité en relation avec les facteurs du milieu ..	150
4.7. Effet des facteurs du milieu sur les potentialités subéricoles et modélisation de croissance	153
4.7.1. Variables affectant la croissance en épaisseur du liège par une régression linéaire logistique	153
4.7.2. Variables affectant le rendement et la production en liège des arbres par modèle linéaire multiple.....	157
4.7.2. Variables affectant la croissance du liège et le rendement par un modèle linéaire mixte .	163
4.8. Classification des subéraies en groupes homogènes selon le rendement et la productivité	165

Chapitre 05: Discussion et recommandation de gestion

5. Discussion et recommandations de gestion	166
5.1. Caractérisation qualitative des tiges de chêne lièges.....	166
5.2. Caractérisation dendrométrique des tiges de chêne lièges	167
5.3. Structure, typologie et dynamique des peuplements.....	167
5.4. Etat sanitaire des subéraies de Theniet-El-Had.....	178
5.5. Caractérisation du liège de Theniet-El-Had	179
5.6. Accroissement moyen des échantillons de liège	180
5.7. Caractérisation du rendement et de la productivité du liège	183
5.8. Effet des facteurs du milieu sur les potentialités subéricoles et modélisation de croissance	186

5.8.1. Variables affectant la croissance en épaisseur du liège	186
5.8.2. Variables affectant le rendement en liège des arbres et la production des peuplements ...	188
<i>Conclusion générale</i>	188

Résumé

La présente étude menée au sein de la subéraie de Theniet-El-Had, soumise à un étage bioclimatique subhumide à hivers froid. Elle vise à déterminer les potentialités subéricoles des peuplements à chêne liège. Au total 973 tiges de différentes essences sont inventoriées à travers 77 unités d'échantillonnage dont 833 sont des tiges de chêne lièges (*Quercus suber*). A l'échelle des peuplements, la subéraie présente une circonférence dominante de 1.28m, une surface terrière totale moyenne de 27.20m² et une hauteur dominante de 8.95m. la structure globale de cette subéraie reflète une diversité de composition et de variétés de bouquets à la fois irrégulières et régulières dominées par une ou deux catégories de bois. Les résultats d'inventaire sanitaire montrent que la subéraie de Theniet-El-Had, présente un état sanitaire global satisfaisant (IS<1.6).

Le liège de Theniet-El-Had présente un poids moyen par unité de surface de 6.58 kg/m², et un poids volumique moyen de 230.35 kg/m³ pour une humidité moyenne de 6.49%. Une durée de 12 ans est considérée satisfaisante comme rotation pour cette subéraie

Sur la base de 11 premiers accroissements complets, le liège de Theniet-El-Had présente un accroissement moyen annuel de 2.38 mm, une production moyenne par arbre de 10.46 kg et une productivité moyenne des peuplements de 240.12 kg/an/ha

L'épaisseur du liège est significativement affectée par les variables individuelles de l'arbre que par celles du milieu physique ou forestier. Les meilleurs accroissements annuels du liège sont enregistrés chez les arbres sains ayant une faible grosseur. Par contre les arbres affaiblis et de diamètres plus supérieurs, produisent des cernes plus étroits.

La hauteur totale des arbres peut prévoir à elle seule le rendement des arbres, les arbres les plus hauts sont généralement les plus productifs. Le rendement des arbres est affecté aussi, mais avec un degré moindre, par leur état de santé et l'altitude.

La production (kg/ha) en liège des peuplements est influencée par la hauteur dominante est l'indice sanitaire, donc les peuplements les plus productifs sont ceux sains parmi les plus hauts. L'exposition, la pente, la profondeur du sol et l'altitude ne manifestent aucun lien statistiquement significatif avec la production en liège des peuplements.

Mots clés : liège, subéraie, potentialités subéricoles, production, rendement, épaisseur liège, Theniet-El-Had

Liste des abréviations

A.P.C.O.R : Associação Portuguesa da Cortiça (Association Portugaise du liège)

AIC : critère d'information Akaike

BIC : critère d'information Bayésien

D.G.F: Direction Générale des Forêts

D.S.F : Département de la Santé des Forêts

DF: Déficit Foliaire

C.R.P.F.C : Centres Régionaux de la Propriété Forestière en Corse

CA: Cèdre de l'Atlas

CL: Chêne Liège

CZ: Chêne Zeen

CV: Chêne Vert

EUFORGEN: European Forest Genetic Resources Programme

FAO: Food and Agriculture Organisation

FOSA: The Forestry Outlook Study for Africa

HE : Hauteur d'Ecorçage

IML: Institut Méditerranéen de Liège

INRF : Institut National de Recherche forestière

IS : Indice Sanitaire

O.D.A.R.C : Office du Développement Agricole et Rural de la Corse

ONF: Office National des Forêts

SE : Surface d'Ecorçage

SM : Sensibilité Moyenne

P.N.T.E.H: Parc National de Theniet-El-Had

R_n : Rendement des arbres (kg)

P_n : Production du peuplement ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

ρ : masse volumique du liège ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$),

E_n : épaisseur moyenne cumulée du liège

LMM : modèle linéaire à effets mixtes

GLMM : modèle linéaire généralisé à effets mixtes

lm : linear model (modèle linéaire)

nlme : non linear model (modèle non linéaire)

glm : general linear model (modèle linéaire généralisé)

Liste des figures

Figure 01 : Arbre de chêne liège et son feuillage relevant de la subéraie de Theniet-El-Had.	7
Figure 02 : Répartition du chêne liège dans le monde	9
Figure 03 : Evolution de la superficie du chêne liège dans la région méditerranéenne entre 1893 et 2012.....	10
Figure 04 : Surfaces des forêts de chêne liège et leur superficie dans le pourtour méditerranéen	10
Figure 05 : Répartition des subéraies en Algérie.....	12
Figure 06 : Evolution d'une section du tronc de chêne liège le long d'un cycle de production de liège	14
Figure 07 : Produits issus de liège naturel et de reproduction.....	16
Figure 08 : Production mondiale du liège	19
Figure 09 : Schéma de base du développement d'un modèle de gestion pour peuplements de chêne liège liés directement à la production du liège. Les flèches indiquent les interrelations entre les différents niveaux du modèle	26
Figure 10 : Evolution du calibre du liège en relation avec la circonférence à 1.30m et sa variation le long de l'arbre	27
Figure 11 : Localisation géographique du Parc National de Theniet-El-Had et limites cantons.....	36
Figure 12 : Carte de zonage du parc national de Theniet-El-Had	37
Figure 13 : Grands types des végétaux dans le Parc National de Theniet-El-Had	38
Figure 14 : Nombre des coupes illicites en fonction des années	40
Figure 15 : Délimitation de la zone d'étude	42
Figure 16 : Tallis de chêne liège (Canton Ourten)	44
Figure 17 : Subéraie pure marquée par présence d'asphodèle indicatrice du surpâturage	45
Figure 18 : Subéraie pure a sous-bois dense	45
Figure 19 : Subéraie mixte a sous-bois dense	45
Figure 20 : Subéraie pure de la retenue collinaire Sidi Abdoun.....	45
Figure 21 : Courbe ombrothermique de la zone d'étude	46
Figure 22 Localisation de la zone d'étude (versant sud) dans le climagramme d'Emberger.....	48
Figure 23 : Localisation des placettes d'étude.....	49
Figure 24 : Situation topographique décrite selon un indice topographique	51
Figure 25 : Circonférence sur liège et sous liège dans une section transversale d'une tige	52
Figure 26 : Recommandations à suivre lors de mesures de la circonférence à 1.30m	53
Figure 27 : Protocole de notation du déficit foliaire.....	58
Figure 28 : Extraction des échantillons de liège.....	60
Figure 29 : Mesure d'accroissements d'un échantillon de liège par Lintab 5	62
Figure 30 : Fréquences relatives des strates d'exposition des placettes	70
Figure 31 : Fréquences relatives des classes de pentes des placettes	70
Figure 32 : Fréquences relatives des différents indices topographiques des placettes	71
Figure 33 : Fréquences relatives des classes altitudinales des placettes.....	72
Figure 34 : Fréquences relatives des classes de profondeur du sol des placettes	72
Figure 35 : Distribution des grosseurs d'arbres de chêne liège inventoriés	74
Figure 36 : Pied franc de chêne liège écorcé illicitement.....	75
Figure 37 : Arbres de chêne liège écorcés bifurqués au ras du sol.....	75
Figure 38 : Arbre inexploité de chêne liège à ramification basse.....	76
Figure 39 : Arbres exploitables de chêne liège non démasclés	76
Figure 40 : Fréquences relatives de la rectitude des troncs de chênes lièges	78

Figure 41 : Fréquences relatives de l'état d'exploitation des troncs de chênes lièges	78
Figure 42 : Fréquences relatives de la symétrie des houppiers des arbres de chêne lièges	79
Figure 43 : Fréquences relatives du statut social des troncs de chêne liège	80
Figure 44 : Fréquences relatives des classes de circonférence sous écorce des tiges de chêne liège	81
Figure 45 : Fréquences relatives des classes de hauteurs totales des tiges de chêne liège	82
Figure 46 : Fréquences relatives des classes de surfaces terrières des tiges de chêne liège	82
Figure 47 : Fréquences relatives des classes de catégories de diamètres des tiges de chêne liège.....	83
Figure 48 : Fréquences relatives des classes de hauteurs fûts des tiges de chêne liège	84
Figure 49 : Fréquences relatives des classes de hauteurs d'exploitation des tiges de chêne liège	85
Figure 50 : Fréquences relatives des classes d'épaisseur de liège sur pied des tiges de chêne liège	86
Figure 51 : Fréquences relatives des classes de rendement de liège sur pied des tiges de chêne liège .	87
Figure 52 : Corrélation entre le rendement des tiges et la circonférence	90
Figure 53 : Corrélation entre le rendement des tiges et la hauteur totale	90
Figure 54 : Fréquences relatives des classes de circonférence moyenne de peuplements de chêne liège	93
Figure 55 : Fréquences relatives des classes de circonférence dominante de peuplements de chêne liège	93
Figure 56 : Fréquences relatives des classes de surface terrière totale de peuplements (G) de chêne liège	94
Figure 57 : Fréquences relatives des classes de hauteur moyenne de peuplements de chêne liège	95
Figure 58 : Fréquences relatives des classes de hauteur dominante de peuplements de chêne liège	95
Figure 59 : Fréquences relatives des classes de densité de peuplements de chêne liège.....	96
Figure 60 : Projection des placettes d'étude dans le triangle de typologie.....	102
Figure 61 : Typologie structurale des subéraies de Theniet-El-Had selon les catégories de bois réalisées par analyse en composantes principales (ACP), projections variables et individus (placettes)	104
Figure 62 : Classification hiérarchique ascendante des groupes de peuplements inventoriés (les chiffres désignent les types de peuplements, les lettres désignent les sous-types).....	105
Figure 63 : Densité relative moyenne par espèce et par	107
Figure 64 : Composition par espèce (type1).....	107
Figure 65 : Composition par catégorie de diamètre du chêne liège (type1).....	107
Figure 66 : Densité relative moyenne par espèce et par catégorie bois (type 2)	109
Figure 67 : Composition par espèce (type2).....	109
Figure 68 : Composition par catégorie de diamètre du chêne liège (type2).....	109
Figure 69 : Densité relative moyenne par espèce et par catégorie bois (type 3)	111
Figure 70 : Composition par espèce (type3).....	111
Figure 71 : Composition par catégorie de diamètre du chêne liège (type3).....	111
Figure 72 Densité relative moyenne par espèce et par catégorie bois (type 4)	113
Figure 73 : Composition par espèce (type4).....	113
Figure 74 : Composition par catégorie de diamètre du chêne liège (type4).....	113
Figure 75 : Densité relative moyenne par espèce et par catégorie bois pour sous-type 4 (a).....	115
Figure 76 : Composition par espèce : sous-type4 (a)	115
Figure 77 : Composition par catégorie de diamètre du chêne liège (sous-type4-a)	115
Figure 78 : Densité relative moyenne par espèce et par catégorie bois pour sous-type 4 (b).....	116
Figure 79 : Composition par espèce : sous-type4 (b)	116
Figure 80 : Composition par catégorie de diamètre du chêne liège (sous-type4-b)	116
Figure 81 : Densité relative moyenne par espèce et par catégorie bois pour sous-type 4 (c).....	117
Figure 82 : Composition par espèce : sous-type4 (c)	117

Figure 83 : Composition par catégorie de diamètre du chêne liège (sous-type4-c)	117
Figure 84 : Clé de détermination des types de peuplements formant les subéraies de Theniet-El-Had.	118
Figure 85 : Fréquences relatives des classes de déficit foliaire des tiges de chêne liège	119
Figure 86 : Répartition par placette des classes de déficit foliaire	121
Figure 87 : Corrélacion entre la surface terrière et déficit foliaire des tiges	122
Figure 88 : Corrélacion entre la circonférence et déficit foliaire des tiges	122
Figure 89 : Corrélacion entre rendement et déficit foliaire des tiges	122
Figure 90 : Fréquences relatives des classes de santé de peuplements de chêne liège.....	123
Figure 91 : Fluctuation de l'état sanitaire des peuplements de chêne liège à travers les placettes d'étude	124
Figure 92 : Echantillon de liège à croûte épaisse	129
Figure 93 : Echantillon de liège à croûte mince	129
Figure 94 : Echantillon de liège à accroissements réguliers.....	131
Figure 95 : Echantillon de liège à accroissements irréguliers	131
Figure 96 : Echantillon de liège à accroissements irréguliers (cernes doubles).....	131
Figure 97 : Distribution des échantillons du liège atteignant une épaisseur commerciale de 27mm selon l'âge	132
Figure 98 : Fréquences relatives des classes d'épaisseurs des échantillons de liège.....	133
Figure 99 : Variations des accroissements annuels moyens du liège de Theniet-El-Had	135
Figure 100 : Accroissement moyen annuel du liège hors cycle normal de 12 ans	137
Figure 101 : Variation annuelle des accroissements complets de quelques échantillons de liège de différents âges.....	138
Figure 102 : Croissance cumulée de quelques échantillons de lièges présentés par groupes séparés (afin de faciliter la lecture)	139
Figure 103 : Distribution des fréquences relatives de classes de surface d'écorçage moyenne de liège mâle par pied.	144
Figure 104 : Distribution des fréquences relatives de classes de surface d'écorçage moyenne de liège mâle par pied et par catégorie de bois.	144
Figure 105 : Distribution des fréquences relatives des classes de surface écorcée totale pour un coefficient d'écorçage de 1.5 (à gauche) et de 2 (à droite).....	144
Figure 106 : Fréquences relatives des classes de production de liège d'un arbre moyen sur pied.....	146
Figure 107 : Fréquences relatives des classes de rendement moyen annuel en liège (kg/an) d'un arbre sur pied	146
Figure 108 : Fréquences relatives des classes de productivité des peuplements en liège sur pied (kg/ha/an)	147
Figure 109 : Production totale potentielle de liège (kg/ha)	150
Figure 110 : Corrélacions entre le rendement des arbres et la hauteur dominante (a), circonférence dominantes (b) et surface terrière totale (c).....	153
Figure 111 : Principaux paramètres affectant la croissance en épaisseur du liège.	154
Figure 112 : Paramètres maintenus dans le modèle définitif liés à l'épaisseur du liège.	155
Figure 113 : Matrice de corrélation entre variables candidates pour prédire la croissance en liège des tiges	156
Figure 114 : Test de multi-colinéarité entre variables pour prédire la croissance en liège	156
Figure 115 : Principaux paramètres affectant la variabilité du rendement en liège des arbres.	158
Figure 116 : Matrice de corrélation entre variables candidates pour prédire le rendement des tiges..	159
Figure 117 : Test de multi-colinéarité entre variables pour prédire le rendement en liège des arbres	159
Figure 118 : Paramètres maintenus dans le modèle définitif liés au rendement en liège des arbres.	159

Figure 119 : Principaux paramètres affectant la variabilité de la production des peuplements.	161
Figure 120 : Matrice de corrélation entre variables candidates pour prédire la production des peuplements en liège	162
Figure 121 : Les paramètres maintenus dans le modèle définitif liés à la production du liège	162
Figure 122 : Test de multi-colinéarité entre variables pour prédire la production en liège des peuplements.....	162
Figure 123 : Hiérarchisation des placettes selon l'effet des variables sur la production du chêne liège au cours d'un cycle complet de production.	166
Figure 124 : Dynamique naturelle possible du type 1	171
Figure 125 : Dynamique naturelle possible du type 2.....	173
Figure 126 : Dynamique naturelle possible du type 2.....	175
Figure 127 : Dynamique naturelle possible du type 2.....	177

Liste des tableaux

<i>Tableau 01 : Production (kg/ha) dans les pays producteurs de liège.....</i>	25
<i>Tableau 02 : Modèles de prédiction de la production du liège (échelle tige et peuplement) pour des subéraies productives relevant du monde subéricol.....</i>	32
<i>Tableau 03 : Répartition du cheptel par Canton.....</i>	41
<i>Tableau 04 : Classes de déficit foliaire et les catégories sanitaires correspondantes</i>	57
<i>Tableau 05: Principales catégories de dépérissement des peuplements de chêne liège.....</i>	59
<i>Tableau 06 : Principale classes d'accroissement moyen et type de liège correspondant.....</i>	62
<i>Tableau 07 : variables considérés à partir d'arbres de chêne liège inventoriés</i>	71
<i>Tableau 08 : Statistiques descriptives des différentes espèces recensées à travers les unités de mesure</i>	74
<i>Tableau 09 : Caractéristiques dendrométriques moyennes des tiges de chêne liège à l'intérieur des peuplements purs et mixtes</i>	77
<i>Tableau 10 : Statistiques descriptives des variables dendrométriques des tiges de chêne liège</i>	80
<i>Tableau 11 : Caractéristiques moyennes d'arbres exploités par catégories de bois</i>	84
<i>Tableau 12 : Analyse de la variance de la circonférence des tiges en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.....</i>	88
<i>Tableau 13 : Analyse de la variance de la hauteur totale des tiges en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.....</i>	88
<i>Tableau 14 : Analyse de la variance de la surface terrière des tiges en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.....</i>	89
<i>Tableau 15 : Analyse de la variance de l'épaisseur de liège des tiges en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.....</i>	89
<i>Tableau 16 : Analyse de la variance du rendement en liège des tiges en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.....</i>	90
<i>Tableau 17 : Analyse de la variance du rendement en liège des tiges en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.....</i>	91
<i>Tableau 18 : Statistiques descriptives des variables dendrométriques des peuplements de chêne liège</i>	92
<i>Tableau 19 : Stratification des facteurs stationnels</i>	97
<i>Tableau 20 : Analyse de la variance de la circonférence moyenne des peuplements en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%</i>	98
<i>Tableau 21 : Analyse de la variance de la circonférence dominante des peuplements en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%</i>	98

<i>Tableau 22 : Analyse de la variance de la surface terrière des peuplements en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.....</i>	99
<i>Tableau 23 : Analyse de la variance de la hauteur totale moyenne des peuplements en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.....</i>	100
<i>Tableau 24 : Analyse de la variance de la hauteur dominante des peuplements en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.....</i>	100
<i>Tableau 25 : Analyse de la variance de la densité des peuplements en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.....</i>	101
<i>Tableau 33 : Analyse de la variance du déficit foliaire des tiges en rapport avec les facteurs du milieu et dendrométriques au seuil de signification de 95%.....</i>	120
<i>Tableau 34 : Analyse de la variance de l'état sanitaire des peuplements en rapport avec les facteurs du milieu et dendrométriques au seuil de signification de 95%.....</i>	126
<i>Tableau 35 : Statistiques descriptives des caractéristiques des échantillons de liège.....</i>	127
<i>Tableau 36 : Densité moyenne et poids volumique par catégories de lièges.....</i>	127
<i>Tableau 37 : Statistiques descriptives des accroissements moyens annuels du liège des échantillons.....</i>	129
<i>Tableau 38 : Distribution en % des classes d'épaisseurs de liège par catégories de bois.....</i>	133
<i>Tableau 39 : Statistiques descriptives des accroissements moyens des échantillons de liège.....</i>	134
<i>Tableau 40 : Analyse de la variance de la sensibilité moyenne du liège à 11 accroissements en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.....</i>	140
<i>Tableau 41: Analyse de la variance de l'épaisseur du liège à partir de 6 accroissements complets en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.....</i>	141
<i>Tableau 42 : Analyse de la variance de l'épaisseur du liège à partir de 11 accroissements complets en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.....</i>	142
<i>Tableau 43 : Statistiques descriptives des variables d'estimation de la surface d'écorçage potentielle du liège mâle sur pied.....</i>	143
<i>Tableau 44: Statistiques descriptives du rendement moyen en liège et de la productivité des peuplements à chêne liège.....</i>	145
<i>Tableau 51 : Comparaison de quantité de liège produite par arbre pour le chêne liège de Theniet-El-Had.....</i>	149
<i>Tableau 52 : Analyse de la variance du rendement et de la productivité à partir de 11 accroissements complets en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%.....</i>	151
<i>Tableau 53 : Régression linéaire logistique pour prédire l'épaisseur du liège en fin de cycle de production. Modèles basés sur 125 plaques échantillonnées.....</i>	157
<i>Tableau 54 : Modèle linéaire multiple pour prédire le rendement de l'arbre. Modèle basé sur 634 arbres échantillonnés.....</i>	160
<i>Tableau 55 : Modèle linéaire multiple pour prédire la production (kg ha⁻¹) du peuplement des placettes (n=53).....</i>	163

<i>Tableau 56 : Modèles linéaires à effets mixtes pour prédire l'épaisseur du liège bouchonnable en fin de cycle de production. Modèles basés sur 125 plaques échantillonnées.....</i>	164
<i>Tableau 57 : Modèles linéaires à effets mixtes pour prédire la croissance de l'arbre. Modèles basés sur 634 arbres échantillonnés.....</i>	165
<i>Tableau 58 : Caractéristiques physiques, forestières des groupes de placettes selon leurs potentialités productives du liège</i>	166

Introduction générale

Introduction générale

Le chêne liège (*Quercus suber*) est une essence propre à la région méditerranéenne ; il se distingue par le développement remarquable de la couche subéreuse du tronc et des branches, adaptée à la sécheresse et résistante aux incendies (Natividade, 1956 ; Houston Durrant et *al.*, 2016, Eriksson et *al.*, 2017). En fait, le chêne liège présente une capacité à réagir après le passage du feu très remarquable, lui conférant une importance primordiale dans le maintien de la stabilité écologique par la fixation des sols, régulation des écoulements d'eau et la limitation de l'érosion des versants (IML, 2006). Mais la grande valeur de ces forêts réside dans la production du liège, produit de base d'une économie forestière propre à la région. Ce liège est le sixième produit forestier non ligneux exporté au monde ; il génère environ 2 milliards de dollars de chiffre d'affaire annuel dont 70% provient de la fabrication de bouchons naturels (FAO, 2013). Il est donc d'une importance économique et écologique incontournable (Natividade, 1956 ; Houston Durrant et *al.*, 2016, Eriksson et *al.*, 2017).

En Afrique du Nord, l'analyse de l'évolution de la distribution naturelle du chêne liège dans la méditerranée révèle une très forte régression. En fait, l'essence est soumise à des conditions environnementales extrêmes, et est par conséquent plus fragilisée. Le vieillissement des peuplements, le manque de régénération, les ravageurs et l'aridité sont les principaux facteurs régissant cette réduction (Eriksson et *al.*, 2017).

En Algérie, les subéraies présentent un intérêt économique, social et environnemental. Cependant sa superficie est en régression continue. L'inventaire forestier national réalisé en 2008 estime une superficie de 357 000 ha dont 242 098 ha sont de vieilles futaies. Cette régression a particulièrement touché Jijel, El Taref et Skikda, soit les trois principales régions productrices de liège (Piazzetta et Bouhraoua, 2014).

La régression de la superficie subéricole est souvent due à un vieillissement des peuplements, au déficience de la régénération naturelle, l'enrésinement par le Pin d'Alep et le Pin maritime, absence de travaux sylvicoles, l'abandon des forêts, le manque de plans de gestion subéricole, les mauvaises pratiques d'exploitation du liège, les attaques parasitaires notamment par le platypus et la récurrence des feux de forêt (Piazzetta et Bouhraoua, 2014). Par conséquent, la production moyenne de liège a chuté de 62% en passant de 31300 tonnes/an dans les années quarante (Natividade, 1956) à 12 000 tonnes/an depuis la relance de la filière liège en 1998 (Dehane et *al.*, 2013a).

Face à cette situation alarmante, un plan national de reboisement a été lancé en 1999 et adopté par le gouvernement, visant la reconstitution du couvert forestier national d'Algérie. Ainsi sur une durée de 20 ans (depuis 2000 à 2020), cette opération a visé la plantation d'une superficie de 1 245 000 ha, avec un rythme annuel de réalisation de l'ordre de 100 000 ha. Le chêne liège est en second rang des essences de reboisement après le Pin d'Alep, soit 160 000 ha (24%). Cependant, le taux de réussite des reboisements reste toujours insatisfaisant suite aux techniques de reboisement inadéquates, aux contraintes écologiques et au manque de suivi et de gestion (Aouadi *et al.*, 2010 ; Piazzetta et Bouhraoua, 2014).

Le liège ou enveloppe subéreuse, est un parenchyme composé de cellules mortes rangées en radiales remarquablement régulières. La quantité d'air qu'il renferme (89,7%), ainsi que l'imperméabilité des parois de ses cellules lui confèrent des propriétés mécaniques et physiques incomparables. La compressibilité et l'élasticité, de ce tissu mort, ont permis son usage en industrie du liège. Il est efficace dans le domaine d'isolation, du fait qu'il est léger, n'absorbe pas l'humidité, inodore, hygiénique et retarde la combustion (Saccardy, 1937 ; Natividade, 1956 ; Kellati *et al.*, 2007 ; Guibourt, 2014 ; Houston Durant *et al.*, 2016).

Pour assurer leur pérennité et la régularité des récoltes sans affecter leur vitalité, les peuplements à chêne-liège sont soumis à deux types de traitements complémentaires : la sylviculture et la subériculture (Lamey, 1893 ; Natividade, 1956 ; Eriksson *et al.*, 2017). Le premier assure la reconstitution de la subéraie par des apports de soins culturaux et des aménagements. Le second vise par contre à produire en quantité et de manière soutenable un liège de bonne qualité. Cette dernière est évaluée sur la base de trois paramètres essentiels : l'épaisseur, la porosité et les défauts du liège (Ferreira *et al.*, 2000 ; Pereira, 2007). La combinaison de ces paramètres a dégagé commercialement sept classes de qualité de liège allant de la bonne qualité, destinée à la fabrication de bouchons naturels d'une seule pièce ; au liège de rebut orienté vers l'industrie de trituration (Pereira *et al.*, 1996 ; Sánchez-González *et al.*, 2005).

La subéraie montagnaise de Theniet-El-Had, objet d'étude, constitue l'une des plus belles curiosités naturelles d'Algérie. Elle est l'unique subéraie nationale pouvant atteindre 1600m d'altitude (Boudy, 1952 ; 1955 ; P.N.T.E.H, 2006).

Les forêts de montagnes sont des lieux de contraintes et de contrastes. C'est un lieu où s'opposent, à diverses échelles, des massifs, étages de végétation, expositions et stations. A cela s'ajoute, l'impact de l'activité humaine, très variables suivant l'accessibilité des forêts et les aléas de l'histoire (Leclerc, 2001).

Les peuplements à chêne liège, géographiquement isolés, soumis à des conditions environnementales différentes de l'optimum, sont souvent intéressants. En fait, ils sont génétiquement particuliers, ayant développé des formes plus adaptatives aux contraintes du milieu. Cependant, ils sont généralement fragiles et de taille plus réduite. Par conséquent, leurs réponses vis-à-vis aux perturbations sont moins significatives et présentent un grand risque de disparition. Un programme de conservation génétique est nécessaire afin de promouvoir une sélection naturelle des individus à l'intérieur de ces peuplements. Cette sélection dépend de la durée de survie, la vitesse de croissance, la fécondité et la tolérance vis-à-vis aux ravageurs et maladies (Gil *et al.*, 1997 ; Almeida *et al.*, 2011 ; Eriksson *et al.*, 2017).

La connaissance des capacités de production d'une subéraie est souvent d'une très grande utilité, principalement lors d'expertises. Elle dépend de plusieurs paramètres tels que la surface productrice de chaque arbre suivant sa grosseur et sa hauteur, le coefficient d'écorçage appliqué, le poids du liège par unité de surface, l'épaisseur atteinte, le nombre de branches déliégées et l'intensité d'écorçage. La combinaison de ces paramètres rend l'estimation difficile, d'autant plus, qu'il s'agit de subéraies naturelles irrégulières (Natividade, 1956). Il est primordial de simplifier et réduire le nombre de variables inclus dans l'estimation de la production subéreuse.

Dans le cas du chêne liège, plusieurs modèles ont été développés en vue de caractériser sa croissance et son rendement par le biais de variables liées à la taille des arbres, aux conditions edapho-climatiques et aux sites index (Vasquez et Pereira, 2005 ; Sánchez-González *et al.*, 2005 ; Ribeiro *et al.*, 2006 ; Sánchez-González *et al.*, 2006 ; Tomé *et al.*, 2006 ; Paulo *et al.*, 2011 ; Ribeiro et Surový, 2011 ; Paulo *et al.*, 2014 ; Paulo *et al.*, 2015 ; Paulo et Tomé, 2017).

La forêt de chêne liège, de Theniet-El-Had, était constituée de beaux peuplements à croissance lente offrant un liège d'excellente qualité (Boudy, 1955). Mais elle a été abandonnée depuis plusieurs décennies et les informations relatives à sa gestion forestière sont rares et fragmentaires.

Ainsi, il est intéressant de connaître les possibilités de production subéricoles afférentes aux conditions de la subéraie de Theniet-El-Had. Pour cela, il est nécessaire de connaître son autécologie. Cette dernière se définit, selon Michelot *et al.* (2013), comme étant la réponse biologique de l'espèce face aux facteurs abiotiques (climat, sol...etc.). Par conséquent, on vise à travers cette étude, la description de la structure des peuplements caractérisés par des grandeurs dendrométriques, en rapport avec des descripteurs écologiques (altitude,

exposition...). A cela s'ajoute, la détermination de la rotation de la production du liège et l'identification des facteurs stationnels influençant ses capacités productives.

De prime abord, une description de l'essence, ainsi qu'une identification des facteurs liés à la production du liège sur pied, sur la base d'une étude bibliographique appropriée, sera soulevée à travers le premier chapitre.

La description du cadre géographique, édaphique et climatique de la zone d'étude, fera l'objet du deuxième chapitre. De plus, la démarche méthodologique adoptée est soigneusement détaillée dans le troisième chapitre.

Le quatrième chapitre comportera une présentation détaillée des résultats tirés à partir des placettes expérimentales installées à travers la zone d'étude. Enfin, le dernier chapitre sera consacré à une discussion générale des résultats obtenus.

Chapitre I

Généralités sur le chêne liège et la production du liège

1. Généralités sur le chêne liège et la production du liège

1.1. Description générale

Le chêne liège (*Quercus suber* L.) est un feuillu héliophile et thermophile d'origine méditerranéenne. Il est polymorphe, d'une grandeur moyenne de 10 à 12 m de hauteur pouvant atteindre exceptionnellement 20 à 22 m. Son tronc est court et trapu puisqu'il se ramifie à une faible hauteur (environ 4 m). Son houppier est globuleux et étalé chez les sujets isolés, et d'une forme élancée chez ceux en peuplements serrés (Boudy, 1952 ; Natividade, 1956 ; Aronson et *al.*, 2012 ; CRPFC, 2015, Houston Durrant et *al.*, 2016).

Cette essence forme des peuplements purs, mais se mélange parfaitement encore selon Aronson et *al.* (2012) à d'autres essences comme les chênes caducifoliées et sempervirents, des pins et d'autres conifères.

La racine est pivotante en sols profonds. Dès son plus jeune âge, elle montre une vigueur naturelle à s'enfoncer verticalement ce qui permet une bonne fixation. Plus tard, elle se complète par de robustes ramifications latérales, caractéristique des plantes xérophiiles. Dans les terrains pierreux, l'arbre s'installe par pénétration de ses racines dans les fissures, en se moulant dans l'espace dont elle dispose. Dans les premières années de croissance, le chêne liège se développe par la racine, alors que la tige aérienne n'atteint que 0.30 m, donnant lieu à de jeunes brins rabougris. En revanche, le développement est meilleur à partir de 15 à 20 ans, suite à l'utilisation des réserves racinaires (Boudy, 1952 ; Natividade, 1956 ; Aronson et *al.*, 2012 ; CRPFC, 2015 ; Houston Durrant et *al.*, 2016).

Les feuilles du chêne liège sont petites, coriaces, avec de petits dents, tourmenteuses et blanchâtres en dessous (Figure 01). Elles sont persistantes, vivant plus d'une année et tombent graduellement au cours de la deuxième année. Il est à signaler que l'arbre peut perdre une grande partie de son feuillage suite à une récolte de liège exagérée, aux symptômes de déclin tels que le dessèchement des branches, la mort de la mère et la réduction des accroissements ou à la sensibilité aux attaques de divers fléaux (Boudy, 1952 ; Natividade, 1956 ; Aronson et *al.*, 2012 ; Houston Durrant et *al.*, 2016).

Le chêne liège est un arbre monoïque, à fructification précoce dès 15 ans mais n'est abondante qu'à partir de 30 à 35 ans ; elle est variable d'une année à l'autre. Elle se poursuit, avec moins d'intensité, au-delà de 100 ans lorsque les conditions stationnelles sont favorables. La floraison peut avoir lieu en mi-Avril jusqu'au Mai et la fécondation en fin Août. Parfois, une deuxième floraison peut avoir lieu lorsque des pluies précoces aient lieu en fin d'été. Le

fruit est un gland amer qui mûrit vers la fin de Septembre et dans le courant d'Octobre. La durée du cycle de reproduction peut être affectée par les variations du climat. En fait, suite à un froid excessif, le débourrement, la floraison et la pollinisation ne peuvent avoir lieu qu'en juin à juillet. Par conséquent, la formation des glands est reportée à l'automne de l'année suivante d'où l'installation d'un cycle de reproduction biannuel (Boudy, 1952 ; Natividade, 1956 ; Aronson et *al.*, 2012 ; Houston Durrant et *al.*, 2016 ; Eriksson et *al.*, 2017).

L'écorce naturelle ou liège mâle est crevassée, d'une épaisseur moyenne de 3cm, pouvant atteindre 5 à 6 cm à 100 ans et même 20 à 22 cm chez les arbres très âgés (Boudy, 1952 ; IML, 2005b ; Aronson et *al.*, 2012).

La longévité du chêne liège est fixée généralement à 150 ans ; mais elle est variable suite aux conditions du milieu physique. En fait, elle est sensiblement supérieure en étage de végétation humide et sur sols profonds, qu'en étage semi-aride, sur des sols superficiels et secs (100 à 120 ans seulement). Elle est également inférieure chez les arbres qui ont donné de nombreuses récoltes de liège. En fait, la production de liège décroît en qualité et en épaisseur à partir de 150 à 200 ans, âge considéré comme limite pour la culture économique du chêne liège. En revanche, la vitalité est très avancée (200 à 250 ans) chez ceux non exploités (Boudy, 1952, Natividade, 1956 ; Houston Durrant et *al.*, 2016).

Le bois du chêne liège est lourd et très compact et difficile à travailler. C'est un bon combustible et un excellent charbon (Boudy, 1952 ; Natividade, 1956).

Enfin, le chêne liège présente de grandes variations individuelles de forme et de caractères botaniques. Il est donc polymorphe et constitue des races distinctes selon les régions : chêne liège numidien d'Algérie et de Tunisie, Atlantique Marocain, du Portugal., d'Espagne, du Sud-Ouest de la France (Boudy, 1952, Natividade, 1956 ; Piazzetta, 2005 ; Aronson et *al.*, 2012 ; Eriksson et *al.*, 2017).



Figure 01 : Arbre de chêne liège et son feuillage relevant de la subéraie de Theniet-El-Had. (Photos Naggar, 2013)

1.1.1. Ecologie du chêne liège

Le chêne liège prospère généralement dans les régions à climat humide et sub-humide chaud. Il convient parfaitement à l'étage de végétation de type supra et thermo-méditerranéen. Il résiste à la sécheresse estivale, mais nécessite en moyennes des précipitations annuelles de l'ordre 600 mm et une température annuelle moyenne de 15 C°. Par contre, il est sensible à des baisses de températures de moins de -10 C° (Quezel, 2000 ; Blanco et *al.*, 1997 in Aronson et *al.*, 2012).

La plus grande partie des suberaies Européennes sont situées à des altitudes moyennes inférieures à 800 m (Pereira, 2007 ; Aronson et *al.*, 2012 ; Houston Durrant et *al.*, 2016 ; Eriksson et *al.*, 2017). Cependant, en Afrique du Nord, le chêne liège peut se développer à des altitudes plus élevées d l'ordre de 1300 m en moyenne. Dans les conditions écologiques Algériennes, le chêne liège se rencontre entre 1100 à 1550 m. Cependant, au Maroc, il peut atteindre 2200 m. C'est en fait, une essence de plaine et de montagne nécessitant de la chaleur, de l'humidité et de la lumière mais craignant le gel tardif (Boudy, 1952 ; 1955 ; Natividade, 1956 ; Gil, 1995 ; Castro et *al.*, 2003 ; Aronson et *al.*, 2012)

Le chêne liège s'installe sur des sols acides d'origines granitique, schisteuse ou sablonneuse, rarement sur sols dérivés du calcaire ou neutrophiles de substrat dolomitique (IML, 2005a ; Aronson et *al.*, 2012). L'humidité du sol à une profondeur de 90 cm, son pH, sa teneur en sodium et en potassium, sont des variables ayant un effet significatif sur la croissance du chêne liège (Vasquez et *al.*, 2008). Par exemple, le potassium a un effet osmo-

régulateur qui améliore la résistance des individus à la sécheresse (Sardans et Penñelas, 2007 ; Moinuddin et Imas, 2007).

Le chêne liège est une espèce bien adaptée à la sécheresse. Il réagit par la fermeture des stomates au niveau de ses feuilles (Houston Durrant et *al.*, 2016). L'étude de Chouahda (2016), montre que la quantité d'eau contenue dans les feuilles ne présente aucune variation significative en rapport avec la température ambiante. De plus, son écorce jouant le rôle d'isolant thermique, protège parfaitement l'arbre contre les fluctuations climatiques.

1.1.2. Répartition du chêne liège et son évolution

1.1.2.1. Dans le monde

Le chêne liège est une espèce typiquement méditerranéenne suite à son distribution et à ses qualités écologiques. Il occupe une superficie entre 1.5 million d'hectares (Salazar Sampaio, 1988 ; Aronson et *al.*, 2012 ; Houston Durrant et *al.*, 2016) et 2.2 millions d'hectares (APCOR, 2018).

Les variations climatiques pendant les dernières périodes géologiques sont à l'origine du rétrécissement de l'aire de végétation du chêne liège qui était de l'ordre de 7 million d'hectares (Eriksson et *al.*, 2017). La présence de bosquets reliques, très éloignées des limites actuelles, confirme une expansion ancienne plus vaste de l'espèce, depuis le tertiaire. Actuellement, la subéraie se limite à la région méditerranéenne occidentale, représentée essentiellement par la péninsule ibérique. Dans la partie orientale, le chêne liège est présent en Italie. Par contre vers le Nord, il prospère du Var au Landes (France). Au sud, il se rencontre en Tunisie, Algérie et au Maroc (Boudy, 1952, Natividade, 1956 ; Piazzetta, 2005 ; Aronson et *al.*, 2012 ; Eriksson et *al.*, 2017).

La distribution du chêne liège est très morcelée et discontinue (Figure 02). La plus importante superficie productive se trouve dans la péninsule Ibérique, suivi par l'Algérie et le Maroc (Aronson et *al.*, 2012 ; Puyo, 2010 et 2013 ; Houston Durrant et *al.*, 2016 ; Eriksson et *al.*, 2017).



Figure 02 : Répartition du chêne liège dans le monde (Carrero, 2015)

Les limites actuelles sont indicatrices d'une dégradation intense de la superficie surtout en Afrique du Nord. Cela est dû au : (i) surpâturage limitant la régénération naturelle, (ii) défrichement à la faveur de l'agriculture, (iii) remplacement par les pins et eucalyptus, (iv) dépérissement généré par de mauvaises pratiques subéricoles et extraction du tannin, (v) récurrence des incendies (Bouhraoua, 2003). Contrairement, la superficie des subéraies Portugaises et Espagnoles a connu une progression remarquable le long des 200 ans passés (Figure 03). Néanmoins, la superficie au Portugal est restée pratiquement inchangée au cours des cinq dernières décennies (0.06% par an) contre 0.86% par an en Espagne (AdC, 2012). En plus des plantations, les subéraies présentent la particularité d'être soumises à un système d'agroforesterie connu sous le nom de *montado* au Portugal et *dehesa* en Espagne. Ce système s'applique aux peuplements ayant une faible densité (50 à 300 pieds/ha), parcourus par des plantations fourragères, source d'aliments pour le bétail (Aronson et al., 2012 ; Puyo, 2013 ; Houston Durrant et al., 2016 ; Eriksson et al., 2017).

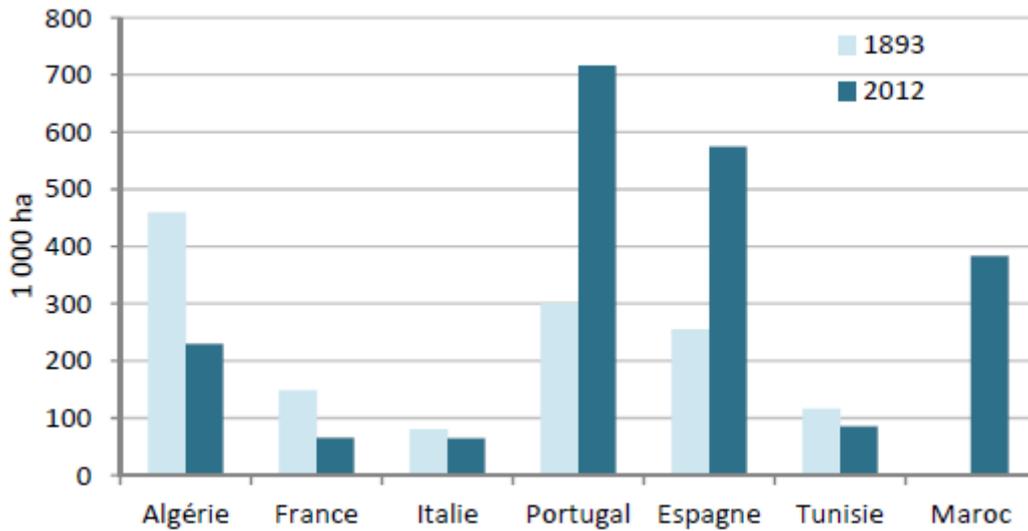


Figure 03 : Evolution de la superficie du chêne liège dans la région méditerranéenne entre 1893 et 2012. En 1893 selon Lamey (1893) excepté le Maroc; En 2012 selon APCOR (2012) (Source : FAO, 2013)

De point de vue superficie, le Portugal présente à lui seul une superficie de plus de 700 000 ha, soit un taux de 34%. En deuxième position, se trouve l'Espagne avec une superficie de plus de 500 000 ha, soit 27% du total mondial. Le Maroc vient en troisième position, avec un taux de 18% ce qui présente une aire de 383 000 ha. En ce qui concerne l'Algérie, elle ne présente que 11% du total mondial et sa superficie est estimée à 230 000 ha (Zine, 1992 ; DGF, 2007 ; APCOR, 2018). La figure 04 illustre cette distribution des superficies des subéraies dans le monde.

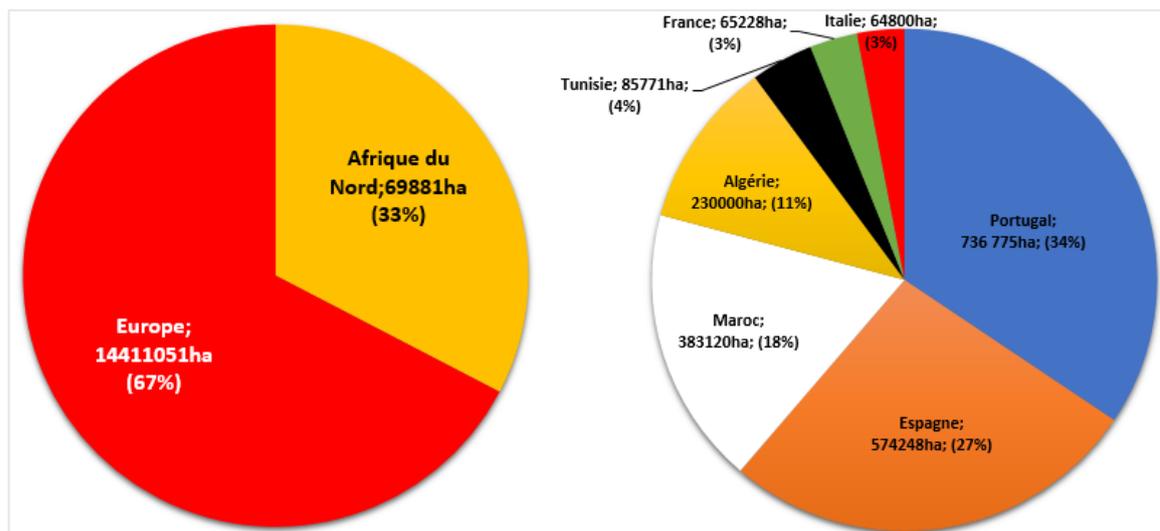


Figure 04 : Surfaces des forêts de chêne liège et leur superficie dans le pourtour méditerranéen (APCOR, 2018)

La dernière décennie a connu plusieurs tentatives d'introduction de l'espèce. Elle est dotée d'une bonne acclimatation en Bulgarie, New-Zealand, Sud d'Australie, Chili et Californie. Cependant son introduction reste toujours ornementale, non sujette à la production de liège (Aronson et *al.*, 2012 ; Houston Durrant et *al.*, 2016).

1.1.2.2. En Algérie

En Algérie, la subéraie occupe une étroite bande le long de la mer, d'une largeur de 60 à 70 km. « ...*Quelques bosquets reliques au Sud, comme celui de Frennda (Tiaret), à 120 km, et celui de Theniet-El-Had à 83 km de la mer, confirment une expansion méridionale plus forte que celle d'aujourd'hui en des époques reculées* » (Natividade, 1956).

La majeure partie des subéraies Algériennes est située à l'Est du pays, désignée comme zones subéricoles par excellence ; elle démarre depuis Tizi-Ouzou jusqu'aux frontières Tunisiennes (Figure 05). Dans cette région, le chêne liège se rencontre essentiellement à Tizi-Ouzou, Bejaia, Jijel, Skikda, Annaba, Tarf et Guelma (Puyo, 2013 ; INRF, 2012). A l'Ouest, le chêne liège forme des peuplements isolés, avec des surfaces réduites ; ils sont situés essentiellement à : Tlemcen (massif forestier de Hafir et Zarriefet), Oran (Forêt de M'Sila), Mascara (forêt de Nesmoth), Tiaret (forêt de Tagdempt), Relizane (forêt de Djebel Saadia à Ramka), Chlef (forêt de Bissa) et à Tissemsilt au sein du Parc National de Theniet-El-Had (EUFORGEN, 2009).

Les subéraies Algériennes sont aussi bien de plaine que de montagne. Elles se présentent à l'état pur ou en mélange avec le chêne vert, chêne zeen, pin maritime, pin d'Alep et quelques oliviers (Puyo, 2013). Le sous étage est souvent difficilement pénétrable et inflammable. Il est composé en littoral et en basse montagne par la bruyère arborescente, arbousier, lentisque, philaria, myrte, etc. Par contre en montagne, le sous-bois est composé surtout de bruyère, calycotome, l'aubépine et des cistes (Saccardy, 1937).

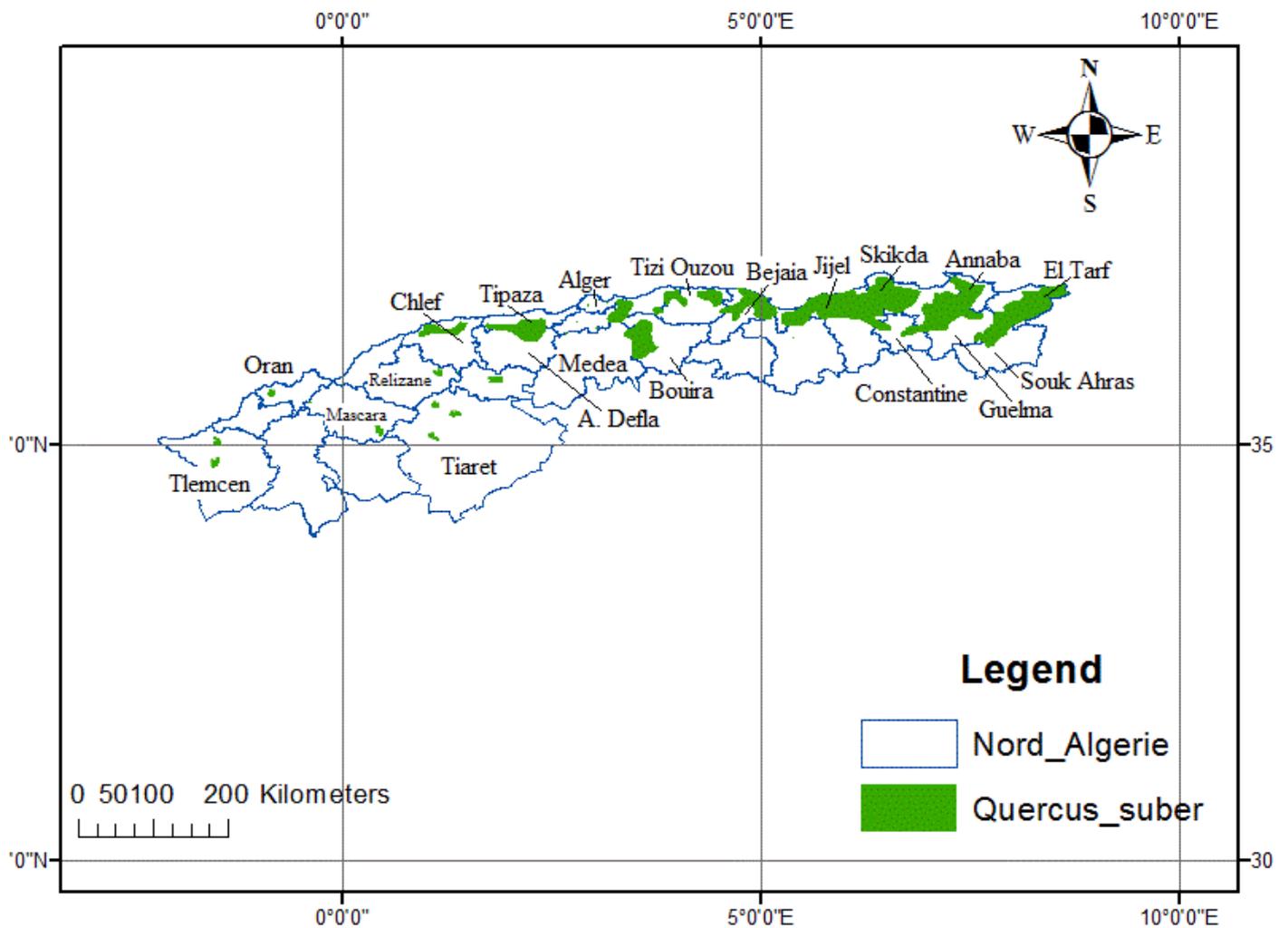


Figure 05 : Répartition des subéraies en Algérie

(Carte établie à partir des données EUFORGEN, 2009)

1.1.3. Formation du liège

L'écorce, chez les jeunes sujets de chêne liège, n'est qu'un épiderme unicellulaire pubescent. La différenciation du phellogène, situé immédiatement sous l'épiderme, donne naissance à plusieurs couches subéreuses. L'année suivante, de nouvelles assises s'installent rendant le liège visible à l'œil nu. Ainsi, chaque année, tendu par les couches sous-jacentes et par accroissement du bois, le liège dit mâle ou naturel se crevasse. Son épaisseur devient considérable et peut atteindre 20 cm et plus chez les sujets âgés (Saccardy, 1937 ; Boudy, 1952 ; Aronson et *al.*, 2012).

Le liège mâle est dur, parcouru par des sillons profonds, et n'est guère utilisé que pour la trituration et la fabrication des granulés et des agglomérés (Saccardy, 1938 ; Mauriès et Seigue, 1980 ; IML, 2005b).

La mise en valeur, dite démasclage, consiste à l'extraction du liège mâle qui sera détaché suivant la surface du phellogène et sans entamer le liber. Cela permet la formation d'un liège dit de reproduction. La formation de ce dernier est plus rapide et sa qualité est supérieure, doué de propriétés améliorées. Il est plus léger, souple, élastique, imperméable, mais sa structure est comparable au liège mâle (Saccardy, 1937 et 1938 ; Aronson et *al.*, 2012 ; Eriksson et *al.*, 2017).

La levée de liège de reproduction se fait périodiquement tous les 9 à 12 ans, selon les conditions de croissance. Ainsi, un arbre peut fournir environ 8 récoltes commerciales. Il est à signaler que, la qualité du liège diffère d'un arbre à l'autre et d'une récolte à l'autre au sein du même sujet. Les facteurs influençant la qualité du liège sont selon (Saccardy, 1938 ; Mauriès et Seigue, 1980 ; Aronson et *al.*, 2012 ; Houston Durrant et *al.*, 2016)

- * Qualité de la station : caractérisée par son sol et son climat. En fait, la qualité est meilleure sur les crêtes et médiocre sur les fonds des vallées (soufflés et terreux),
- * Nombre de récoltes sur le même arbre : la qualité se détériore à partir de la septième levée,
- * Hérité : arbres voisins ayant subi le même traitement et le même nombre de récoltes offrent du liège de qualité différente. Cela n'est attribué qu'aux aptitudes génétiques : près de 50 variétés dont près de 90% interféconds.

Qu'il s'agit d'un premier démasclage ou d'une levée de liège quelconque, l'opération n'est facile que lorsque l'arbre est en pleine végétation (période estivale). En fait, elle provoque un déséquilibre du processus physiologique de l'arbre (nutriments, respiration, accroissement...etc.), et est à l'origine d'une fermeture presque totale des stomates pour une période plus ou moins longue (Saccardy, 1938 ; Natividade, 1956 ; Aronson et *al.*, 2012).

La récolte est une blessure mettant le liber à nu sur une grande surface. Elle est suivie d'une cicatrisation en deux phases (Saccardy, 1938 ; Montero et Lopez, 2008 ; Paulo et Tomé, 2010 ; Oliveira et Costa, 2012) :

- * *La première passive* : marquée par une forte évaporation et exsudation de sève dans les instants qui suivent la levée. Le liber se dessèche, durcit et meurt sur une certaine épaisseur. A cela s'ajoute, une migration de réserves et des tanins, des couches externes vers les assises plus profondes. Ainsi, une première couche protectrice et provisoire est installée (Figure 06).

- * *La deuxième active* : le phellogène se différencie dans le liber ; il reste vivant en offrant un nouveau liège (Figure 06). Ce dernier assure la protection définitive des tissus sous-jacents, et est visible dès la troisième ou quatrième semaine après la levée.

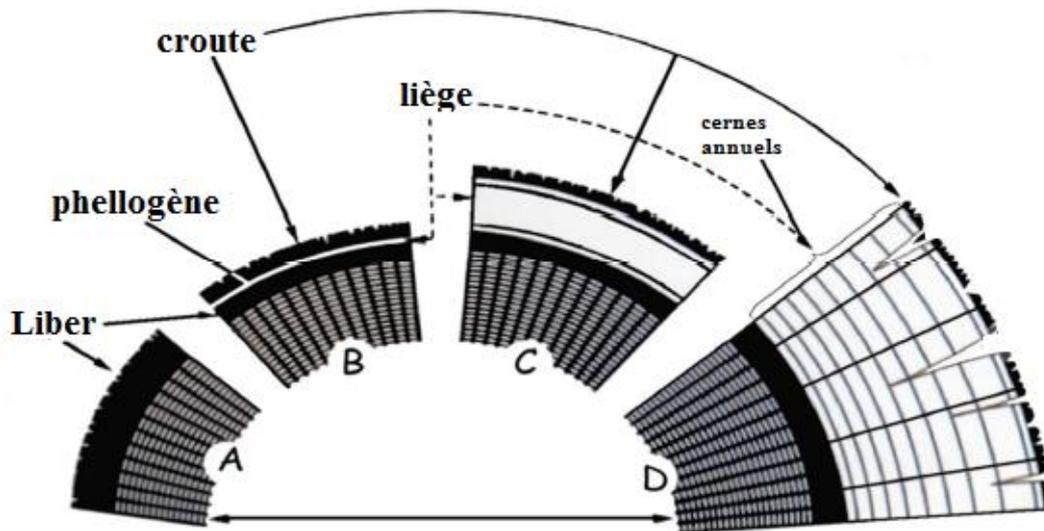


Figure 06 : Evolution d'une section du tronc de chêne liège le long d'un cycle de production de liège

(A : Liber resté dénudé juste après écorçage, B : Après 30 jours, différenciation du phellogène et formation de la croûte, C : A la fin du premier automne, D : 9 ans plus tard). Source (Borrero, 2007 modifié par Carrero, 2015)

Le liber prend une gamme de couleurs sous l'effet de l'action de l'air, du soleil, des eaux de pluies et des intempéries : du rosé au rouge ocreux, puis rouge brun et finalement au brun noirâtre (Saccardy, 1938).

Un nouvel accroissement de liège se forme d'une année à l'autre (Figure 6). Il est important durant les trois premières années, de l'ordre de 4 à 6 mm, et est décroissant progressivement les années qui suivent. Malgré la grande variabilité entre tiges, cette loi de décroissance est similaire. En fait, durant les six premières années, le liège atteint $\frac{3}{4}$ d'épaisseur qu'il aura à 9 ans et $\frac{2}{3}$ de celle qu'il aura à 12 ans (Saccardy, 1937). Au-delà de cette dernière, l'accroissement devient réduit de l'ordre de 1 à 2 mm ; accroissement analogue à celui produit par un liège mâle. Généralement, il est admis que, la croissance radiale varie le long de l'année. Elle est nulle à partir du mois de Novembre à Février, débute au printemps dès le mois de Mars et atteint le maximum en juin-juillet (Saccardy, 1938 ; Ferreira et al.,

2000 ; Costa et *al.*, 2003 ; Montero et Lopez, 2008 ; Calama et *al.*, 2010 ; Paulo et Tomé, 2010).

L'analyse de la croissance du liège et du bois, le long d'un cycle de production a tendance à la diminution. Le liège, qui correspond à la fraction majeure de l'accroissement de l'arbre (en moyenne 74 %), a montré une variation interannuelle de croissance moindre que le bois (Costa et *al.*, 2002).

La mise en valeur du chêne liège a pour effet, dans les années qui suivent, une diminution de l'épaisseur des anneaux ligneux. Ainsi, un ralentissement de croissance des arbres est observé. Donc, il est déconseillé de mettre en valeur un sujet dont la circonférence est inférieure à 0.70 m sur écorce. De plus, lors d'un démasclage précédent, si un arbre a été haussé d'une manière excessive, il est impératif de baisser le niveau de la couronne. Cela entraîne une réduction de la quantité de liège extraite mais assure une pérennité des sujets. L'opérateur doit éviter absolument les blessures, morcellement des planches. De plus, il faut couper les broussailles gênant. En fait, les futures productions dépendent étroitement des soins apportés aux opérations de récolte (Saccardy, 1937 ; Aronson et *al.*, 2012 ; Eriksson et *al.*, 2017).

La récolte doit être faite en pleine prolifération du phellogène (pleine sève), donc lorsque le chêne liège a achevé le développement de ses nouvelles pousses et son système foliaire. C'est en fait une question de température et d'altitude (Saccardy, 1937 ; Pereira, 2007 ; Aronson et *al.*, 2012).

De point de vue économique, le liège est transformé en produits variés. Celui dit de reproduction est destiné surtout à la fabrication de bouchons naturels et discs. Les sous-produits, non bouchonnables, issus de différentes étapes de fabrication, sont transformés en bouchons agglomérés, orientés à la décoration, production de panneau mural et parquet de liège, ou intégrés dans la composition de produits variés (cahoutchou, époxyde). La figure 07 illustre quelques usages du liège naturel (Thavaud, 1982 ; Faussillon, 1984 ; Gassin, 1988 ; Kenstavicius et *al.*, 2005 ; Aronson et *al.*, 2012 ; Houston Durrant et *al.*, 2016 ; Eriksson et *al.*, 2017).

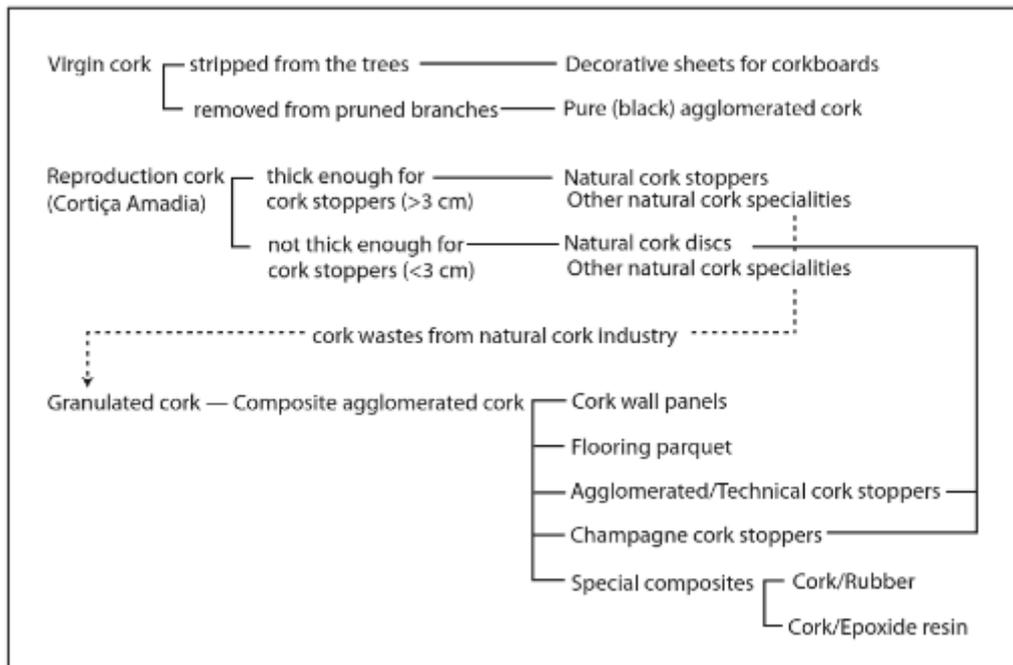


Figure 07 : Produits issus de liège naturel et de reproduction

(Aronson et *al.*, 2012)

1.1.4. Causes de destruction et d'altération

La régression des subéraies méditerranéennes est souvent attribuée à une diversité de facteurs naturels et anthropiques. Elle est liée aux cycles répétés de sécheresse, les attaques d'insectes phyllophages, dépérissement ; les incendies, la pression de l'homme, le défrichage et le surpâturage (Benzyane, 1997 ; Amandier et *al.*, 2003 ; Sebei et *al.*, 2004 ; Poulet, 2006 ; Silva et Catry, 2006 ; Adjami et *al.*, 2013 ; Amandier, 2013 ; Esteves et *al.*, 2016 ; Eriksson et *al.*, 2017 ; Bouhraoua et *al.*, 2019).

A cela s'ajoute le changement climatique. En fait, une augmentation des températures et diminution des précipitations annuelles durant les dernières décennies, donc une sécheresse accrue, sont à l'origine aux problèmes de régénérations des subéraies dans la région méditerranéenne. Si cette tendance d'aridification s'accroît, ce sont les subéraies d'Afrique du Nord qui sont les plus exposées au déclin. Les gestionnaires sont confrontés à la nécessité d'agir malgré les incertitudes de ce changement. Plusieurs stratégies adaptatives sont proposées, telles que, le choix des espèces génétiquement résistantes, l'augmentation de la variabilité intra-génétique et la richesse spécifique (Almeida et *al.*, 2011 ; Michelot et *al.*, 2013 ; Letreuch-Belarouci et *al.*, 2019 ; Matias et *al.*, 2019)

En Algérie, 34% des feux de forêts, durant la période 1985 à 2010, ont touché les subéraies, 46% en 2011 et 18% en 2012. Cela est évident dans la mesure où elles se

caractérisent par un sous-bois dense et inflammable facilitant la progression d'incendies. Cependant, un nouvel équilibre s'installe progressivement dans le cadre de cicatrisation de l'écosystème et la reconstitution s'effectue à la fois floristiquement et structurellement. Quoique le chêne liège soit une essence pyrophyte qui s'adapte au passage du feu, il subit néanmoins, quelque fois des brûlures trop importantes causant un dépérissement ou compromettant sa production en liège (Bekdouche, 2010 ; Abbas, 2013 ; Meddour-Sahar et Derridj, 2012 ; Aronson et *al.*, 2012 ; Amandier, 2013 ; Bouhraoua et *al.*, 2014 ; Eriksson et *al.*, 2017).

Par ailleurs, le passage du feu est un danger qui menace les subéraies donnant lieu à un aspect désolant. Les feuilles et les rameaux disparaissent, les branches calcinées et la surface du liège est transformée en charbon. Cependant, quelques mois après, de jeunes pousses apparaissent, se développant à partir de bourgeons préventifs et de rameaux courts dormants protégés par le liège (Burrows and Chisnall, 2016). L'année suivante, les arbres reconstituent leurs cimes (Pausas, 1997). D'autres, dont la partie aérienne est entièrement altérée, réagissent par leurs racines et donneront des rejets et des drageons (Lamey, 1893 ; Saccardy, 1937). Cependant, la récurrence des feux ralentit la croissance en hauteur et en grosseur des arbres. Ceux les plus petits, encore fragiles, sont les plus vulnérables, ainsi que ceux les plus vieux, dont la capacité de rejet de souches et reconstitution de houppiers est faible. Il est à signaler que les arbres non démasclés sont plus résistants aux feux (Saccardy, 1937 ; Faussillon, 1984 ; Curt et *al.*, 2009 ; Chouahda, 2016 ; Houston Durrant et *al.*, 2016 ; Eriksson et *al.*, 2017).

Il est remarquable que le chêne liège favorise la régénération par houppier lorsque les feux sont moins nombreux (moins de deux incendies en 50 ans), et les rejets sont moins nombreux. Inversement, lorsque les feux sont plus récurrents, l'arbre semble subir des dégâts plus importants empêchant le développement de son houppier. Par conséquent, il développe des rejets à partir de la souche (Schaffhauser et *al.* 2012 ; Prodon, 1988 *in* Chouahda, 2016).

D'une manière générale, la reprise est presque impossible lorsque les arbres portent un liège trop mince, dont le rôle de protection n'est pas suffisant. Ainsi, la résistance au feu dépend étroitement de l'épaisseur de liège. Il en est de même pour ceux encore jeunes ayant un faible diamètre. (Saccardy, 1937 ; Moreira et *al.*, 2007 ; Aronson et *al.*, 2012 ; Catry et *al.*, 2012 ; Pausas, 2015).

Quant à la mise en valeur, une perte de quatre récoltes au minimum est obligatoire jusqu'à ce que les sujets de remplacement commencent à produire. Cependant, lorsque le liège est seulement flambé, une seule récolte saine est perdue (Saccardy, 1937).

Par ailleurs, le chêne liège peut-être atteint de maladies causées par des attaques de ravageurs variées. Bouhraoua (2003) recense environ 150 espèces inféodées aux subéraies Oranaises. Elles sont représentées essentiellement par des xylophages, Buprestidae, Bostrichidae, Scolytidae et Platypodidae.

Les xylophages, d'une diversité complexe, agissent différemment sur le chêne liège. Ils peuvent provoquer une mortalité partielle (*Cerambyx cerdo mirbecki*) ou totale (*Platypus cylindrus*), soit un dessèchement du liège comme *Stromatium fulvum*, *Lichenophanes numida* ou *Acmeaodera degener* (Colas, 1956 ; Bouhraoua, 2003)

1.2. Production du liège

Les peuplements à chêne liège constituent des écosystèmes d'une valeur écologique et économique de première importance. En fait, c'est la production du liège en quantité et en qualité qui attire l'attention des forestiers et des producteurs (Calzado, 2011)

Dans ce sens, plusieurs travaux réalisés jusqu'à présent, visaient une estimation le possible exacte de la quantité de liège produite, aussi bien, avant récolte (production sur pied) ou après récolte (rendement industriel). Ainsi que, les facteurs influençant la croissance du liège le long d'un cycle de production

1.2.1. Production mondiale du liège

Les données disponibles concernant les superficies et la production du liège ne sont pas rigoureuses. Le problème le plus inquiétant n'est pas seulement sa diminution en quantité, mais aussi sa dégradation en qualité. Cela est corollaire d'un manque d'entretien des forêts et une intensification de l'exploitation (Salazar Sampaio, 1988).

Selon cet auteur, la production moyenne de liège pour l'ensemble de la région méditerranéenne est située à quelques 330 à 360 milles tonnes/an dont 76% est offerte par la péninsule Ibérique, 17% provenant de l'Afrique du Nord et 7% seulement provenant du reste des pays producteurs (France et l'Italie).

Par ailleurs, FAO (2013) révèle une diminution de la production mondiale, située à 183 924 tonnes/an dont 50% est offerte par le Portugal., contre 14% seulement produite par les pays d'Afrique du Nord.

Une légère augmentation de la production moyenne mondiale du liège est enregistrée selon APCOR (2018), soit 201 000 tonnes/an dont 49.6% sont offertes par le Portugal., 30.5% sont offertes par l'Espagne et 14.2% est produite par les pays d'Afrique du Nord. La figure 08 permet de visualiser la répartition de la production mondiale du liège.

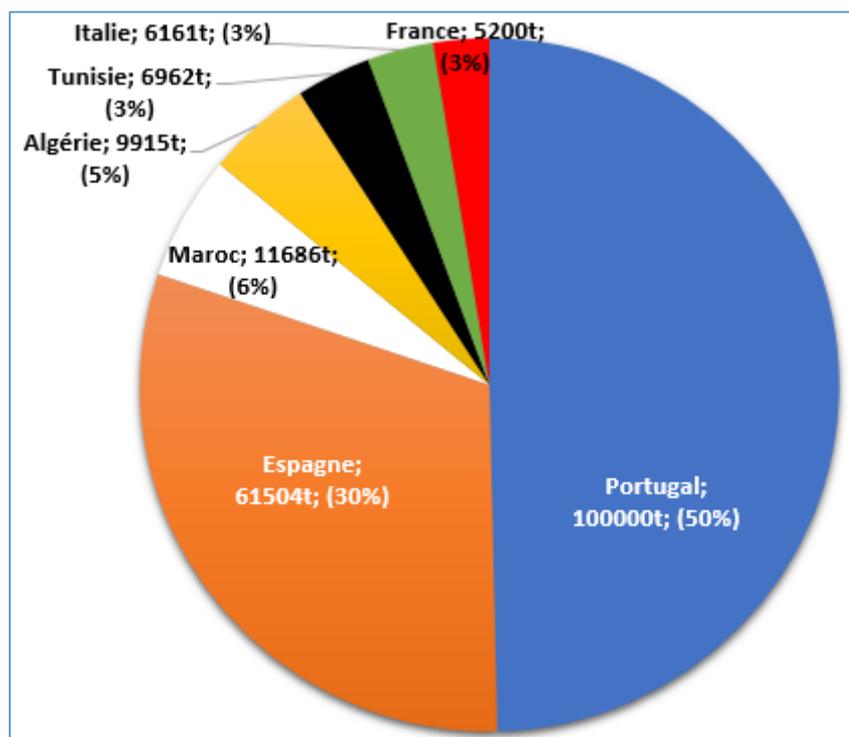


Figure 08 : Production mondiale du liège

(APCOR, 2018)

1.2.2. Evolution de la production du liège en Algérie

La production de liège est très fluctuante, et est sujette à des facteurs de dégradation variés. Selon Natividade (1956), la subéraie algérienne a traversé au cours des derniers siècles de graves vicissitudes. En fait, la succession de civilisations et d'invasions, sont à l'origine de dégradations de ces forêts.

Par conséquent l'étendue des subéraie Algériennes représente à peine 40% de celles de jadis. Elles sont estimées à 440 000 ha, dont 250 000 appartiennent à l'état, 15 000 aux communes et 175 000 aux particuliers (Chenel, 1951 ; Boudy, 1947 in Natividade, 1956 ; puyo, 2013).

Depuis 4000 ans, près de 10 millions d'hectares de forêts auraient été anéantis, correspondant à une baisse de la superficie boisée de 14 à 30%. A cela s'ajoute, les

modifications locales de climat de l'Afrique du Nord, résultant de l'action directe et indirecte sur la végétation (Boudy, 1948 *in* Natividade, 1956)

Les vicissitudes des subéraies sont devenues plus graves avec la dominance des Français en 1830. En fait ; des incendies successifs ont parcourus environ un million d'hectares, pendant la période comprise entre 1875 et 1897. Par ailleurs, durant cette même période, environ 40 000 ha de forêts louées ont été démasclées (Natividade, 1956).

Les opérations en régie ont commencé en 1884 jusqu'à 1901 sur 185000 ha. De plus, durant 1902 à 1914, environ 6 250 000 de chênes lièges ont été encore démasclés. Ainsi, la production du liège Algérien, durant la période 1910 à 1914, est de 350 000 quintaux, dont 120 000 quintaux sont offerts par les forêts domaniales et 2300 00 quintaux par les forêts particulières. Les soins portés aux forêts privées ont contribué à l'amélioration du rendement moyen, soit 90 kg/ha/an, contre 60 kg/ha/an pour celles d'état. Dès lors, l'exploitation des vieux arbres fût pratiquement terminée. Il est à signaler que, le rendement moyen déclaré est très inférieur à celui du Portugal (217 kg) ou de l'Espagne, situé à 206 kg. Ces différences de production sont liées surtout aux soins portés à ces subéraies, soumises à une véritable arboriculture, sélection d'arbres producteurs, sylviculture, cultures intercalaires et élevages (Saccardy, 1937 ; Chenel, 1951 ; Natividade, 1956 ; Meynier, 1981)

Le rendement de liège est supérieur pour les subéraies privées (160 kg) que celles domaniales (60 kg). Cela est dû au fait que l'exploitation de celles aliénées par l'état est moins intensive. Les planches prélevées sont bouillies, raclées, visées et classées. Elles servent à la bouchonnerie et les déchets sont destinés aux agglomérées. Il est à signaler que, le liège ouvré depuis 1920 à 1938, a atteint 41 000 quintaux. Ainsi la bouchonnerie Algérienne offre annuellement 1 200 000 bouchons. La production moyenne normale de liège est de 350 000 et 450 000 quintaux, dont 90% provient de département de Constantine (Belottiere, 1930 ; Chenel, 1951)

De plus, malgré les dispositions prises par les services des Eaux et Forêts, la superficie incendiée est estimée de 117 000 hectares en 1919. A cela s'ajoute, le passage du bétail (Natividade, 1956).

Par ailleurs, en vue d'améliorer la situation des subéraies, Natividade (1956) signale que, des cultures extensives du chêne liège ont été pratiquées par les services forestiers. A cela s'ajoute, des éclaircies, réglementation des pâturages, ouverture de voies de communication et protection contre les incendies (postes de surveillance et réseaux

téléphoniques). De plus, Puyo (2013) signale que, la mise en valeur, en 1850, appliquée par la colonie Française consiste à découper le peuplement en huit parcelles d'égales superficie dont l'exploitation se fait de proche en proche à raison d'une parcelle par an. Cette méthode, dite de coupons réglés, a été rapidement abandonnée car elle engendre des pertes de production. En fait, le repassage dans la première parcelle exploitée ne se fait que huit ans après, soit trop tardivement pour les jeunes arbres dont la faible circonférence n'avait pas permis le démasclage lors du premier passage. Ainsi, de 1880 à 1935, le service forestier utilisa la méthode dite de jardinage, préconisée par Antonin Rousset et améliorée par Augustin Lamey en 1870. Elle consiste à découper la forêt en trois séries les plus homogènes possible, ensuite, les sujets de plus de 35 cm de circonférence étaient démasclés selon une hauteur fixée par un barème lors du premier passage. Donc seule la moitié du tronc est démasclée. Lors du deuxième passage, durant la quatrième année, l'opération se fait jusqu'aux premières branches, puis en septième année, le restant des branches jusqu'au 40 cm de tour. Il fallait 9 ans pour enlever le liège mâle sur tout le peuplement. Ainsi, les sujets trop jeunes au premier passage sont propres à l'exploitation au deuxième ou troisième passage ce qui rend la production plus rentable. Les opérations de démasclage s'accompagnaient de coupes d'arbres dépéris, élagage et débroussailllements permettant une amélioration de la production (Puyo, 2013).

Selon Lamey (1893), la superficie couvrait par les forêts de chêne liège en Algérie en 1891 était de 459.109 hectares dont 291.446 hectares étaient mises en valeur. Le premier inventaire forestier de 1935 estime que le chêne liège en Algérie occupe une superficie de 404 000 ha, dont 234 000 ha appartenaient à l'Etat, 24 000 ha aux communes, 146 000 ha aux particuliers (Natividade, 1956). La fréquence des incendies a fait que plus de 50 000 ha des forêts domaniales restées inexploitées. De plus, la production moyenne annuelle est de 40 000 tonnes de liège, dont 14 000 à 18 000 tonnes proviennent des forêts domaniales. Durant la période 1931 à 1941, la production moyenne annuelle est estimée à 31 300 tonnes de liège de reproduction et 7000 à 10 000 tonnes de liège mâle.

Durant la période 1939 à 1946, la production moyenne annuelle de liège est estimée à 13 600 tonnes seulement. De plus, le démasclage et les récoltes irrégulières dans les forêts communales, ainsi que celles des indigènes, fournissent 3400 tonnes en moyennes (Natividade, 1956).

En 1950, la production moyenne annuelle est d'environ 36000 tonnes de liège, dont 13000 tonnes sont offertes par les forêts domaniales et 23000 de celles particulières. En

parallèle, suite à des exploitations et pâturages excessives, des signes d'affaiblissement et d'épuisement sont apparus chez les peuplements à chêne liège, plus particulièrement, ceux situés entre Skikda et Annaba. Les incendies répétés, le manque de régénération, l'âge avancé des arbres ou le nombre de récoltes sont à l'origine du phénomène (Manjauze 1950 *in* Natividade, 1956).

En 1965, la production du liège a atteint un pic jamais égalé de 350 000 quintaux. Cela été le corollaire d'un cumule suite à l'absence d'exploitation durant la guerre de libération majoré par un stock important dans les dépôts. Cependant, la gestion de la filière liège est devenue très hasardeuse causant une chute de production de plus de 47% (Dehane et *al.*, 2013a).

De plus, durant la période 1980 à 1992, la situation est devenue plus difficile. L'inventaire forestier national de 1984 le confirme dans la mesure où sur 230 000 ha de chêne liège, 61% sont représentés par de vieilles futaies, 37% de jeunes futaies, 1% de perches et 1% de taillis. La production nationale est estimée à 134 000 quintaux seulement (Dehane et *al.*, 2013a).

La situation ne s'est améliorée durant la période 1993 à 2010 suite à une série d'incendies catastrophiques ravageant, en moyenne 10368 ha. A cela s'ajoute, une désorganisation des récoltes de liège et les coupes illicites (Taferka, 2008 *in* Dehane et *al.*, 2013a).

En absence d'un inventaire national récent, nous continuons à citer la superficie productive des subéraies de l'ordre de 220 000 ha. Sachant que cette superficie connaît une régression continue depuis les années 80. Cela est souvent attribué aux incendies répétés, défrichements, attaques parasitaires, difficultés de reconstitution par reboisement, mais aussi au vieillissement des meilleurs peuplements surexploités durant l'époque coloniale (Tatar, 2012 ; Dehane et *al.*, 2013a ; Bouhraoua et *al.* 2014).

Ainsi, les chiffres estimant la production Algérienne sont très fluctuants, parfois contradictoires et variant fortement d'une source à l'autre. A titre indicatif, FOSA (2000) donne une production Algérienne moyenne de plus de 55000 quintaux/an. Par ailleurs, la production selon APCOR (2002 *in* Silva et Catry, 2006) est de 20000 tonne/an, ce qui représente 5.9% de la production totale mondiale. Selon la même source, l'Algérie est classée en troisième position, derrière le Portugal (185000 tonnes/an et 54.4% de la production mondiale), et l'Espagne (88000 tonnes/an et 25.9% de la production mondiale).

Selon DGF (2010 *in* INRF, 2012), la quantité de liège produite est située à de 5898 tonnes. Cependant, APCOR (2018) donne une production Algérienne de 9915 tonnes/an, soit un taux de 4.9% du total Mondial derrière le Portugal., l'Espagne et le Maroc. Par ailleurs, DGF (2016) situe la production, en liège, à près de 6500 tonnes seulement à partir des années 2000.

1.2.3. Production du liège et facteurs influençant la croissance

La production de liège est variable d'un arbre à l'autre et d'un peuplement à l'autre. Elle dépend de l'épaisseur du liège, de sa densité et de sa qualité. Les propriétés de ces trois derniers paramètres sont influencées par des facteurs externes (climat, sol, exposition, altitude, densité des peuplements et développement du sous-bois) et internes (aptitudes individuelles de l'arbre). Ces deux facteurs, souvent combinés, peuvent agir favorablement ou défavorablement à la production du liège (Figure 09). Par exemple, la formation du liège est plus rapide en terrain frais, à basses altitudes, mais sa qualité est médiocre. En revanche, sa croissance est plus lente en montagne et est plus régulier, d'une qualité meilleure lorsqu'il n'est pas trop mince (Saccardy, 1938).

L'estimation de la quantité produite, sur pied, de liège par arbre et son prédiction permet de tracer des plans de gestion et d'aménagement efficaces et durables (Figure 09). De plus, elle permet une bonne évaluation de la production de liège aux niveaux local., régional et national., donc une meilleure programmation pour l'approvisionnement industriel en matières premières et l'exportation de produits de liège. Cependant la productivité est très variable d'un arbre à l'autre et d'une forêt à l'autre (Borges *et al.*, 1997 ; Vasquez et Pereira, 2005 ; Espirito, 2014).

Plusieurs auteurs ont développé des équations permettant de prédire la production du liège par arbre et les facteurs influençant sa croissance (caractéristiques dendrométriques, sylvicoles, génétiques, écologiques...etc.). Ainsi, la production du liège est tributaire à des facteurs édapho-climatiques, l'âge des arbres, la densité des peuplements, ainsi que l'intensité d'écorçage.

L'estimation de la quantité de liège, sur pied, a été formulée par des équations simples (Saccardy, 1937) ; régressions non linéaires, linéaires simples ou multiples (Natividade, 1950 ; Guerreiro, 1951 *in* Vasquez et Pereira, 2008 ; Ferreira et Oliveira, 1991 ; Tomé, 2004 ; Paulo et Tomé, 2010), ou par des modèles utilisant une transformation logarithmique de la variable indépendante et/ou dépendante (Ferreira *et al.*, 1986 *in* Vasquez et Pereira, 2008 ; Costa, 1990 *in* Borges *et al.*, 1997 ; Gomes *et al.*, 1990 *in* Vasquez et Pereira, 2008 ; Ribeiro,

1990 *in* Vasquez et Pereira, 2008). De plus, des modèles linéaires mixtes, plus complexes, ont été utilisés (Vasquez et Pereira, 2005 ; Sánchez-González et *al.*, 2007a ; Paulo et Tomé, 2010 ; Calzado, 2011)

La prédiction de la production du liège utilise comme variable dépendante le poids frais du liège (Natividade, 1950 ; Guerreiro, 1951 *in* Vasquez et Pereira, 2008), ou sec (Vasquez et Pereira, 2005). Les variables indépendantes souvent utilisées sont la circonférence sous écorce, épaisseur et âge du liège, accroissement moyen et cumulé, surface et hauteur d'écorçage, poids volumique, nombre de branches écorcées, surface terrière, densité, diamètre et/ou surface du houppier...etc. Parfois ces variables font l'objet de modélisation avant d'être incluses dans la prédiction du rendement et de la production du liège (Natividade, 1950, Tomé, 2004 ; Montes et *al.*, 2005 ; Sánchez-González et *al.*, 2007a ; Vasquez et Pereira, 2008, Calama et *al.*, 2010 ; Paulo et Tomé, 2009 ; Paulo et Tomé, 2010 ; Bravo et *al.*, 2012 ; Paulo et *al.*, 2015 ; Paulo et Tomé, 2017 ; Pasalodos et *al.*, 2018a).

L'introduction de variables liées à l'intensité d'écorçage dans les modèles prédictifs du poids du liège a augmenté l'efficacité du modèle et a amélioré les statistiques de validation (Ribeiro et Tomé, 2002 ; Vasquez et Pereira, 2005, Paulo et Tomé, 2010).

Tomé (2004) a présenté une méthodologie qui permet de la prévision du poids du liège pour différents âges du liège. Cette méthodologie, a été appliquée et améliorée par Paulo et Tomé (2010). De plus, la croissance du liège a été modélisée en utilisant l'approche généralisée de la différence algébrique (GADA), décrivant la relation taille (épaisseur du liège), temps (âge du liège) et site. Le modèle développé permet d'estimer la croissance cumulée à partir de la deuxième année après écorçage avec plus de 80% de fiabilité (Sánchez-González et *al.*, 2008)

Par ailleurs, d'autres modèles sont développés afin d'estimer la production par hectare (échelle peuplement). Ils dépendent de la qualité des stations et des traitements sylvicoles appliqués tels que, intensité et hauteur d'écorçage, densité, surface terrière totale et poids du liège/m², surface projetée du houppier (Montero et Grau, 1989 ; Montero et *al.*, 1989 ; Montero et Cañellas, 2003 ; Montero et Lopez, 2008 ; Vasquez et Pereira, 2005). D'autres, ont été développés pour le liège vierge (Tomé, 2004 ; Sánchez-González et *al.*, 2007b, Paulo et Tomé, 2014). Par conséquent, le tableau 01 présente la production/ha pour différentes subéraies comme suit (Carrero, 2015) :

Tableau 01 : Production (kg/ha) dans les pays producteurs de liège (Carrero, 2015)

pays	IPROCOR	ICMC	CMA	APCOR	Moyenne nationale
	1991	1999	2006	2007	
Portugal	252	158	280	215	226
Espagne	170	108	129	177	146
Algerie	98	23	83	38	61
Maroc	59	48	50	35	48
France	140	159	160	34	123
Tunisie	101	111	141	83	109
Italie	178	69	100	200	137
Moyenne Mondiale	142	107	135	112	

De plus, le tableau 02 récapitule les modèles élaborés pour le liège tiré de différentes subéraies productives dans le monde subéricole.

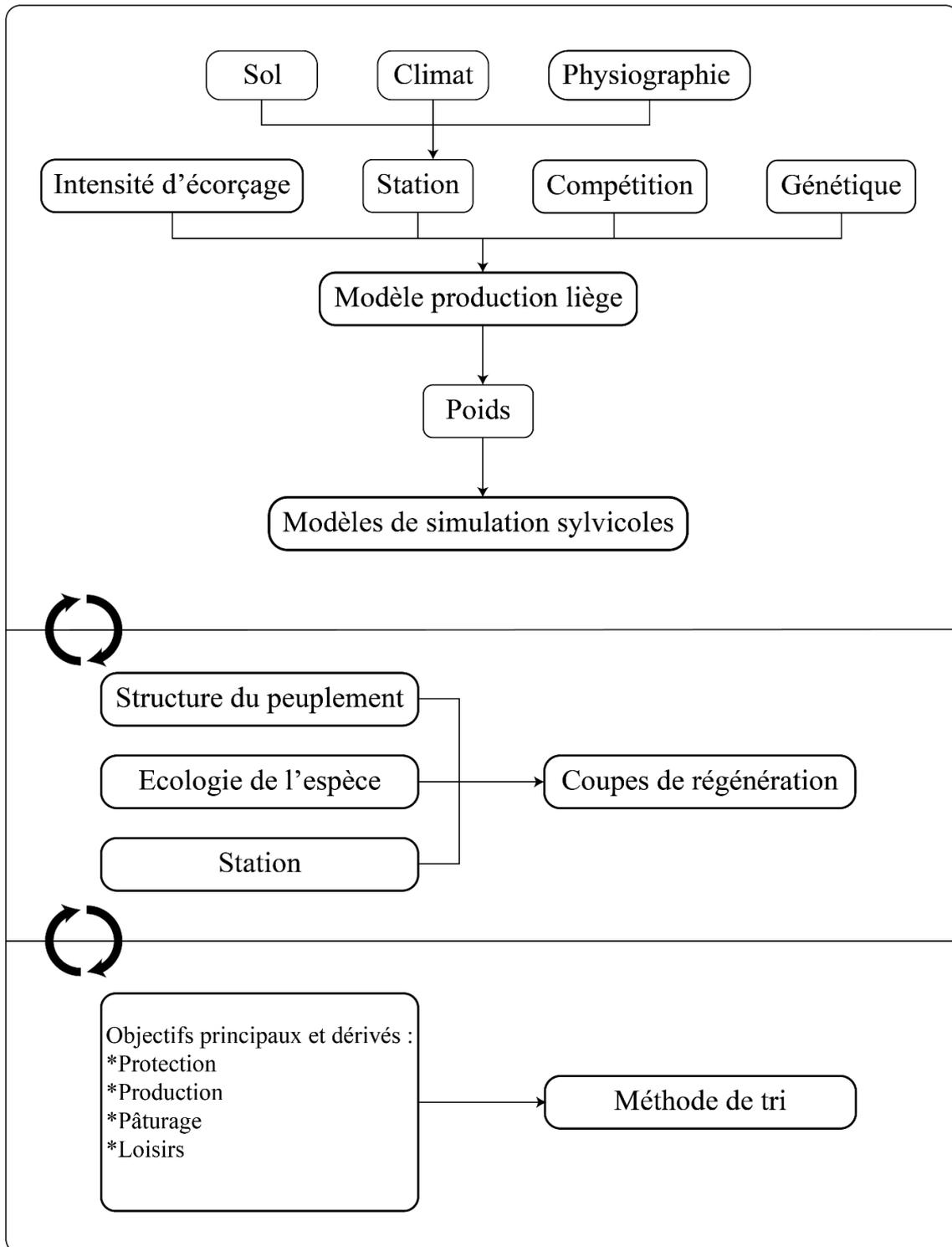


Figure 09 : Schéma de base du développement d'un modèle de gestion pour peuplements de chêne liège liés directement à la production du liège. Les flèches indiquent les interrelations entre les différents niveaux du modèle (Vasquez et Pereira, 2008)

1.2.3.1. Caractéristiques dendrométriques de l'arbre

Il semble que la croissance en épaisseur du liège est liée aux dimensions de l'arbre. En fait, la taille de l'arbre, exprimée par la hauteur et la circonférence sur ou sous écorce, présente une corrélation positive avec l'épaisseur du liège (Sánchez-González et al., 2007a ; Paulo et Tomé, 2010). Cela s'explique, dans la région méditerranéenne, par une utilisation d'eau (disponibilité et variation temporelle) plus efficace chez les individus gros (Landsac et al., 1994 ; Sánchez-González et al., 2007a). Des résultats similaires sont présentés par Vasquez et al (2008 in Calzado, 2011). En ce qui concerne la production du liège par arbre, elle montre une corrélation positive avec la circonférence à 1.30m, la surface terrière et le rayon moyen du houppier (Penteado et al., 2015).

Par ailleurs, l'analyse, sur 100 arbres de chêne liège dans la subéraie de Cádiz (Espagne), entre la circonférence et l'épaisseur du liège, montre une relation positive jusqu'à une circonférence de 156 cm (Figure 10). Au-delà, cette tendance devient inverse (Montero et Vallejo, 1992)

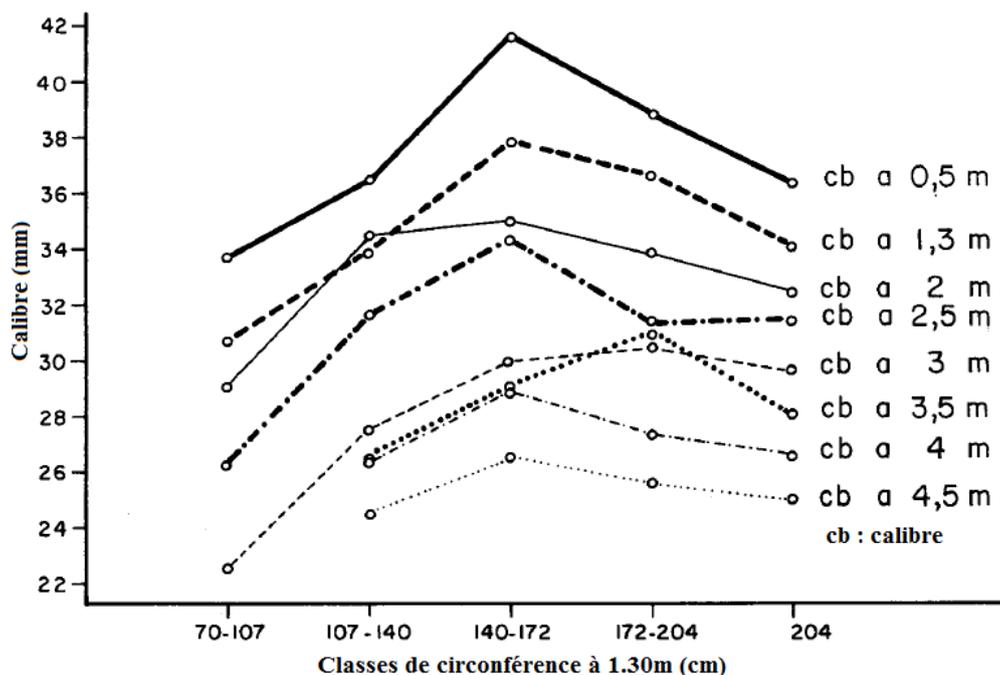


Figure 10 : Evolution du calibre du liège en relation avec la circonférence à 1.30m et sa variation le long de l'arbre

(Montero et Vallejo, 1992)

De plus, le calibre de liège varie le long du tronc et présente une allure décroissance (Figure 10). En fait, l'épaisseur moyenne du liège est de 36 mm à une hauteur de 0.5m et est de 23 mm environ à une hauteur de 4.5m. Au-delà de cette hauteur, le liège perd 66.5% de son

épaisseur enregistrée dans la partie basale (Montero et Vallejo, 1992 ; Viera, 1950 *in* Calzado, 2011)

1.2.3.2. Caractéristiques génétiques de l'arbre

Plusieurs auteurs, ont signalé à travers leurs études, l'effet que pouvait présenter le facteur génétique sur la croissance du liège. Cependant, la contribution relative de cette composante et son interaction avec l'environnement, n'est pas connue. En fait, la majeure partie de la variabilité que présente la croissance du liège, est associée à des attributs inobservables de l'arbre, probablement liés à des facteurs génétiques qu'à des caractéristiques du milieu (Saccardy, 1937 ; Ferreira *et al.*, 2000 ; Corona *et al.*, 2005 ; Tomé, 2004 ; Sánchez-González *et al.*, 2007a).

1.2.3.3. Influence des facteurs climatiques

L'activité du phellogène est influencée par les facteurs climatique. En fait, l'accroissement annuel est plus important dans les années pluvieuses. La variable précipitations cumulées, depuis Novembre de l'année précédente jusqu'à l'été de l'année en cours ou même de l'année en cours, présente une bonne corrélation avec la croissance du liège. Les précipitations du mois de Novembre et Décembre ont une influence positive l'année suivante. Le mois d'Avril est fortement corrélé à la croissance radiale du liège. Le mois d'Octobre semble être une période de transition puisque le phellogène devient inactif. Généralement, les précipitations hivernales améliorent la croissance radiale du liège, à condition que l'eau soit disponible dans le sol pour la prochaine période de croissance (Caritat *et al.*, 1996 ; Caritat *et al.*, 2000 ; Costa *et al.*, 2002 ; Oliveira *et al.*, 2002 ; Costa *et al.*, 2003 ; Costa *et al.*, 2016).

L'effet de la température semble être moins accentué que les précipitations. Une corrélation négative est enregistrée entre les températures mensuelles et la croissance du liège, surtout durant la période estivale. De plus les basses températures enregistrées en hiver influent négativement la croissance radiale du liège (Caritat *et al.*, 1996 ; Caritat *et al.*, 2000 ; Oliveira *et al.*, 2002 ; Costa *et al.*, 2003 ; Costa *et al.*, 2016).

1.2.3.4. Influence des facteurs édaphiques

D'une manière générale, il est admis que, la croissance en liège est supérieure dans les stations humides aux sols fertiles, que dans les milieux secs aux sols pauvres. Une production de 6 kg/m² est obtenue pour de mauvaises stations, contre 12 kg/m² en stations fertiles. L'indice de fertilité présente un effet clair sur la gestion optimale des peuplements.

Cependant, il n'affecte pas la croissance en épaisseur du liège, mais influe sur la quantité de liège suite à la croissance diamétrale de l'arbre. (Saccardy, 1938; Montero et Canellas, 2003; Montero et Canellas, 1998 *in* Garriga, 2008; Montero, 1987 *in* Clazado, 2011; Pasalodos et *al.*, 2018b).

Par ailleurs, une diminution significative de la production du liège est enregistrée pour les arbres situés en sols hydro-morphes de type Gleysol (Gomes, 1990 *in* Calzado, 2011).

1.2.3.5. Influence des traitements sylvicoles

La variabilité de la croissance du liège en rapport avec les traitements sylvicoles appliqués aux subéraies, a fait l'objet d'études variées. L'effet de telles opérations a été testé sur des variables liées directement à la production du liège. Selon Montero et *al.* (1993), la hauteur d'écorçage ne diffère pas significativement en relation avec la densité du peuplement, bien que des valeurs plus élevée, soit 2.44 m, sont obtenus pour des peuplements denses (environ 455 pied/ha), contre 2.1 m seulement en peuplements clairs (environ 115 pieds/ha).

Il en est de même pour la production du liège chez les arbres de chêne liège relevant des subéraies Espagnoles (Cortes de la Frontera, Malaga). En fait, un arbre de circonférence moyenne de 1.06 à 1.2 m, peut offrir 20 à 24 kg/pied (cycle de 9 ans), et cela, quel que soit la densité du peuplement. A l'échelle des peuplements, la production par hectare augmente considérablement avec la densité, mais atteint son optimum à une densité moyenne de 267 pieds/ha.

De plus, le calibre moyen en liège par hectare n'est pas influencé par la densité des peuplements. Cependant, une corrélation positive est enregistrée entre l'épaisseur du liège et la surface de projection du houppier dans les peuplements à faible densité. En ce qui concerne, le poids du liège produit par unité de surface, il ne varie pas avec la densité du peuplement. C'est un indicateur cohérent de la capacité productive de la station (Montero et Torres, 1993 *in* Montero et Lopez, 2008 ; Montero et *al.*, 1993 ; Torres, 1995 *in* Montero et Lopez, 2008 ; Torres et Montero, 2000 *in* Montero et Lopez, 2008 ; Pizzurro et *al.*, 2010 ; Montero et *al.*, 2015).

Une densité idéale permettant une production optimum de liège a été largement discutée par les spécialistes. Dans le cas des subéraies régulières, Lamey (1893) propose, la surface de projection des houppiers comme paramètre identifiant l'espacement entre tiges. Vieira (1950 *in* Montero et Canellas, 2003) considère que la distance séparant deux tiges

voisins, à la fin d'une éclaircie, est égal à moitié du rayon du houppier projeté. Faias et *al* (2019) utilise des coefficients d'espacement des peuplements et espacement relatif afin de détecter le degré de compétition inter-arbre avant éclaircie.

Par ailleurs, quel que soit le critère de sélection choisi pour le dosage des peuplements artificiels, la densité initiale doit être suffisamment élevée, afin de, permette une sélection phénotypique tout au long de la vie des subéraies. En fait, une baisse de la qualité du liège est attribuée au manque de sélection d'arbres dans les premiers âges (Montero et Cañellas, 2003).

En ce qui concerne la relation entre l'élagage et la production du liège, Cañellas et Montero (2002) signalent qu'aucune différence statistiquement significative n'a été observée, entre arbres élagués et non-élagués pour le kilogramme de liège/m², ni pour la production totale. Il en est de même pour l'accroissement annuel, même si l'élagage est réalisé en période d'écorticage.

Cependant, l'élagage abusif, qui affecte plus de 35% du houppier, à un effet négatif sur la production du liège (Montero et Currás, 1991). De plus l'élimination de grosses branches présente de nombreux problèmes de guérison (pourritures) affectant ainsi la production totale du liège et la longévité des arbres (Montero et Lopez, 2008).

La présence de plaies dans le tronc du chêne liège suite à un écorçage inadéquat, peut entraîner une diminution du taux de croissance du liège. Un retard d'environ d'un mois est observé par rapport au début de la croissance printanière, et un décalage d'un mois par rapport au maximum de la croissance de la période végétative (Costa et *al.*, 2004).

1.2.4. Rendement industriel en liège

Il est couramment constaté que des arbres très voisins, situés dans les mêmes conditions du milieu, présentent des différences de croissance et de qualité de liège. Cela est attribué souvent aux aptitudes individuelles des arbres. La validité des estimations de la production de l'arbre dépend de la variabilité dans l'arbre, de la croissance du liège et de l'épaisseur de la croûte (Saccardy, 1938 ; Taco et *al.*, 2003).

La baisse du rendement moyen des arbres à chêne liège peut avoir lieu suite à des raisons multiples telles que l'abondant des subéraies pendent plusieurs décennies (liège sur-épais ou incendié), attaques d'insectes ravageurs causant une dégradation de l'état de santé de l'arbre et dépréciation de la qualité et quantité de liège. A cela s'ajoute, les mauvaises

pratiques subéricoles causant une perte de quantité et de qualité au niveau de la production de liège (IML, 2006 ; Beira et *al.*, 2014).

A titre indicatif, le rendement moyen tiré à partir de 3 tonnes de liège mâle (ou naturel) est d'une tonne de liège expansé noir (isolant) aggloméré ou granulé. Par ailleurs, 100 kg de liège femelle (ou de reproduction) brut offre (IML, 2006) :

- * 10 kg de bouchons (environ 3000 pièces) ;
- * 22 kg de granulés de liège blanc agglomérés ou non (bouchons agglomérés, panneaux d'affichage) ;
- * 50 kg de liège expansé noir ;
- * 18 kg de chutes (poussières de liège pour le colmatage des bouchons, substrat de culture)

Le poids moyen de bouchons offert par les planches de liège varie d'une subéraie à l'autre et d'un pays à l'autre. Ainsi il apparaît qu'en France, la part du bouchon ne constitue que 10% ou même 20% des récoltes en volume, mais il représente 80 à 90% de leur valeur économique (IML, 2013). Le rendement en bouchons naturels peut atteindre 40% pour le liège Portugais (APCOR, 2015).

En Algérie, Ghalem (2017) estime que, la quantité de bouchons produite représente 25% du poids initial d'une planche de liège Algérien (essentiellement celui de Tlemcen et Skikda). Il est à signaler que, la qualité ce dernier présente une très grande hétérogénéité.

Par conséquent, la quantité de bouchons offerte par planche (rendement) et leur qualité **sont** fortement corrélées au (i) poids de la planche extraite et son épaisseur, d'où l'intérêt particulier de la qualité des opérations d'écorçage (extraction de liège en une seule planche), (ii) les pratiques lors de l'extraction des bouchons. Par exemple, on cite l'effet de la direction de coupe des planches, soit longitudinalement ou transversalement. En fait, le rendement en bouchons, de bonne qualité (première et deuxième classe), est supérieur chez les planches coupées longitudinalement (Pereira et *al.*, 1994 ; Costa et Pereira, 2010 ; Ghalem et *al.*, 2016 ; Ghalem, 2017).

Tableau 02 : Modèles de prédiction de la production du liège (échelle tige et peuplement) pour des subéraies productives relevant du monde subéricol

Description	modèle	Auteurs et sources
n=200 arbres, sub=Portugal (général), niv=arbre, valide pour pieds à deux branches dont l'épaisseur du liège est supérieure à 25mm	$PC = 76.9CSC - 47.2$	Natividade (1950)
n=400 arbres, sub= Chamusca (Portugal), niv=arbre	$PC = 46.06CSC + 12.2HD + 0.46CB - 65.6$	Guerreiro (1951) in Vasquez et Pereira (2008)
n=400 arbres, sub= Sierra de Grandola, Santiago-Cercal et Odimira (Portugal), niv=arbre	$PC = 50.89CSC + 9.7HD + 0.7CB - 46.47$ $PC = 49.525CSC + 9.9HD - 47.919$	Alves (1958) in Montero et Lopez (2008)
n=100 arbres, sub= forêts d'Alcocer De Sal (Portugal), niv=arbre	$PC = 47.28CSC + 6.5HD + 4.49CB - 43.23$ $PC = 47.28CSC + 6.5HD + 4.49CB - 43.23$	Alves et Macedo (1961) in Montero et Lopez (2008)
n=240 arbres, sub= Alcácer do Sal., Grândola, Mora et Montemor o Novo (Portugal), niv=arbre	$PC = 1.2 + 1.16 \ln(CSC) + 0.44 \ln(RM) + 0.85 \ln(HD) + 0.2 \ln(CB)$	Ferreira et al (1986) in Vasquez et Pereira, 2008
n=205 arbres, sub= Grândola (Portugal), niv=arbre	$\ln(PC) = 2.586 + 1.812 \ln(CSC) + 0.625 \ln(HD)$	Gomes et al (1990) in Vasquez et Pereira (2008)
n=743 arbres, sub= Chamusca (Portugal), niv=arbre	$PC = 11.7 + 26.3 \ln(CSC * HD)$	Ribeiro (1990) in Vasquez et Pereira (2008)
n=451 placettes, sub= forêts Portugaises, niv=peuplement	$PCHAV = -98.177 + 315.87AB$	Costa (1990) in Borges et al (1997)
n=451 placettes, sub= Portugal., niv=arbre	$PCHAV = -98.17 + 315.87AB$ $PCHAV = -47.37 + 12.93CSC * HD$	Costa (1992) in Vasquez et Pereira (2008)
n=21 placettes et 427 arbres, sub= Sud de l'Espagne, niv=peuplement, L'estimation du poids du liège à partir de la surface terrière totale à elle seule, n'est valide que pour les peuplements du même âge (AB allant de 4.6 à 27.37m ² /ha)	$PCHAV = AB * IDM * PCM2$ $IDM = SD/AB$ $PCHAV = 124.25 + 433.53AB$	Montero et al (1989), Montero et al (1990)
n=32 placettes et 498 arbres, sub= forêts Portugaises (échelle nationale), niv=peuplement	$PCHAV = -7.67 + 13.007 SD_t$	Ferreira et Oliveira (1991)
n=234 ; sub= forêt d'El Kala-Souk Ahras (Algérie), niv=arbre	$VCBPP = (2.9482 - 0.09109CB + 0.00105 CB^2)VCO$ $VCO = (CB * CSC - CB^2)HD$ $\ln(VCR) = -7.8573 + 1.1913 \ln(CBC) + 0.7546 \ln(HD) + 1.2256 \ln(CB)$	Cuevas (1996)
n=2195 et 1807, sub= Sierra de San Pedro, Vertientes Norte	$PC = 9.14 * CSC * HD$	Montero et al (1996)

et Sur, Sierra de Montanchez, Miravete et la Vera (Espagne), niv=arbre, liège de 9 ans	$PC = 10.69 * CBC * HD$	
n=1092 et 1083, sub= Alcornocales del Centro et Sur de Badajoz. Montes de Jerez de los Caballeros, Oliva de la Frontera, Fregenal et Cabeza de Vaca (Espagne), niv=arbre, liège de 9 ans	$PC = 7.87 * CSC * HD$ $PC = 9.67 * CBC * HD$	Montero et al (1996)
n=1092 et 1083, sub= Chênes-lièges au nord de Huelva. Sierra de Aracena et Tentudia et Montes de Cala, Arroyomolinos de León et Santa Olalla (Espagne), niv=arbre, liège de 9 ans	$PC = 8.32 * CSC * HD$ $PC = 9.07 * CBC * HD$	Montero et al (1996)
n=672et 651, sub= chêne-liège de la Sierra Norte de Sevilla et des Sierras de Córdoba (Espagne), niv=arbre, liège de 9 ans	$PC = 10.53 * CSC * HD$ $PC = 10.53 * CSC * HD$	Montero et al (1996)
n=203et 750, sub= Forêts de Catalan (Espagne), niv=arbre, liège de 9 ans	$PC = 11.70 * CSC * HD$ $PC = 13.44 * CSC * HD$	Montero et al (1996)
n=479et 422, sub= Cádiz et de Malaga. Parc naturel de Los Alcornocales. (Espagne), niv=arbre, liège de 12 ans	$PC = 11.43 * CSC * HD$ $PC = 9.96 * CSC * HD$	Montero et al (1996)
n=255, sub= Nord du Portugal., niv=arbre	$PC = 0.6183 * e^{(CSC*HD)^{0.2183}}$	Fonseca et Parresol (2001)
Épaisseur du liège, à partir de données SUBERDATA, pour subéraies portugaises, estimation pour n'importe quel âge	$ct1i = ct1j * e^{5.167878(\frac{1}{tc1j^{0.203472}} - \frac{1}{tc1i^{0.203472}})}$	Tomé et al (2001) in Tomé (2004)
Croissance du liège (mm) suivi pendant un cycle de production complet (9ans)	$y = -0.0252x^2 - 0.1585x + 5.1094$	Costa et al (2002)
Liège de 9 ans bouchonnable séché pendant 15 jours, n=184 arbres, sub=Coruche Machoqueira do Gru, Pocilgais, Vale Mouro) en Portugal., niv=arbres, utiliser après écorçage, les branches non prises.	$PCSA = 3.01 + 2.00 \ln(CBC)$ $PCSA = 2.75 + 1.92 \ln(CBC) + 0.47 \ln(HDF)$	Ribeiro et Tomé (2002)*
Poids du liège naturel ou vierge prélevé lors de levée de hauteur d'écorçage, en supposant que le diamètre est 80 cm. à partir de SUBERDATA, pour subéraies Portugaises	$PCV_{aumentos} = -2.56859 + 0.02740 * (hd_{actual} - hd_{anterior}) + 0.00074351 * 0.80^2$	Tomé (2004)*
n = 3408 sélectionnés à partir de 26 exploitations (SUBERDATA), sub= Chamusca, Sines, Grandola, Lisboa, Santiago do Cacém, Coruche, Estremoz, Palmela, Serpa, Moura (Portugal),	$icc_{mean} = 12.26900 + 0.18051 * dprec - 1.24931 * prin2i$ $icc_{min} = -113.75346 + 0.88611 rad - 3.89087 * prin1$	Tomé (2004)*
Production de liège sec, sub=Portugal., niveau arbre, 12 placettes permanentes, n=4425, niv=arbre	$\ln(PC) = 1.992 + 1.397 \ln(CSC) + 0.927 \ln(HD)$	Vasquez et Pereira (2005)*

Calibre du liège vierge, sub= parc naturel d'alcornocales et catalogne (Espagne), niv=arbre	$cb_i = 1.2561 * dsb_i$	Sánchez-González et al (2007b)*
Épaisseur liège en t années, pour subéraies Espagnoles, n= 432 arbres	$c_t = CI \left(\frac{1 - e^{-0.04t}}{1 - e^{-3.60}} \right) \frac{243}{1/2(\ln(CI)+0.682 + \sqrt{\ln(CI)^2 + 1.364 \ln(CI) + 9.365}}$	Sánchez-González et al (2008)*
Poids du liège, n'importe quel âge, Subéraies Portugaises, n = 763	$PC = 0.0203du^{1.9843}$ $PC = 0.0372du^{1.7825} * (nbrd_1)^{0.2811}$	Paulo et Tomé (2010)*
n= 50 parcelles et 1183 arbres, sub= Cádiz et Malaga (Espagne), niv=arbre	$\ln(PC) = 2.331 + 1.052\ln(SD)$ $\ln(PC) = 0.924 + 1.013\ln(SD) + 0.595\ln(CB)$	Calzado (2011)
Poids de liège naturel ou vierge (éclaircies dans les peuplements juvéniles, (n=320), sub=Chamusca, Coruche et Moura (Portugal).	$du = -1.5276 + 0.8321d$ $PCV = -19.6723 + 0.000734d^2 + 4.25364\ln(hdf)$	Paulo et Tomé (2014)
Modèle pour poids liège frais, sur pied, à partir de données LIDAR, forêts Mérida, San Pedro de Mérida et Cáceres (Espagne) échelle peuplement	$PC = 58.72234 * P_{PRM}^{0.96615} * P_{01}^{0.50207}$ (P_{prn} et P_{01}) donnés LIDAR	Lobo et al (2017)
niv=arbre, subéraies Espagnoles	$PC = \pi * du * 0.5(ct_{top} + ct_{bottom}) * HD * \rho$	Pasalodos et al (2018a)
n= 44 arbres, sub= Ain Snoussi (Tunisie), niv=arbre	$PC = 0.018602 * e^{(CSC*HD)^{0.267528}} * e^{(ageliège)^{0.264453}}$	Stiti et al (2019)

n : numéro d'arbres ou de placettes ; sub : subéraies concernées ; niv : niveau, PC= poids liège frais (kg) ; PCSA : poids du liège séché (kg) ; PCV : poids liège vierge ; PCHAV : poids liège (kg/ha) ; VCBPP : volume liège vierge (dm³) ; VCR : volume liège de reproduction (dm³) ; CSC : circonférence sous écorce ; CBC : circonférence sur écorce ; d : diamètre sur écorce ; du : diamètre sous écorce ; AB : surface terrière totale (m²/ha) ; SD : surface d'écorçage ; SD_t : surface d'écorçage totale ; HD : hauteur d'écorçage maximale ; CB : calibre liège ; RM : rayon moyen du houppier ; IDM : intensité moyenne d'écorçage ; PCM2 : kg de liège produit par m² non bouché ; HDF : longueur du bouchon de liège ; Ct_{1i} et ct_{1j} : épaisseur du liège (mm) en années complètes en moments tc_{1i} et tc_{1j} (années) ; Wb_{v_aumentos} : poids sec du liège vierge ou naturel prélevé lors d'éclaircie ; hd : hauteur d'écorçage actuelle et antérieure ; cb_i : diamètre sur liège vierge à une hauteur donnée ; dsbi : diamètre sous liège vierge à une hauteur donnée ; ct : épaisseur du liège à t année après écorçage (mm) ; CI : Cork index (mm) ; nbrd₁ : nombre de premières branches déjà écorcées ; y : croissance du liège (mm) ; x : année après écorçage ; ct_{top} : épaisseur liège à hauteur d'écorçage maximale ; ct_{bottom} : épaisseur liège dans la base de la tige ; icc_{mean} = épaisseur cumulée moyenne en mm (8 accroissements complets) ; icc_{min} : épaisseur cumulée minimale en mm (8 accroissements complets) ; dprec = nombre de jour en précipitation ; prin1 e prin2 – 1^a et 2^a composantes principales d'ACP de Ribeiro e Tomé (2000) : un indice qui varie selon les régions Portugaises ; Rad = radiation (kcal.cm⁻²).

Chapitre II

Présentation générale du Parc National de Theniet-El-Had

2. Présentation générale du Parc National de Theniet-El-Had

Le Parc National de Theniet-El-Had est créé le 23-07-1983 par décret présidentiel n°8359. Il s'étend sur une superficie de 3423 ha dont 87% sont recouverts de végétation. C'est une forêt naturelle à base de cèdre de l'Atlas dont Boudy (1950) qualifia comme étant une des plus pittoresques cédraies de l'Algérie. C'est un site d'un grand intérêt par la diversité de sa faune, flore, géomorphologie et son réseau hydrique.

Le parc présente la particularité essentielle d'être riche en peuplements forestiers diversifiés à base de cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica*), chêne zeen (*Quercus faginea*), chêne liège (*Quercus suber*) et chêne vert (*Quercus ilex*) (P.N.T.E.H, 2006)

Compte tenu de la valeur artistique de la cédraie et la beauté de ses peuplements, elle fut érigée en Parc National renforcé en 1923 par arrêté gouvernemental (article 5 du statut des parcs nationaux en Algérie du 17 Février 1921) avec une superficie de 1563ha.

Boudy (1955) signale que le cèdre commence à partir de 1350m sur le versant nord, rarement en peuplement pur. Il est mélangé le plus souvent au chêne vert dans la partie inférieure et au chêne zeen dans la partie supérieure de son aire. Sur le versant Sud, le cèdre déborde la crête et descend beaucoup moins bas pour être remplacé par une futaie mélangée de chêne liège et chêne vert.

2.1. Localisation géographique

Le Parc National est situé à 1.8 km au Sud-ouest de la ville de Theniet-El-Had. Il s'étale sur les deux versants du Djebel-El-Meddad (dénomination locale du cèdre), faisant partie du grand massif de l'Ouarsenis. L'ensemble occupe la chaîne sud de l'Atlas tellien dans le district atlasique Blido-ouarsenien, partie intégrante du secteur Algéro-Ouarsenien. Ce dernier présente la particularité d'être moyennement arrosé, d'une pluviométrie moyenne de 500 à 950 mm et d'une période de sécheresse de 3 à 4 mois/an. Sa végétation s'étend sur les massifs montagneux dont la végétation forestière et pré-forestière est représentée par divers types de formations : chêne liège, chêne zeen, cèdre de l'Atlas et pin d'Alep (Ficher et Bernard, 1902 ; Quezel et Santa, 1962 ; Sari, 1977 ; P.N.T.E.H, 2014, Meddour, 2010 in Bourorga, 2016).

La figure 11 présente la localisation géographique du Parc National et limites des cantons.

Selon Zedek (1993), le versant Nord est le versant le plus humide et le plus froid. Dans ce versant, le cèdre occupe les 2/3 du massif forestier. Le versant Sud est par contre, le versant le

plus sec et le plus chaud, il présente une grande fragilité au risque d'incendie à cause de la présence des plantes pyrophiles associées avec le chêne liège. Le cèdre ne présente que 3/5 du massif forestier du versant.

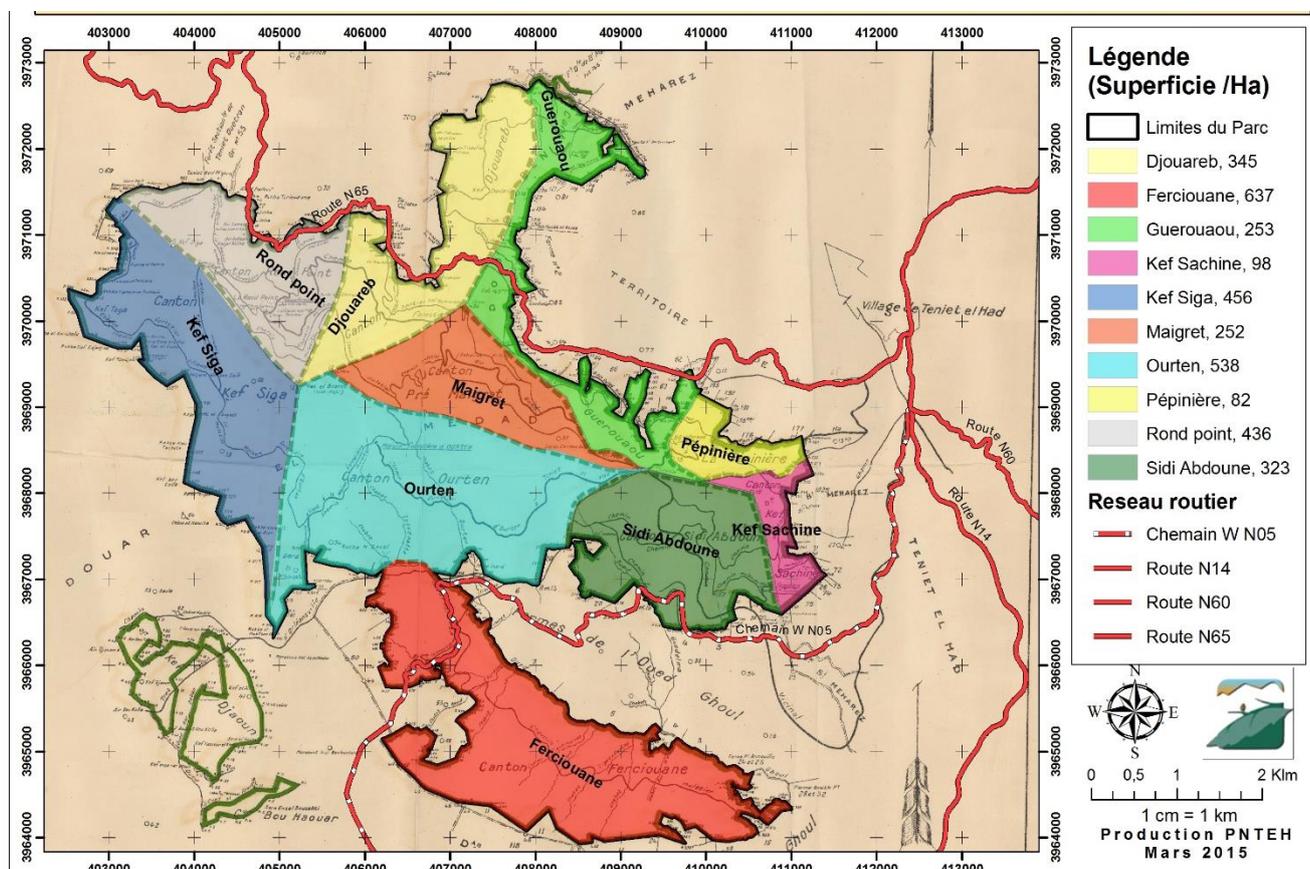


Figure 11 : Localisation géographique du Parc National de Theniet-El-Had et limites cantons

(P.N.T.E.H, 2018)

2.2. Zonage du parc

Le parc national de Theniet-El-Had est subdivisé en quatre zones (P.N.T.E.H, 2014). La Figure 12 permet de mieux visualiser ce zonage :

- * **Classe I** : dite réserve intégrale, d'une superficie de 407 ha. Elle est située dans la partie centrale et supérieure du versant Nord. Elle est souvent composée de peuplements purs de cèdre de l'Atlas ou mixtes (cèdre avec chênes) ;
- * **Classe II** : dite classe primitive ou de faible croissance, d'une superficie de 558 ha. Elle est souvent composée de peuplements où le cèdre est en mélange avec es chênes (chêne vert, zeen et liège) ;
- * **Classe III** : dite tampon, d'une superficie de 2368 ha. Elle couvre toute la superficie restante du parc sauf les grandes clairières ;

- * **Classe VI** : dite à forte croissance, d'une superficie de 92 ha. Ce sont les grandes clairières.

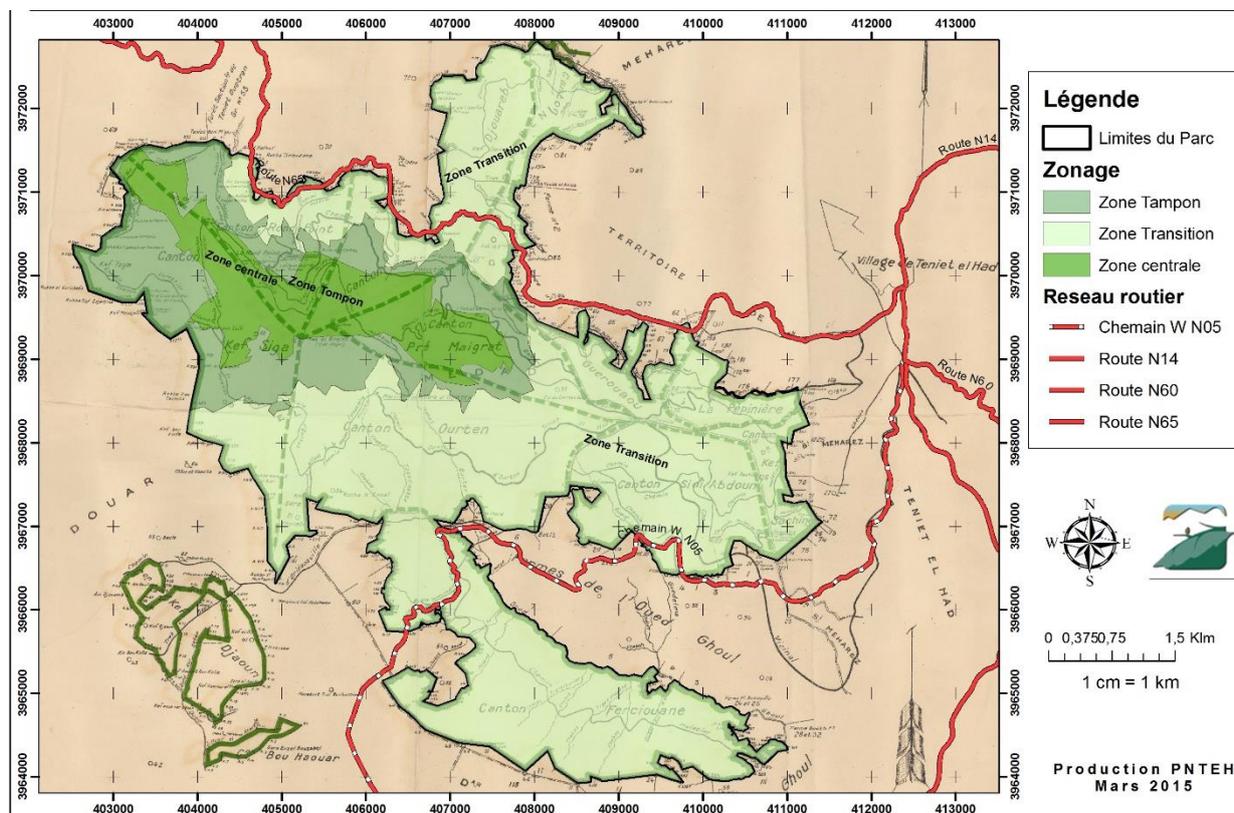


Figure 12 : Carte de zonage du parc national de Theniet-El-Had

(P.N.T.E.H, 2018)

2.3. Composition floristique

Au total, 556 espèces végétales ont été recensées durant la période 2007 à 2013 dont 10 espèces sont endémiques (P.N.T.E.H, 2013). Il s'agit de Phanérogames (Angiospermes et Gymnospermes), Cryptogames (Thallophytes, Bryophytes et Ptéridophytes). Les principales essences forestières déterminées sont le cèdre de l'Atlas, le chêne vert, le chêne liège, le chêne zeen et le pin d'Alep (Figure 13) :

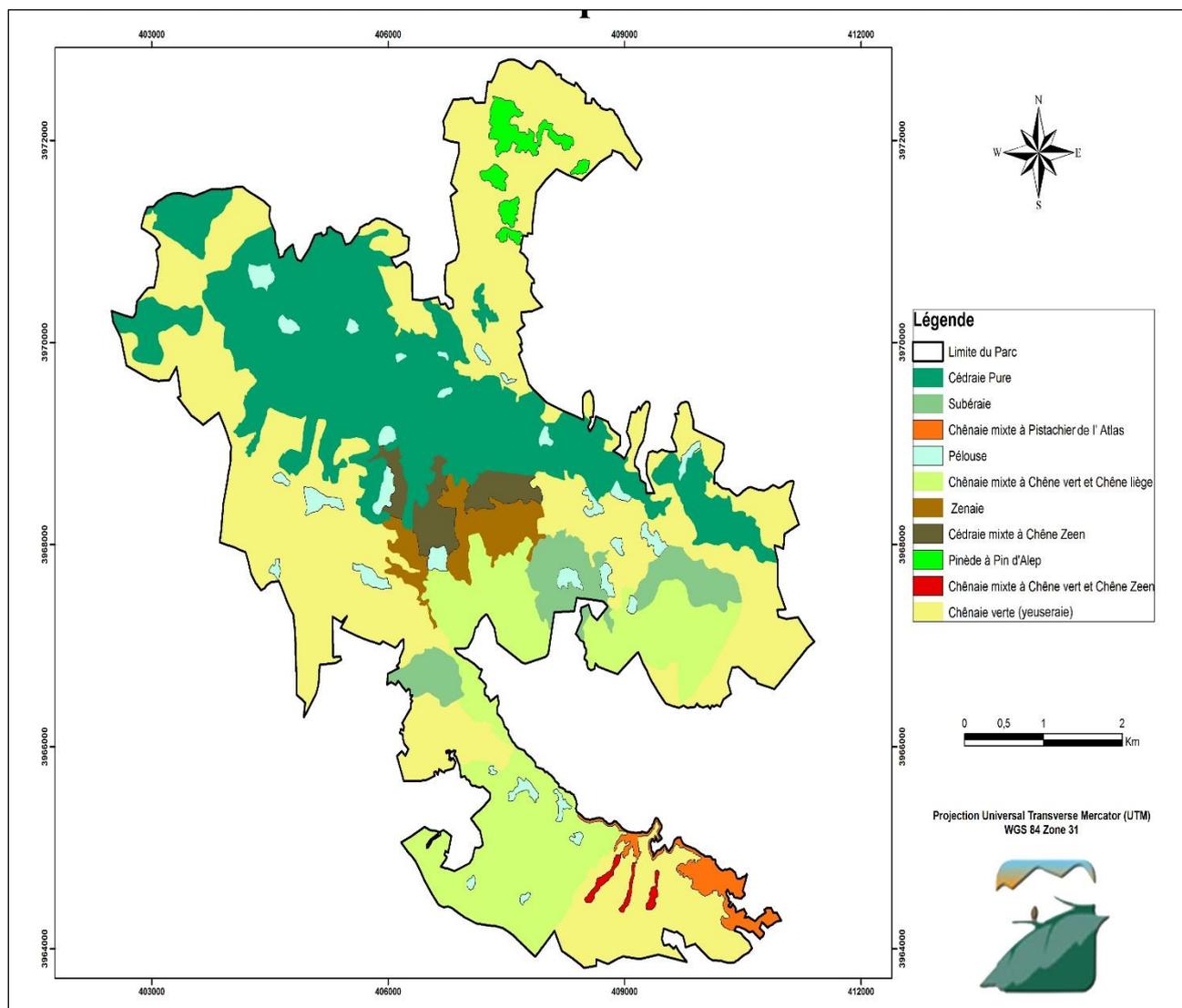


Figure 13 : Grands types de végétaux dans le Parc National de Theniet-El-Had

(P.N.T.E.H, 2018).

2.4. Milieu physique

2.4.1. Relief

Le massif montagneux de djebel-El-Meddad compte trois ramifications principales : Nord-Sud et Ouest. L'existence de nombreux Kefs et talwegs orientés dans les différents sens induit un relief extrêmement accidenté. En effet, il est à forte pente dans le versant sud (25° en moyenne) et abrupte dans le versant Nord où elle peut dépasser 40° d'inclinaison, à l'exception du canton Pépinière où elle est d'environ 15° en moyenne. Le massif culmine au lieu-dit Ras-El-Braret à une altitude de 1787m. Il s'agit du troisième point culminant du

massif de l'Ouarsenis. Quant au point le plus bas, il se situe à 858m au canton Djouareb (Zedek, 1993 ; P.N.T.E.H, 2006)

2.4.2. Géologie

Le massif est composé de sédiments Oligocènes à faciès numidien, à l'exception de quelques parties du canton Pépinière relevant du Crétacé supérieur. Le grès quartzeux de l'Eocène supérieur (Désigné sous le nom de Medjanien) se développe sur les sommets (Kef-Siga à 1720m et Ras-El-Braret). Ces sommets gréseux sont couverts de bois (Ficher et Bernard, 1902 ; Bonneval., 1930).

La série Oligocène à faciès numidien constitue un terrain forestier par excellence. Elle est épaisse (500 à 600m) et composée de fines couches d'argiles créant des niveaux aquifères favorables à la végétation. Ces couches argileuses sont superposées à des grès et des marnes laissant apparaître des fissures verticales tapissées de couches imperméables. L'infiltration des eaux des pluies à travers ces fissures provoque des phénomènes d'éboulement et tassement du sol. Cela est à l'origine de glissements et d'altération de routes et de pistes, dont la reconstitution et la maintenance nécessite de grands travaux comme les installations de gabions (Boudy, 1955 ; Mattaur, 1958 in Zedek, 1993).

2.4.3. Pédologie

L'étude Bulgare réalisée en 1984 détermine trois types de sols : les sols peu évolués, les sols bruns lessivés et les sols minéraux bruts (P.N.T.E.H, 2014). Les sols peu évolués sont localisés en bas de pente résultant d'apports provenant de l'érosion de terres situés en amont. Les sols minéraux brutes sont abondants sur les crêtes et sont entrecoupés d'affleurements rocheux. Quant aux sols bruns lessivés, ils sont à profil pédologique complet de type "ABC" avec un horizon de texture "B" riche en argile et en majorité lessivé (P.N.T.E.H, 2014)

2.4.4. Réseaux hydrologiques

Plusieurs sources d'eau dont la majorité sont ferrugineuses sont signalées (52 sources). De plus, le parc compte trois Oueds permanents (Oued El-Mouilha, Oued El-Ghoul et Oued Besbessa). A cela s'ajoute, deux étangs permanents (ceux de Sidi Abdoune et Rond-point), et d'autres sont temporaires. Ils s'assèchent à partir du mois de juillet. Parmi les étangs les plus importants on cite : Djedj el maa haut, Djedj el maa bas, Rond-point bas, Rond-point haut, Guelmam pépinière et Guigueb (P.N.T.E.H, 2014).

2.5. Actions anthropiques

Dans le parc National de Theniet-El-Had, les coupes illicites, le surpâturage répété et les incendies sont les principaux facteurs de destruction et de dégradation des végétaux commis par la population riveraine.

Les coupes illicites, sont pratiquées sans autorisation préalable de la part de l'administration forestière du parc pour la construction ou pour le chauffage en période hivernale. La figure 14 montre l'ensemble des coupes pratiquées par la population riveraine signalées et enregistrées par le service forestier durant la période 2002-2007 (P.N.T.E.H, 2014).

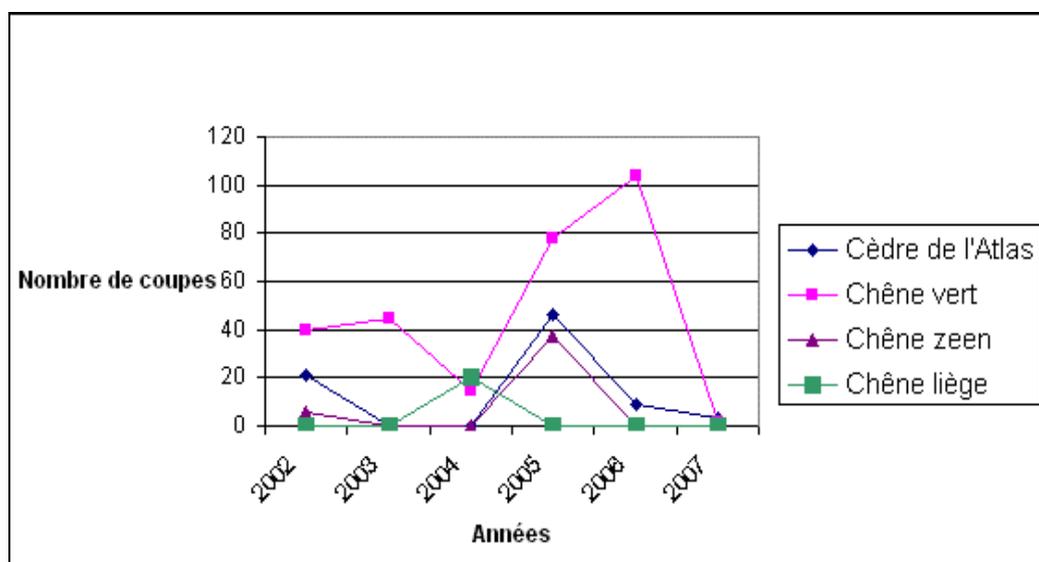


Figure 14 : Nombre des coupes illicites en fonction des années

(P.N.T.E.H, 2014).

Le passage répété du bétail demeure l'un des causes de dégradation des écosystèmes forestiers. Il contribue à l'appauvrissement de la biodiversité et le tassement du sol, ce qui empêche la régénération des espèces (Arbouche, 1995).

P.N.T.E.H (2012) signale durant la période allant de 1993 à 2000 une réduction du bétail. En fait, sur une superficie de 3424 ha du parc, le cheptel est estimé à 8536 têtes, soit une charge pastorale de 2.5 têtes/ha. Le tableau 03 illustre l'importance du cheptel dans le parc.

Tableau 03 : Répartition du cheptel par Canton (P.N.T.E.H, 2007)

	Cheptel			
	Bovin	Ovin	caprin	Equin
Guerouaou	196	833	166	05
Rond-Point	173	1.908	381	10
Sidi Abdoun	424	2.475	283	/
Kef Siga	338	2.035	405	15
Pépinière	60	550	110	/
Fersiouane	176	561	112	/
Ourten	180	553	100	/

Par ailleurs, les incendies déclarés au niveau du parc ne sont pas fréquents. Durant la période 1995 à 2005, le service forestier a enregistré des incendies au niveau des cantons (Fersiouane, Djouareb et Gerouaou, Ourten, Pépinière et Kef Siga) où 114 ha et 52 ares de peuplements forestiers (cèdre, chêne vert, chêne liège, pin d'Alep et Genévrier oxycèdre) ont été ravagés par les feux. A cela s'ajoute les incendies de 2013 ayant ravagé 50 ha dont 10 ha de subéraies (P.N.T.E.H, 2012 ; 2014).

La protection des subéraies commence par des aménagements de prévention et de lutte contre les incendies, prenant en compte les obstacles naturels et les zones agricoles. Elle se traduit par une cartographie intégrant la topographie, l'occupation des terres, les routes...etc., A cela s'ajoute une intégration de la population riveraine dans le processus de prévention et sensibilisation (Amandier, 2013).

2.6. Délimitation de la zone d'étude

La présente étude s'intéresse à la subéraie située au versant sud du parc. Elle est sous forme de peuplements discontinus (Figure 15). C'est en fait, le seul endroit dans le pourtour méditerranéen où le chêne liège se trouve sur une altitude plus de 1600m (Bessah, 2005). Elle est installée sur substrat gréseux, peu profond facilitant la perméabilité de l'eau, sur une superficie de 680 ha. Le chêne liège forme des peuplements mixtes avec le chêne zeen et le cèdre jusqu'à 1575 m d'altitude. En revanche, il se mélange avec le chêne vert dans les basses altitudes (Zedek, 1993 ; Sarmoum et *al.*, 2013 ; P.N.T.E.H, 2014).

Au même titre que la cédraie, les informations relatives à la subéraie sont rares et se limitent à quelques citations très fragmentaires :

- * Les incendies ont ravagé, à plusieurs reprises, la forêt surtout pendant la saison sèche. Ceux des années 1891, 1902, 1903 et 1905 sont les plus dramatiques dans la mesure où près de 730 ha ont été brûlés. Ils sont constitués essentiellement des peuplements de chêne liège. Entre 1942 et 1949, des passages de feux ont été enregistrées sur près de 100 ha. La forêt a pu ainsi se reconstituer (arbres de tous âges) et se régénèrent naturellement (Boudy, 1955 ; Zedek, 1993)
- * Après avoir été nommé comme Parc National en 1923, la forêt a pu bénéficier d'interventions sylvicoles afin de maintenir ses peuplements en équilibre avec leur milieu. Ces mesures ont permis de réduire considérablement les fréquences des incendies (Boudy, 1950 ; Zedek, 1993).

Parmi les travaux liés à cette subéraie, nous citons l'inventaire d'entomofaune établi par Neggaz (2006). Ce dernier a signalé 167 espèces s répartie entre différents régimes alimentaires dont les phytophages.

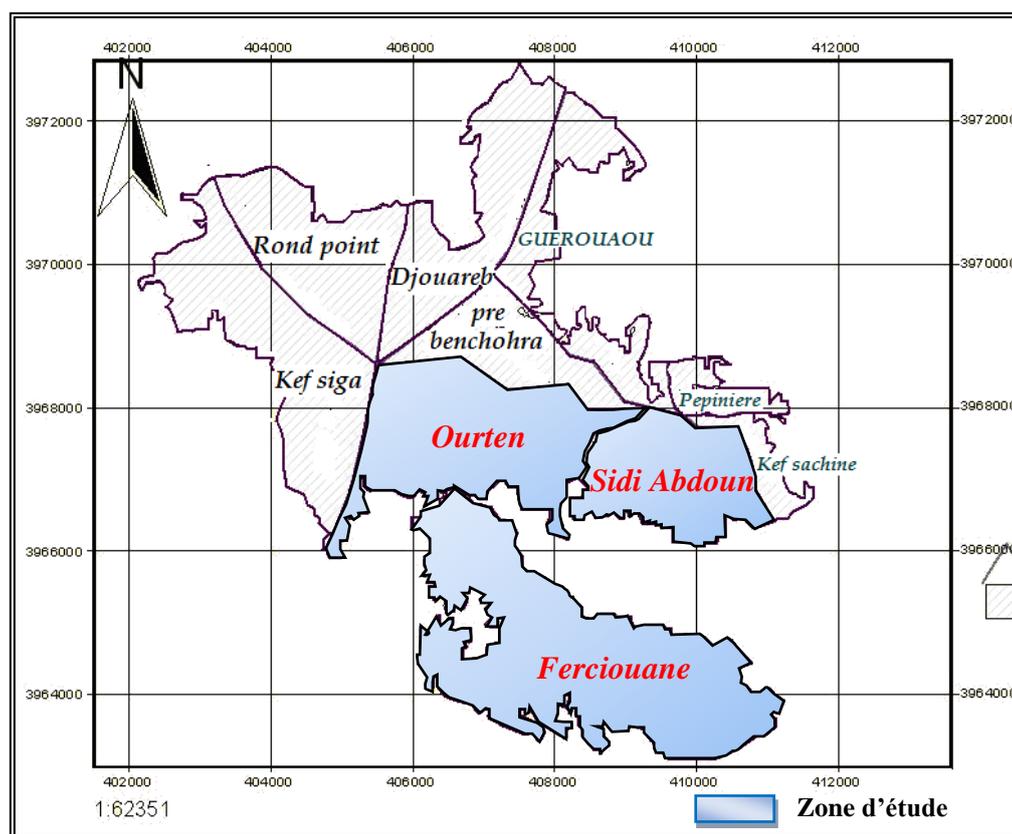


Figure 15 : Délimitation de la zone d'étude (P.N.T.E.H, 2006 modifié)

2.6.1. Composition floristique

La subéraie de Theniet-El-Had se présente sous forme de futaie, taillis ou taillis sous futaie. Ces différences de structure sont façonnées par le passage du feu, manque de régénération, et absence de suivi sylvicole.

Le chêne liège se trouve mélangé aux espèces feuillues du genre *Quercus* (*Quercus ilex* et *Quercus faginea*) et les résineux (*Cedrus atlantica* et *Juniperus oxycedrus*).

La présence du chêne liège en mélange avec le chêne vert est souvent indicatrice de stations sèches où il marque la limite extrême de son aire. Contrairement, l'installation du chêne zeen comme accompagnateur indique une ambiance hydromorphe. Par ailleurs, la présence du chêne liège avec le cèdre de l'Atlas est une curiosité naturelle dans un étage montagnard (Boudy, 1950).

L'analyse floristique réalisée par Sarmoum et al. (2013) révèle la présence d'une flore riche et diversifiée de 157 espèces. Les familles les mieux représentées sont : Astéracées, Poacées et Fabacées. De plus, 50% des espèces recensées présentent un type biologique Thérophyte et 25% sont héli-cryptophytes. Selon Dahmani (1997), la présence des plantes annuelles et le degré d'ouverture des peuplements résulte d'une dégradation du milieu par l'action anthropozoiïque, notamment le pâturage.

Une forte charge du bétail sur les parcours provoque une disparition de la strate herbacée. Ainsi un passage contrôlé et alterné à des périodes de repos, permet un équilibre de la végétation et améliore la composition floristique favorable au pâturage (Thiault, 1982).

De plus, de point de vue phytogéographique, il en ressort que 71.79% des espèces sont méditerranéennes. L'endémisme est estimé à 5.73% (Sarmoum et al., 2013).

La composition floristique de la subéraie est très variable d'un peuplement à l'autre. Les plantes de 1 à 2m de hauteur, souvent pérennes tel que *Asphodelus microcarpa* et *Cistus salvifolius*, présentent une couverture de 25 à 50%. De plus, la strate herbacée est plus riche et plus dense dans le canton Sidi Abdoun que celui d'Ourten (Latrous, 2017).

Le degré de couverture des peuplements et la quantité de lumière incidente influent directement sur la composition des plantes accompagnatrices du chêne liège. En fait, l'analyse des relevés floristiques, réalisés par Latrous (2017), pour la subéraie de Theniet-El-Had montre que, les peuplements clairs sont caractérisés par la présence de plantes héliophiles (*Cedrus atlantica*, *Quercus ilex*, *Juniperus oxycedrus*, *Rosa canina*...etc.). De plus, la strate herbacée est souvent indicatrice de sol sec, siliceux limoneux, d'un pH neutre où les neutrophiles présentent 60% contre 15% pour les acidophiles. En revanche, dans les

peuplements denses installés sur sol neutre à acide et de texture sablo-limoneuse, dominent les plantes à caractère méso-hygrophile et méso-xérophile.

Les figures ci-après permettent de visualiser quelques aspects de cette subéraie.



Figure 16 : Tallis de chêne liège (Canton Ourgane)

(Photo Naggar, 2013)



Figure 17 : Subéraie pure marquée par la présence d'asphodèle indicatrice du surpâturage (Photo Naggar, 2013)



Figure 19 : Subéraie mixte à sous-bois dense (Photo Naggar, 2013)



Figure 18 : Subéraie pure à sous-bois dense (Photo Naggar, 2013)



Figure 20 : Subéraie pure de la retenue collinaire Sidi Abdoun (Photo Naggar, 2013)

2.6.2. Synthèse climatique

L'étude climatique de la forêt de Theniet-El-Had est confrontée à un manque important de données climatiques. Celles qui sont disponibles sont parfois très anciennes, fragmentaires ou même incomplètes. La première série de données est celle de Seltzer (1946) pour la période de 1913 jusqu'à 1938. Sarmoum et *al* (2019) signale que le climat auquel est soumis cette zone, montre une tendance de sécheresse durant les dernières décennies avec une baisse de précipitations de l'ordre de 25%.

Par ailleurs, l'établissement du diagramme ombrothermique de la zone d'étude nécessite une combinaison de données de précipitations et de températures correspondantes (Ozenda, 1982). Cette situation nous impose à utiliser les données de Seltzer (1946) qui sont, certainement, anciennes mais les seules à être complètes.

Ces données allant de 1913 à 1938 sont issues de la station météorologique implantée en ville de Theniet-El-Had à une altitude de 1160m. Cette valeur marque une différence altitudinale de 243 m par rapport à la zone d'étude qui se trouve à une altitude moyenne de 1403m.

Ainsi le diagramme ombrothermique de la zone d'étude se présente comme suit (Figure 21) :

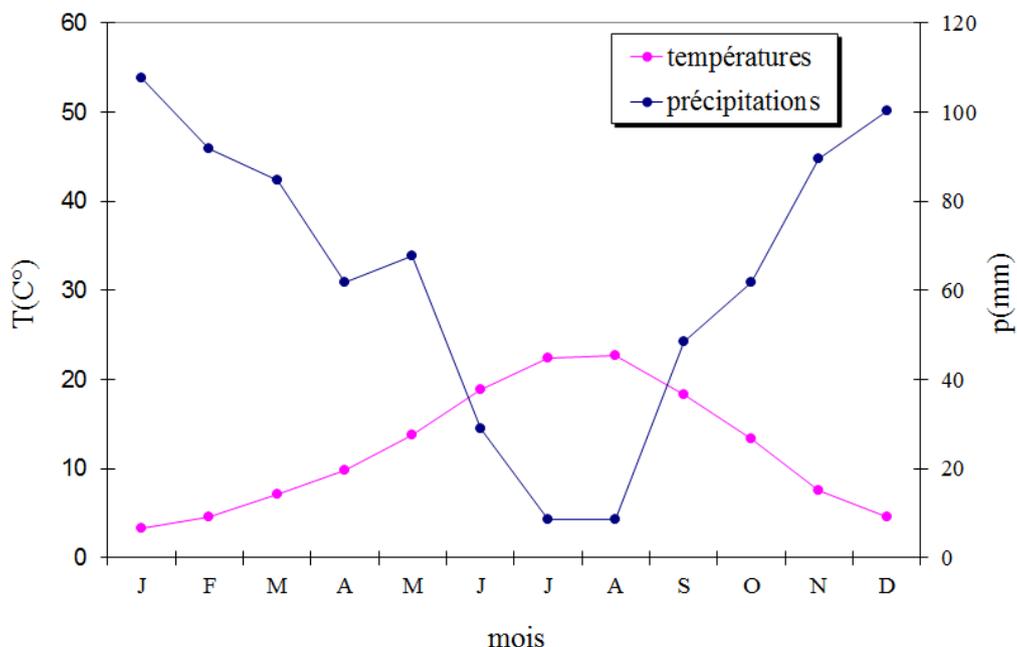


Figure 21 : Diagramme ombrothermique de la zone d'étude selon Seltzer (1946) pour la période 191-1938

La zone d'étude se caractérise, anciennement, par une pluviométrie totale de 760mm et une température moyenne annuelle de 13°C. La période sèche et chaude concentrée entre les mois de juin, juillet et août (variant de 18 à 23°C). De plus la pluviosité est optimale en automne et en hivers (variant de 90 à 101mm). Ce sont des caractéristiques de la région méditerranéenne (Dajoz, 1978 ; SCPID, 2002 ; Bethemont, 2003).

L'étage bioclimatique est dégagé d'une interférence des températures et précipitations. Cette interférence peut être mesurée par un quotient pluviométrique d'Emberger propre à la région méditerranéenne (Ramade, 1981 ; 2003) :

$$Q_2 = \frac{(100 * P)}{(M^2 - m^2)}$$

Où P : précipitation annuelle (mm) ;

M : température maximale du mois le plus chaud ;

m : température minimale du mois le plus froid

Ainsi la zone d'étude présente un $Q_2 = 82.80$ et un $\text{minima} = 1.09^\circ\text{C}$. Le climagramme d'Emberger (Figure 22) montre que le domaine d'étude est soumis à un étage bioclimatique subhumide à hiver frais.

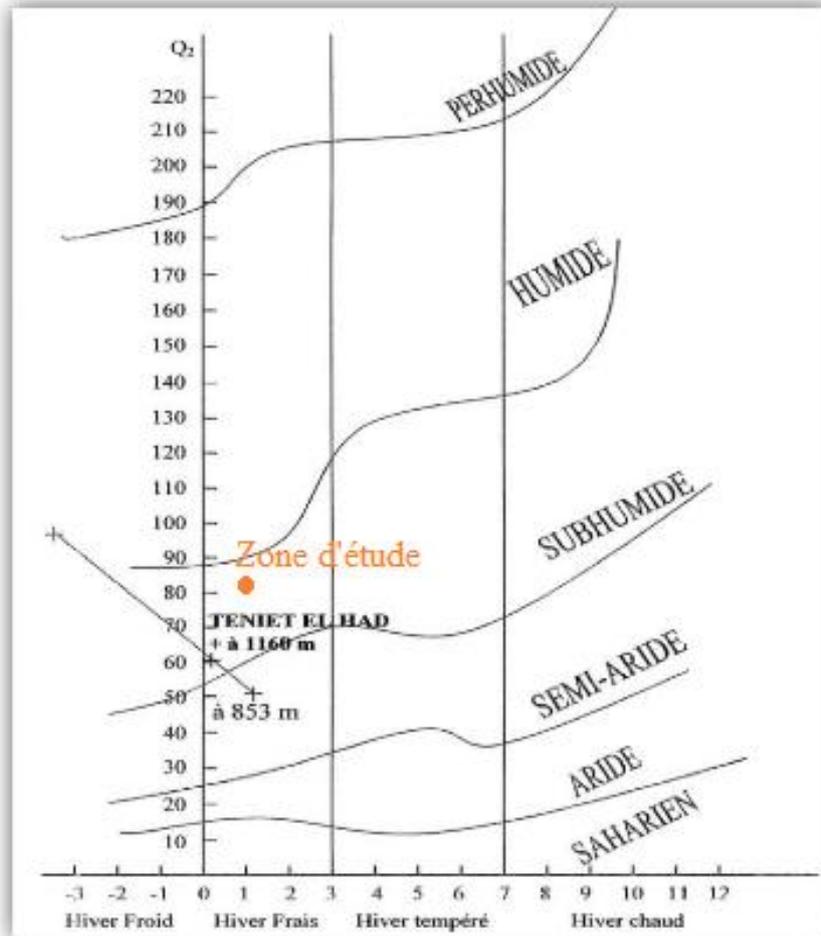


Figure 22 : Localisation de la zone d'étude (versant sud) dans le climagramme d'Emberger

Chapitre III

Matériel et Méthodes

3. Matériel et méthodes

3.1. Echantillonnage

Le choix de la stratégie d'échantillonnage dépend du type de peuplement à observer ainsi que de sa surface (Rondeux, 1999 ; Mcelhaw, 2001 ; Lecomte et Rondeux, 2002). Dans nos conditions de travail, l'étagement altitudinal des divers peuplements forestiers, leur répartition discontinue et leur hétérogénéité structurale, nous ont imposé le principe d'échantillonnage dirigé en se basant sur la localisation du chêne liège qui constitue visiblement un peuplement pur ou dont la proportion constitue moins de 60% des mélanges dans le cas des peuplements mixtes (Figure 23).

L'unité d'échantillonnage retenue est une placette circulaire de 5 ares (un rayon de 12,62m) contenant au moins 10 à 12 tiges (Duplat et *al.*, 1981). Elle ne présente pas de direction privilégiée ; elle est donc particulièrement objective et facile à délimiter (Gounot, 1969 ; Palm, 1977 ; Rondeux, 1999 ; Richter, 2001 ; Claissens et *al.*, 2002 ; Rondeux, 2002_b)

Au total, 77 placettes à chêne liège (CL) ont été installées et inventoriées durant les années 2012 et 2013. D'autres essences rencontrées dans les placettes, à travers les unités d'échantillonnages, ont été recensées et mesurées. Il s'agit du chêne zeen (Z), chêne vert (V) et cèdre de l'Atlas (CA).

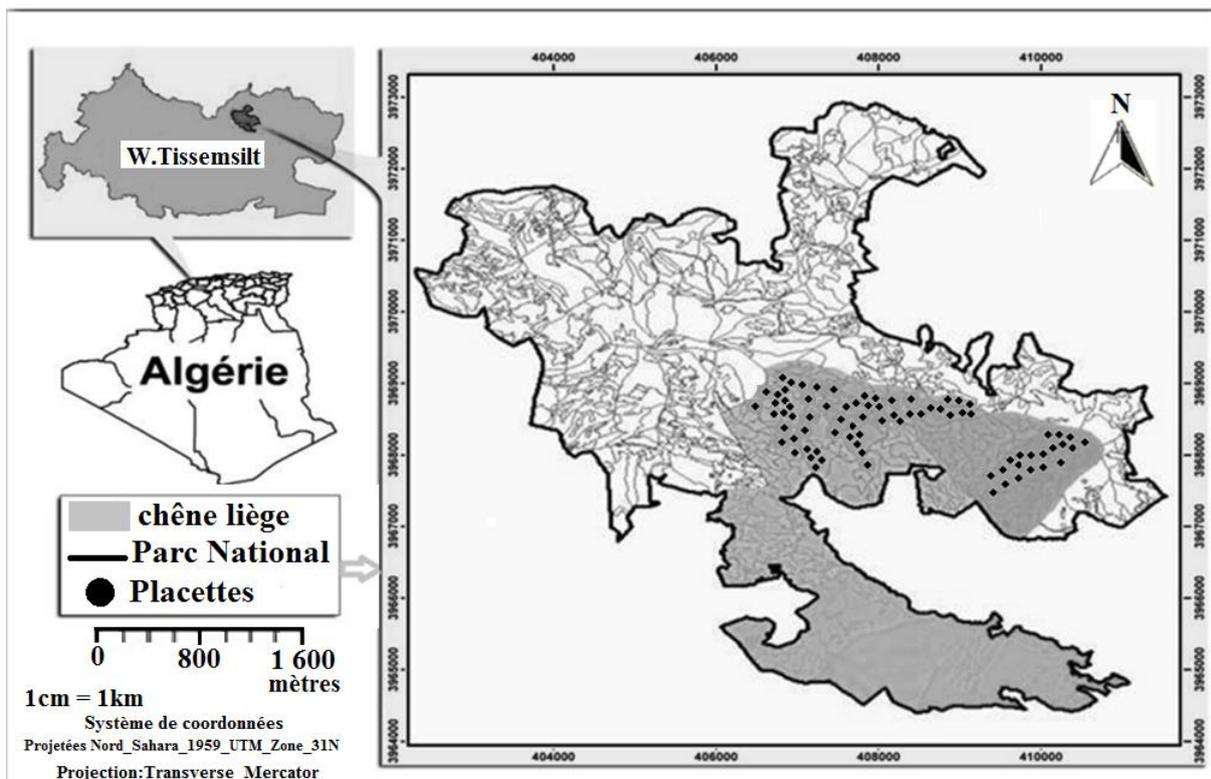


Figure 23 : Localisation des placettes d'étude

3.2. Données milieu physique

Chaque placette a été délimitée par la mire de Pardé et le dendromètre Blûme-Leiss (Palm, 1977 ; Pardé et Bouchon, 1988 ; Rondeux, 1999) ; elle a fait l'objet d'une description détaillée des conditions du milieu dans lesquelles évoluent les peuplements inventoriés. La station forestière est une étendue de surface variable, homogène dans ses conditions physiques et biologiques (topographie, structure de la végétation, sol, etc.). Un arbre est ainsi soumis à des facteurs stationnels agissant sur sa croissance (Becker et Goff, 1988 ; Prevosto, 1999 ; Baix et *al.*, 2002). La mise en évidence des facteurs stationnels permet une appréciation de l'état actuel et rétrospective d'une essence. Cette conception analytique demeure le prélude de toute gestion forestière lors de la prise de décision dans le cadre du développement durable. L'altitude, la pente, l'exposition et le type de relief sont les principaux facteurs pris en compte. L'intérêt de tel choix trouve son origine dans le but de rechercher les éventuelles interactions entre le peuplement (caractérisé par des grandeurs moyennes) et les conditions écologiques dans lesquelles il se développe (Lecomte et Rondeux, 2002 ; Michelot et *al.*, 2013).

L'altitude et les coordonnées géographiques sont prélevées au niveau des placettes d'étude par le biais d'un GPS ; par contre l'exposition est prélevée par une boussole forestière. La pente du terrain influe les modalités d'infiltration et de rétention de l'eau par le sol. Elle est mesurée par un Blume-Leiss (Hammache et *al.*, 1994).

L'observation du paysage permet de distinguer différentes positions topographiques. Ces situations sont décrites selon un indice topographique et sont classées en 4 niveaux différents (Masson, 2005b). Plus l'indice est élevé et plus la position est favorable à l'accumulation d'eau (Figure 24) :

- * Topo1 : les pertes latérales d'eau sont supérieures aux apports ;
- * Topo2 : les apports d'eau sont nuls ou égaux aux pertes d'eau par drainage ;
- * Topo3 : l'eau circule plus lentement à ce niveau, ce qui constitue une situation favorable
- * Topo4 : situation hydrique est exceptionnellement favorable.

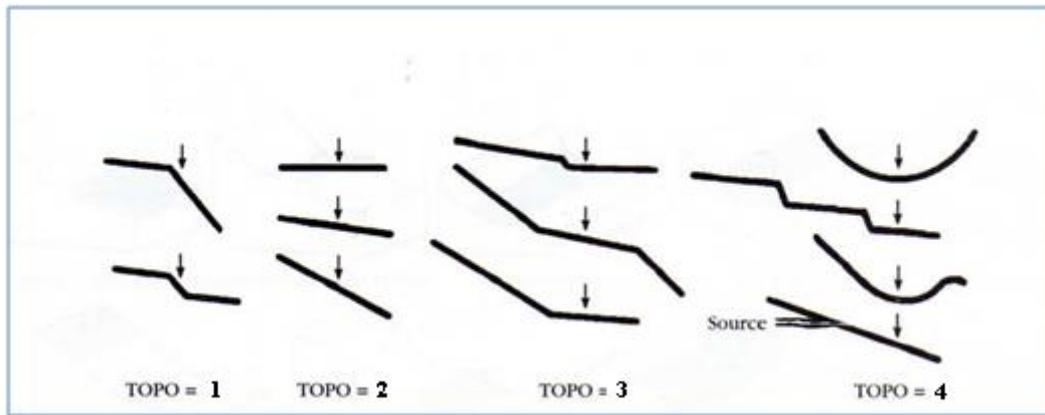


Figure 24 : Situation topographique décrite selon un indice topographique

(Masson, 2005b)

De plus, les conditions pédologiques sont présentées par la variable profondeur maximale du sol obtenue par des tests tarières. Elle correspond à la moyenne des profondeurs classée en 3 catégories (Richard, 1988) : superficiel (inférieur à 30cm), assez profond (de 30 à 60 cm) et profond (supérieur à 60 cm).

Enfin, des relevés complémentaires jugés utiles ont été effectués car ils peuvent avoir un réel intérêt lors de discussion des résultats. Il s'agit en effet, de la régénération du chêne liège, le taux de recouvrement pierreux (indicateur de profondeur du sol).

3.3. Données récoltées

3.3.1. Données dendrométriques et descriptives des arbres

L'arbre est considéré comme l'unité élémentaire à l'intérieur des peuplements. Sa description permet de voir sa réponse à l'intérieur du peuplement pour différentes modalités sylvicoles et environnementale (Boudru, 1989).

L'ensemble des tiges recensées au sein des unités d'échantillonnage font objet des mesures suivantes : circonférence à 1.30m, hauteur totale des tiges, longueur des fûts.

La mesure de la circonférence sur écorce se fait par un mètre ruban, à une hauteur de 1.30m à partir du sol (Rondeux, 1999 ; Massenet, 2009).

Dans le cas du chêne liège, la circonférence est considérée sous écorce (Figure 25). Calculée à partir de la formule suivante (Saccardy, 1937) :

$$\text{Circonférence sous liège} = \text{Circonférence sur liège} - (2 \times \pi \times E) \dots\dots(1)$$

$$\text{Ou dans le cas du diamètre : } d = \frac{C}{\pi} - 2 * E \dots\dots(2)$$

Où : E est l'épaisseur du liège

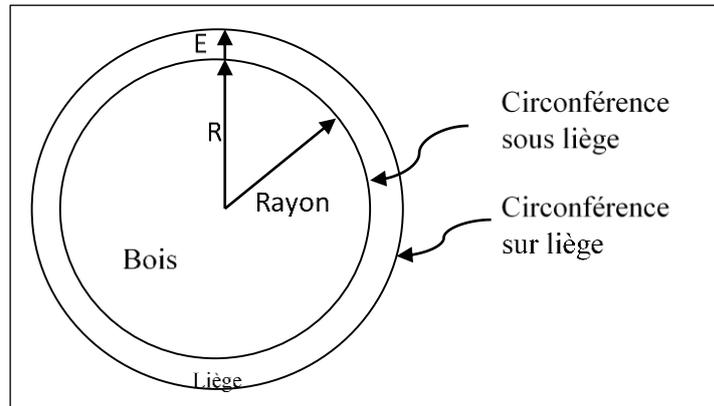


Figure 25 : Circonférence sur liège et sous liège dans une section transversale d'une tige

Les recommandations illustrées dans la figure 26 y sont soigneusement respectées.

Par ailleurs la mesure de la circonférence à 1.30m permet le calcul de la surface terrière de la tige (section de l'arbre à 1.30m) :

$$g = C^2/4\pi \quad (\text{m}^2) \text{ (Rondeux, 1999).....(3)}$$

Où : g : surface terrière tige ;
C : circonférence à 1.30m

La hauteur totale des tiges désignée comme étant la distance verticale séparant le pied de l'arbre de son bourgeon terminal ; est mesurée par le Blume-leiss. Ce dendromètre permet la mesure des longueurs de futs et de houppiers (Massenet, 2005 ; Massenet, 2011) .

De plus, les tiges font objet d'appréciation variées : rectitude de troncs et exploitation du liège, élagage naturel, fructification et symétrie du houppier.

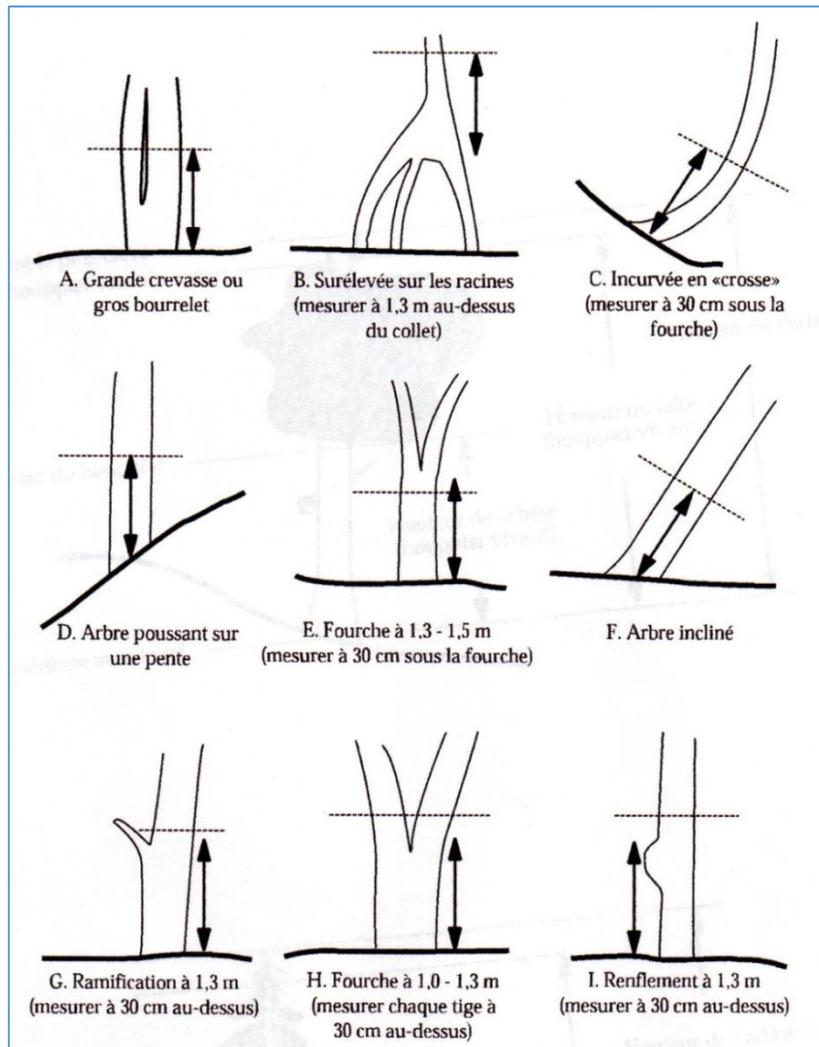


Figure 26 : Recommandations à suivre lors de mesures de la circonférence à 1.30m

(DNARPA, 1995)

Par ailleurs, un peuplement forestier est une population formée d'individus de vitalité différente dont la croissance notamment en hauteur, est variable. Les cimes ne sont pas exactement cantonnées dans un même niveau, c'est ainsi que se forme les étages. La position sociale au sein d'un peuplement détermine les chances de développement des individus. Elle joue donc un rôle important en sylviculture (Boudru, 1989 ; Schutz, 1990 ; Gaudin, 1997a) :

- * Prédominant : dépassant nettement par sa stature le niveau supérieur du couvert. Sa croissance est indépendante de la densité du peuplement ;
- * Dominant : arbre dont la cime atteint la partie supérieure du couvert. Il présente une bonne croissance en hauteur avec un houppier symétrique ;

- * Codominant : arbre dont la cime atteint la partie supérieure du couvert mais l'extension de son houppier est asymétrique. Il est donc moins vigoureux et moins équilibré que le dominant ;
- * Intermédiaire : arbre n'atteignant plus la partie supérieure du couvert, mais qui est en contact avec les dominants et codominants ;
- * Dominé : arbre dont la cime n'est plus en contact avec la strate principale du peuplement et dont le sommet est surpassé en tout cas par une branche d'un autre arbre.

Les mesures prélevées sur terrain (circonférence à 1.30m, hauteur totale, longueur de fûts, hauteur d'écorçage, épaisseur d'écorce) seront regroupées en classes de grandeurs (Rondeux, 1999).

La description qualitative a porté sur la rectitude des troncs, élagage naturel, fructification et symétrie de houppiers. Ces données seront regroupées et présentées sous forme de fréquences relatives.

Afin d'apprécier l'élagage naturel des tiges, Boudru (1989) détermine le rapport entre la hauteur totale des tiges et la hauteur de leur houppier. Souvent, dans une forêt jardinée, les houppiers sont plus longs et larges que dans les forêts régulières.

Ainsi, ce rapport se détermine comme suit :

- * Si le rapport est inférieur à 40% : l'élagage est bon ;
- * Si le rapport oscille entre 40 et 60% : l'élagage est moyen ;
- * Si le rapport est supérieur à 60% : l'élagage est mauvais.

3.3.2. Données structure des peuplements et typologie

D'un point de vue dendrométrique, un peuplement peut être caractérisé par des grandeurs moyennes (circonférences moyennes, hauteurs totales moyennes...) ou ramenés à l'unité de surface (surface terrière totale, volumes...). La détermination de ces grandeurs et leur mode de répartition constitue un élément clé dans la précision de la structure d'un peuplement (Rondeux. 1999).

Les paramètres dendrométriques pris en compte dans cette étude sont les suivants : i) circonférence moyenne, ii) circonférence dominante, iii) hauteur totale moyenne, iv) hauteur totale dominante. En plus, nous avons déterminé i) densités et ii) surface terrière totale.

En ce qui concerne la densité des peuplements, le nombre de pieds inventoriés par unité de surface de la placette est rapportée à l'hectare (Rondeux, 1999). La surface terrière d'un peuplement de la placette est la somme des surfaces terrières de tiges de chêne liège ramenées à l'hectare (Pardé et Bouchon, 1988 ; Gaudin, 1996) selon la formule 4 :

Par ailleurs, la surface terrière d'un peuplement est la somme des surfaces terrières de tiges de chêne liège (Pardé et Bouchon, 1988 ; Gaudin, 1996 ; Rondeux, 1999) :

$$G = \sum C^2/4\pi \quad (\text{m}^2/\text{ha})\dots\dots(4)$$

A cela s'ajoute le calcul de la hauteur dominante. C'est la hauteur moyenne relative au peuplement, mais qui concerne une catégorie de bois, parmi les plus gros. C'est en fait, la moyenne des hauteurs totales des 100 plus gros arbres par hectare. Il en est de même pour la circonférence dominante (Decourt, 1973 ; Pardé et Bouchon, 1988 ; Rondeux, 1999).

La hauteur dominante donne une bonne expression de la croissance des peuplements et est peu sensible à l'intensité d'éclaircies. De ce fait, la hauteur dominante reflète mieux la fertilité stationnelle et constitue un bon indice de productivité (Becker et Goff, 1988 ; Dagnelie *et al.*, 1988 ; Rondeux, 1999 ; Thibaut *et al.*, 2002 ; Sánchez-González *et al.*, 2010)

Dans les peuplements irréguliers, la seule détermination de circonférences ou diamètres moyens ne suffit pas. En fait, il est indispensable de déterminer la répartition des diamètres en petit bois, bois moyen, gros bois et très gros bois. Ces catégories sont définies, pour les feuillues comme suit (Lombardini *et al.*, 2005) :

- * G : gaules, dont le diamètre est inférieur à 7.5 cm ;
- * P : perches dont le diamètre varie de 7.5 à 17.5 cm ;
- * PB : petits bois, correspondant à des diamètres de 17.5 à 27.5 cm ;
- * BM : bois moyen, correspondant à des diamètres de 27.5 à 42.5 cm ;
- * GB : gros bois, correspondant à des diamètres de 42.5 à 62.5 cm ;
- * TGB : très gros bois, correspondant à des diamètres supérieurs à 62.5 cm.

Ce sont des données de base pour l'élaboration d'une typologie des subéraies de Theniet-El-Had. Selon Gaudin (1997b ; 2015), la typologie est outil de gestion permettant de nommer efficacement, sur la base de données simples (catégories de bois, densité, surface terrière), les types de peuplements grâce à un langage commun de description du capital sur pied.

Une bonne connaissance de la composante du matériel sur pied permet au forestier d'adopter le mode de gestion le plus adéquat et d'appliquer des opérations sylvicoles plus efficaces. La

typologie est valable pour les peuplements sains, ainsi que ceux incendiés (Chollet et Kuus, 1998 ; Gaudin et Jenner, 2001 ; Gaudin et Theisen, 2005 ; Ghalem, 2006 ; Guillaume, 2006 ; Letreuch-Belarouci et *al.*, 2009, Larouche, 2014). Elle a pour objectifs : i) d'homogénéiser la description des peuplements, ii) adopter une clé de détermination simple et rapide, iii) aboutir à des types discriminants pour orientation d'aménagement et sylvicoles, iv) proposer un vocabulaire commun aux forestiers et aux gestionnaires (Chollet et *al.*, 2000 ; Deportes, 2004 ; ONF, 2004 ; Gaudin et Theisen, 2005).

Les méthodes d'élaboration d'une typologie sont assez nombreuses (manuelles et statistiques). Elle est constituée de trois composantes : fiche de description pour chaque type de peuplement, clef de détermination et dynamique des types (Gaudin, 1997b)

Face à un manque de cartes de délimitation et de composition, par type peuplements de Theniet-El-Had, il est impératif de commencer en premier lieu par une typologie structurale des peuplements.

Dans le cadre du présent travail, le paramètre structure typologique des peuplements des placettes retenu est la fréquence relative des différentes catégories de bois. Mais, elle est mieux caractérisée sur la base de la dominance d'une ou de deux types de ces bois (ODARC, 2002).

Les différentes techniques permettant la caractérisation de la structure des peuplements de chêne liège relevant de la zone d'étude, sont détaillées ultérieurement dans la rubrique traitement statistique.

3.3.3. Données état sanitaire

L'évaluation sanitaire consiste à observer les différentes parties d'arbres-échantillons. L'aspect de la cime est le critère le plus souvent pris en compte, voire parfois le seul dans l'appréciation de la vitalité des arbres forestiers (Becker, 1987).

De ce fait, les observations sanitaires des arbres inventoriés ont été portées essentiellement sur l'état des houppiers. L'analyse de ces houppiers consiste à une recherche de symptômes et signes de faiblesses telles que la coloration anormale, le dessèchement des feuilles, les pertes foliaires et les attaques d'insectes (Garrec et *al.*, 1991).

La perte foliaire et le dessèchement des feuilles sont les principaux symptômes pris en considération. Ils sont notés par rapport à un arbre de référence supposé sain, sans déficit

foliaire et possédant un houppier normal (morphologie, architecture et densité du feuillage normal) (Bouhraoua, 2003).

Il est à signaler que la perte foliaire désigne l'absence des feuilles dans la partie fonctionnelle de la cime (D.S.F., 1991). Par ailleurs, le dessèchement des feuilles désigne leurs morts encore attachées à l'arbre et leur chute s'effectue en quelque temps. Donc ce dessèchement constitue une perte foliaire potentielle d'où la notion du déficit foliaire qui, dans le cadre de cette étude, regroupe l'estimation de la perte foliaire et du dessèchement des feuilles :

$$DF = \text{déficit foliaire réel} + \text{déficit foliaire potentiel}$$

En vue de faciliter l'estimation de la proportion du déficit foliaire, l'emploi de jumelles est préconisé surtout pour les arbres hauts.

La notation en pourcent du déficit foliaire repose sur l'examen du houppier découpé en quatre zones homogènes. Les différentes notes sont regroupées en 4 grandes classes de déficit foliaire (D.S.F, 1991 ; Nageleisen, 2002 ; Bouhraoua, 2003). Les différentes classes sont consignées dans le tableau 04.

Tableau 04 : Classes de déficit foliaire et les catégories sanitaires correspondantes

Classes	Proportion du feuillage perdu	Signification des classes	Catégories sanitaires
C1	> 25%	Arbre non ou faiblement défolié	Arbre sain
C2	30 - 60%	Arbre modérément défolié	Arbre affaibli
C3	65 – 95%	Arbre fortement défolié	Arbres dépérissant
C4	>95%	Arbre mort ou sec	Arbre mort

Ainsi un déficit foliaire jusqu'à 25% correspond à un seuil où l'arbre est désigné sain. En fait, la variabilité de l'état des cimes peut être due à plusieurs facteurs tels que l'altitude, type de versant, l'âge, stade de développement, la densité, la concurrence apicale des arbres et les pratiques sylvicoles (Landmann, 1994).

La représentation schématique ci-dessous (Figure 27) illustre le protocole de notation d'arbres échantillons.

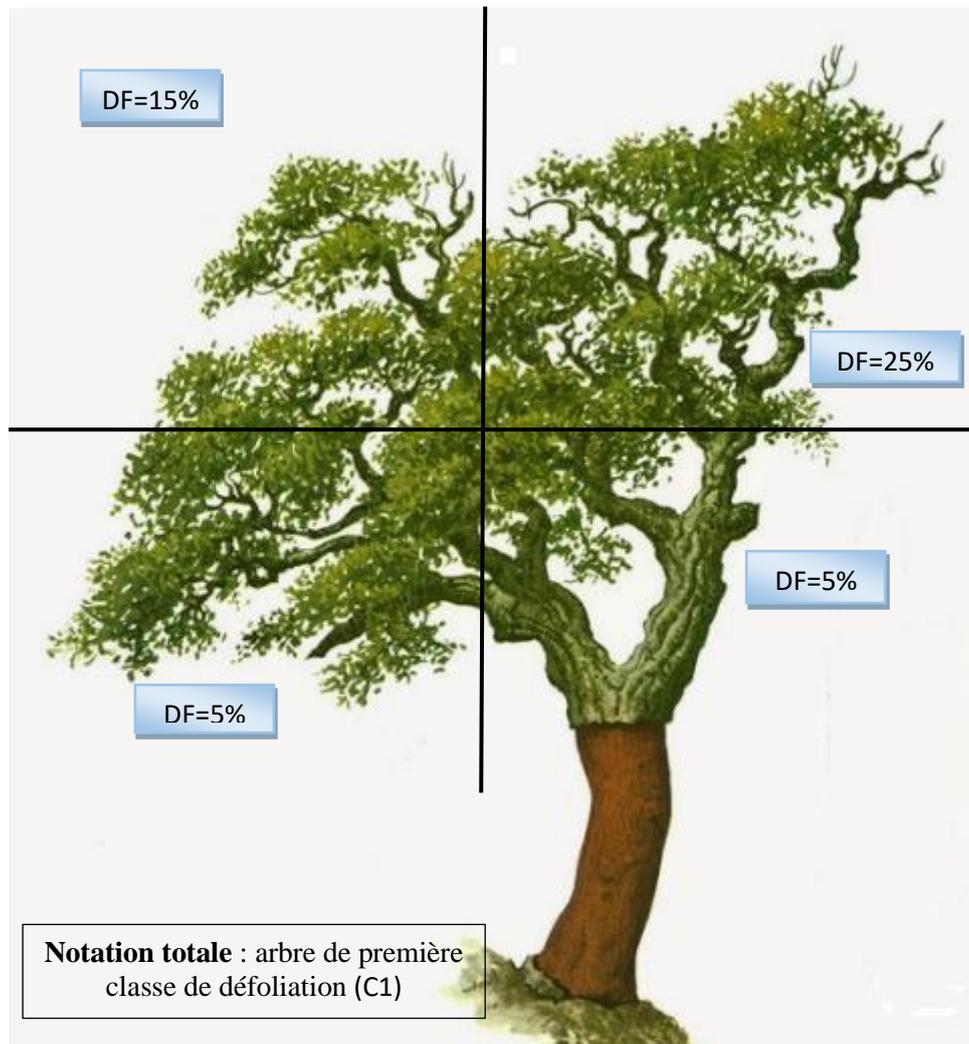


Figure 27 : Protocole de notation du déficit foliaire

A l'échelle de la placette, l'état sanitaire général est évalué par l'indice de santé (IS). Il est calculé à partir du déficit foliaire de l'ensemble des arbres inventoriés pris individuellement. Cet indice a été déjà adopté par Bouhraoua (2003) et Bouhraoua et Villemant (2005) dans l'étude de l'état sanitaire du chêne liège. Il est déterminé par la formule suivante :

$$IS = \frac{(n_1P1) + (n_2P2) + (n_3P3) + (n_4P4) + (n_5P5)}{N} \dots (5)$$

Où n_i : nombre d'arbres de la classe "i" ;
 P_i : Poids de la classe "i" (1 si $i = 1$, 2 si $i = 2$, etc.) ;
 N : effectif total d'arbres observés dans la placette.

En conséquence, cette formule ne prend en considération que les classes de déficit foliaire, étant donné que la manifestation sanitaire visible des arbres réside dans l'absence des feuilles que dans leur décoloration (Bonneau et Landmann, 1988 *in* Bouhraoua, 2003). Ainsi,

les valeurs de l'indice sont situées à quatre niveaux de santé allant des peuplements sains aux peuplements déperissants.

Les différents niveaux sanitaires sont présentés dans le tableau 05 (Bouhraoua et Villemant, 2005) :

Tableau 05: Principales catégories sanitaires des peuplements de chêne liège

Indice de santé	Statut sanitaire ou catégorie de dépérissement des peuplements
IS < 1.6	Peuplements sains
1.6 < IS < 2.00	Peuplements affaibli
2.01 < IS	Peuplement en dépérissement

3.3.4. Données échantillons plaques de liège et cycle de production

Les arbres inventoriés sont répartis en deux catégories : les sujets non exploités recouverts encore de liège naturel et les sujets exploités portant le liège de reproduction (n=379). Cette dernière catégorie d'arbres (près de 50% de l'effectif total) a fait l'objet de mesures d'épaisseur de liège, d'hauteur d'écorçage et de nombre d'exploitations précédentes.

L'épaisseur du liège est la moyenne des mesures prises aux 4 points cardinaux, par le biais d'une jauge à écorce. La mesure est faite à une hauteur de 1.30 m du sol (Massenet, 2010).

Pour un même arbre, l'épaisseur de liège n'est pas constante sur toute la surface du tronc. Elle est plus importante dans la partie basale du tronc que vers la couronne (Saccardy, 1938 ; Massenet, 2010).

La hauteur d'écorçage est mesurée par un mètre ruban, elle est souvent visible depuis la dernière récolte. Elle détermine la surface génératrice, et intervient dans la production de liège suite à son augmentation ou diminution. Théoriquement, il existe pour chaque arbre ou peuplement, une hauteur adéquate permettant une meilleure production (Saccardy, 1938 ; Evora et Merida, 2005 ; Pereira, 2011)

La hauteur d'écorçage, proportionnée à la circonférence sur-écorce à 1.30 m détermine le coefficient d'écorçage. Ce dernier varie comme suit :

- * 1.5 pour un arbre de végétation médiocre ;
- * 2 pour un arbre de végétation moyenne ;
- * 2.5 pour un arbre de végétation vigoureuse.

L'estimation de la quantité de liège fournie par les arbres et les peuplements en fin de cycle de production commence par la détermination de la durée de ce cycle fournissant une

épaisseur commerciale adaptée à la fabrication de bouchons. Pour cela, un échantillonnage a été effectué et consiste à extraire sur deux à trois arbres de chaque placette des plaques de liège (calas) à hauteur de 1,30 m avec des dimensions de 10 x 10 cm² dans la même orientation nord lors de la récolte du liège (Caritat et *al.*, 2000) comme le montre la figure 28. Il convient de signaler que ces dimensions peuvent varier selon les auteurs de 15 x 15cm² à 40 x 40 cm² (Ferreira et *al.*, 2000 ; Costa et *al.*, 2002, Prades et *al.*, 2010 ; Pizzurro et *al.*, 2010). Selon Taco et *al.* (2003), un échantillonnage à ce niveau est représentatif du fait que l'épaisseur moyenne du liège est très proche de celle de la planche prélevée.



Figure 28 : Extraction des échantillons de liège

(Photo Naggar, 2013)

Au total, 125 échantillons ont été prélevés. Ces échantillons ont été bouillés pendant une heure dans l'eau à 100°C suivant la pratique industrielle de préparation du liège (Ferreira et *al.*, 2000). Le bouillage permet d'accroître le volume du liège dans une proportion de 10 à 30% et par conséquent une diminution de sa densité (Saccardy, 1937).

Les échantillons ont été par la suite séchés à l'air libre pendant plusieurs jours jusqu'à l'équilibre. L'humidité des plaques de liège séchées à l'air était en moyenne de 7 % selon Ferreira et *al.* (2000). Une fois séchés, les quatre côtés des échantillons ont été soigneusement poncés à l'aide d'une ponceuse pour rendre les cernes plus visibles (Ferreira et *al.*, 2000, Pereira, 2011).

Il est à signaler que, la variable épaisseur liège a été considérée après le bouillage et non pas avant car cette dernière s'est révélé plus importante dans la sélection des modèles prédictifs de l'épaisseur et du poids du liège (Ribeiro et Tomé, 2002 ; Paulo et Tomé, 2010)

L'estimation de la quantité de liège fournie par les arbres et les peuplements en fin de cycle de production commence par la détermination de la durée de ce cycle de production fournissant une épaisseur commerciale adaptée à la fabrication de bouchons. Pour cela, une épaisseur de référence de 30 mm sur écorce est retenue (González-Adrados et *al.*, 2000 ; Paulo et *al.*, 2011).

Plusieurs paramètres ont été mesurés au niveau de chaque plaque de liège : i) épaisseur sur croûte sur les 4 côtés (mm), ii) surface (m^2) et iii) poids sec (kg). Ceux –ci ont permis le calcul du poids du liège produit par unité de surface d'écorçage ($kg.m^{-2}$) et la masse volumique du liège ($kg.m^{-3}$).

L'âge de chaque échantillon de liège a été estimé par le dénombrement des cernes subéreux au moyen d'un outil de dendrochronologie, Lintab5 (Figure 29). La largeur de ces cernes a été mesurée à deux endroits sur chacune des deux sections transversales. Seuls les résultats des accroissements annuels complets ont été pris en compte, en excluant les deux accroissements incomplets (le 1^{er} et le dernier) correspondant aux années de récolte auxquels s'ajoute l'épaisseur de la croûte. Si un échantillon offre « n » anneaux distincts, il est donc âgé de $(n-1)$ années (Saccardy, 1937 ; Natividade, 1956 ; Pereira, 2011).

Une partie des mesures des échantillons a été réalisée au laboratoire de recherche de Foresterie à Tlemcen, et le reste à l'Université Huelva (Espagne) et à l'INRF d'Azazga (Tizi Ouzou).

L'ensemble des échantillons est classé en catégories de liège selon l'épaisseur totale atteinte en fin de cycle de production (Pereira, 2007) :

- * Flotte (< 22mm)
- * Mince (22-27 mm) ;
- * Juste (27-32 mm) ;
- * Régulier (32-40 mm) ;
- * Epais (> 40 mm).

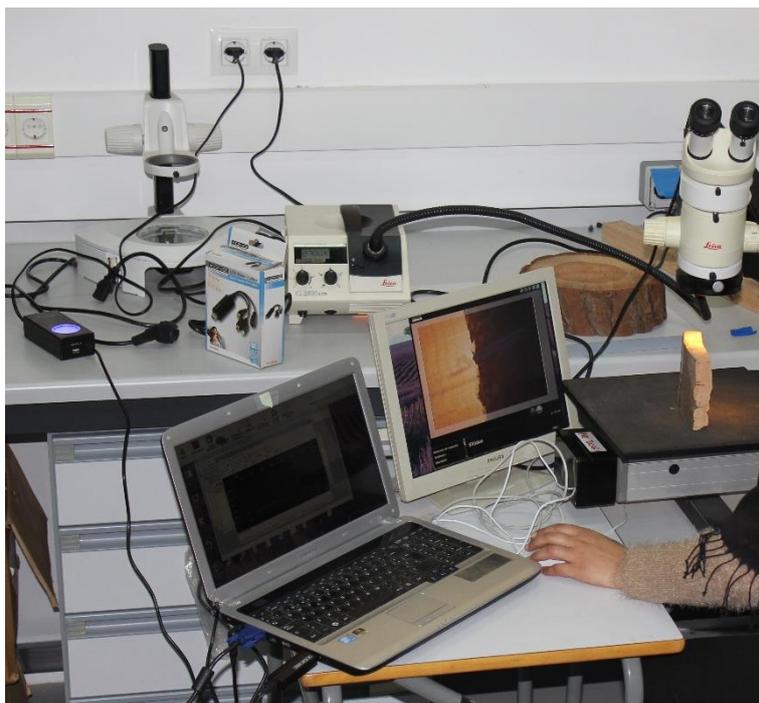


Figure 29 : Mesure d'accroissements d'un échantillon de liège par Lintab 5

(Université Huelva, Photo Naggar, 2015)

Par ailleurs, les accroissements moyens obtenus sont classés, comme le montre le tableau 06, par type permettant de situer le rythme de croissance des échantillons plaques de liège.

Tableau 06 : Principales classes d'accroissement moyen et type de liège correspondant (Lamey, 1893)

Classes	Limites d'accroissement	Type d'accroissement
1	0.8 – 1.5 mm	Faible
2	1.51 – 2 mm	Moyen
3	2.1 – 3 mm	Rapide
4	> 3mm	Très rapide

Par ailleurs, les subéraies relevant du Parc National de Theniet-El-Had sont confrontées à un manque de données climatiques. Cela rend l'étude de la croissance du liège en rapport avec les variations climatiques difficile. Cependant, il est possible de détecter le degré de sensibilité des cernes annuels du liège aux variations climatiques par le biais d'un indice de sensibilité moyenne (SM). Selon Fritts (1976) ce coefficient définit une variation moyenne entre deux épaisseurs successives, suivant la formule suivante :

$$SM_x = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n-1} \left| \frac{2(x_{t+1} - x_t)}{x_{t+1} + x_t} \right|$$

Où : n = nombre de cernes pour chaque chronologie ; x = épaisseur cerne de l'année t

La sensibilité moyenne exprime l'importance des changements climatiques à court terme affectant l'épaisseur des cernes annuels. Ainsi, il varie de 0, pour deux cernes successifs égaux, à 2 pour lorsque l'un des deux est nul Fritts (1976). La sensibilité moyenne est calculée pour chaque chronologie (ensemble des échantillons), ainsi que pour la courbe maitresse ou moyenne.

3.3.5. Données rendement des arbres et production des peuplements

L'étude du rendement et de la production en liège des peuplements est soumise à deux conditions précises. La première consiste à retenir uniquement les placettes suffisamment représentatives. En fait, pour qu'elle soit retenue, une placette doit contenir au minimum dix tiges de chêne liège et que la proportion de ce dernier dépasse 80% des mélanges dans le cas des peuplements mixtes. La deuxième condition est qu'un minimum de trois arbres doivent être déjà écorcés précédemment et portant un liège suffisamment épais (11 ans et plus). Cela permet d'harmoniser les calculs du rendement et rend la comparaison entre placettes (peuplements) possible. Par conséquent, cette partie du travail est réalisée sur la base de 53 placettes seulement.

La production de liège fournie par un arbre moyen sur pied et celle par un peuplement ont été déterminées à partir des formules simples anciennement proposées par Lamey (1893) et Saccardy (1937) pour le liège Algérien et par d'autres auteurs pour le liège ibérique (Lombardero et Montero, 1980 ; Montero et *al.*, 1996 ; Sánchez-González et *al.*, 2005). Elles sont calculées à partir de la surface d'écorçage, la circonférence sur liège, l'épaisseur du liège et la hauteur d'écorçage. La surface d'écorçage (SE) de la planche (m^2) est calculée à partir de la formule suivante :

$$SE = (C - 2\pi \cdot E) \cdot HE \dots (6)$$

Où : C : circonférence sur liège (m), E : épaisseur du liège (m) et HE : hauteur d'écorçage (m)

Les potentialités productives du liège liées aux conditions du milieu ont été déterminées par le biais de deux paramètres : le rendement des arbres (R_n : kg) et la production du peuplement (P_n : $kg \cdot ha^{-1}$).

3.3.5.1. Données rendement des arbres

Le rendement (kg) de liège fournit par un arbre sur une rotation de ' n ' années, est tiré de la formule suivante :

$$Rn = 1.5 (C - 2\pi \cdot En)^2 \cdot \rho \dots (7)$$

Où

C et E sont des variables indiquées précédemment ;

En : épaisseur moyenne cumulée du liège (convertie en mètre) atteinte durant 'n'années d'accroissements complets ;

ρ : masse volumique du liège ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$),

Dans cette étude, nous avons retenu un coefficient d'écorçage minimal de 1.5 (Boudy, 1950), étant donné que le chêne liège se trouve dans un Parc National (aire protégée).

3.3.5.2. Données production des peuplements

La production du liège (P_n : kg) du peuplement atteinte en 'n'années d'accroissements est estimée sur la base du rendement moyen des arbres de la placette (R_p : kg) et la densité du peuplement (N_t : tiges. ha^{-1}). Elle est donnée par la formule suivante

$$P_n = R_p * N_t \dots (8)$$

La productivité annuelle des peuplements (P_v : $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}$) est donnée par le rapport entre la production totale et le nombre d'années du cycle.

3.4. Traitement statistique

L'ensemble des paramètres mesurés et calculés ont subi des traitements statistiques variés permettant de cerner le mieux la source de variabilité des variables utilisées.

Ainsi, dans une première étape, la croissance des arbres et peuplements de chêne liège, caractérisée par des grandeurs moyennes, est influencée par les facteurs du milieu. L'analyse de la variance à un seul facteur permet de mesurer l'ampleur de cette influence. Il en est de même pour l'état sanitaire, épaisseur de liège, rendement des arbres et productivité des peuplements.

De plus, la structure d'un peuplement peut être décrite via une indication sommaire de la répartition du volume sur pied en trois grandes classes de diamètre (Schutz, 1997 *in* Larouche, 2014). Ce diagramme à trois entrées, communément appelé 'triangle des structures', dans lequel sont intégrés les proportions relatives de chacune des catégories de bois (PB, BM et GB). Cette représentation graphique facilite l'approche dynamique de l'évolution des peuplements (Larouche, 2014)

Parmi les analyses permettant une élaboration d'une typologie structurale des peuplements, Gaudin (1997b) mentionne l'analyse des composantes principales (ACP) qui détecte les relations linéaires entre les individus ou les variables

Par ailleurs, l'analyse factorielle ne peut contribuer, à elle seule, à l'élaboration de typologies. Des outils de classification automatique peuvent être utilisés conjointement à l'analyse factorielle telle que la classification hiérarchique. Cette dernière permet de maximiser la variance inter-classe et minimiser la variance intra-classe (Gaudin, 1997a)

Par conséquent, dans le cadre du présent travail, le paramètre de structure retenu est la fréquence relative de chacune des catégories de diamètre des arbres répartis en Gaulis (G), petits bois (PB), bois moyen (BM), gros bois (GB) et très gros bois (TGB).

Ainsi, on se référant aux données brutes, les arbres échantillons sont regroupés par essence et par catégorie de diamètre donnant lieu à 16 classes : G, P, PB, BM, GB et TGB (pour le chêne liège), ZP, ZPB, ZBM, ZGB et ZTGB (pour le chêne zeen), CP, CPB, CBM, CGB et CTGB (pour le Cèdre de l'Atlas). L'analyse graphique de la distribution de ces classes à l'intérieur du peuplement, permet de décrire les types de peuplement de chaque placette et de déduire ainsi sa structure.

La matrice à n relevés (placette) et p variables (paramètres de structure) sont traités par une analyse en composante principale. Cette dernière sera affinée par une classification hiérarchique ascendante, permettant de tirer les groupes homogènes de placettes sur la base d'indicateurs structuraux (densité, classes de diamètre, surface terrière).

Les techniques de groupement font recours à l'utilisation préférentielle d'un algorithme de partitionnement non-déterministe au détriment d'une méthode hiérarchique correspondait davantage à l'objectif visé : optimiser l'homogénéité d'un nombre défini de groupes (Sherrer, 2009 *in* Larouche, 2014). La fonction objective des algorithmes '*k-means*' (disponible sous R), permet de positionner les observations en un nombre défini de groupes afin de minimiser la distance entre les points à l'intérieur du même groupe (Nock & Nielsen, 2006 *in* Larouche, 2014)

Après avoir fixé les groupes homogènes, une clef de détermination est tirée à partir des caractéristiques dendrométriques simples et facilement repérables sur terrain. L'ensemble des traitements est fait par le biais du logiciel R (package *ade* 4, R Core Team, 2018 de la version 3.5.1.

Dans le cas du chêne liège, le rendement sur pied et la production en liège sont des paramètres de première importance pour le forestier et le producteur. De ce fait, dans une deuxième étape, leur estimation en rapport avec les facteurs du milieu et les paramètres dendrométriques est primordiale.

La production du liège est influencée par un ensemble de facteurs combinés, pouvant être tantôt favorables, tantôt défavorables, agissant dans le même sens ou au sens contraire (Saccardy, 1938). Donc quels sont les facteurs écologiques ou individuels, dont l'action sur la production du liège est prépondérante ?

La modélisation de la croissance des arbres et des peuplements est une technique d'analyse permettant l'explication l'effet combiné des variables du milieu. Comme toute démarche de modélisation, plusieurs questions se posent immédiatement (Rakotomalala, 2017). :

- * Choix de la forme de la fonction ;
- * Estimation des paramètres du modèle à partir d'un échantillon donné ;
- * Précision des estimations ;
- * Pouvoir explicatif du modèle et sa mesure ;
- * Est-ce qu'il existe une relation significative entre l'ensemble des descripteurs et a variable dépendante ;
- * Identifier les descripteurs pertinents dans la prédiction de y, éliminer celles qui ne sont pas significatives et/ou celles qui sont redondantes ;
- * Détecter, parmi les variables, celles qui peuvent avoir une influence exagérée au point de fausser les résultats

Pour cela, pour rechercher d'éventuelles relations entre la croissance du liège et les facteurs du milieu (physique et dendrométrique), nous avons opté pour les analyses suivantes : régression logistique binomiale, régression linéaire multiple et modèle linéaire mixte.

La régression logistique binomiale est une technique de modélisation, visant à prédire et expliquer les valeurs d'une variable catégorielle binaire Y (dépendante ou endogène), et ce, à partir d'une collection de variables X continues ou binaire (variables prédictives, explicatives, indépendantes, descripteurs ou exogènes). Elle peut s'inscrire dans le cadre de la régression linéaire généralisée (modèles à effet fixe) ou une variante de la régression linéaire (Gaudart et al., 2010a ; Rakotomalala, 2017).

C'est en fait, une mise en évidence de l'existence d'une liaison fonctionnelle sous-jacente (underlying concept) de la formule $y = f(x, \alpha)$ entre ces variables. La fonction $f(.)$ est le

modèle de prédiction ; α est le vecteur des paramètres de la fonction, estimé à partir des données issus d'expérimentation (Rakotomalala, 2017).

Dans le cas d'un groupement binaire, la variable dépendant y ne prend que deux modalités [+ ou -] ou [0 et 1] (Rakotomalala, 2017).

Ainsi, pour mettre en évidence les variables du milieu influençant la croissance du liège nous avons utilisé la régression logistique binomiale '*glm*' sous 'R' (Marques de Sá, 2007 ; Gaudart et *al.*, 2010b ; Rakotomalala, 2015). Pour cela, nous avons analysé comme variable dépendante l'épaisseur cumulée du liège atteinte en fin de cycle de production de 125 plaques échantillonnées. Dans une première étape, nous avons séparé ces échantillons en deux groupes par codage binaire selon l'utilisation industrielle de la planche du liège : 1 pour les plaques bouchonnables d'une épaisseur supérieure à 30mm sur croûte ($R_n > 26\text{mm}$) et 0 pour les plaques non bouchonnables d'une épaisseur inférieure à 30mm ($R_n < 26\text{mm}$). Il est à signaler que les mesures de toutes les plaques ont été majorées de 4 mm correspondant à la croûte et aux deux demi-accroissements.

Dans une seconde étape, nous avons soumis à l'analyse, les différentes variables indépendantes (explicatives) recueillies au niveau des arbres et des placettes.

Parfois la régression linéaire est trop simpliste. Il est nécessaire d'utiliser des modèles plus réalistes mais parfois plus complexes. Dans la régression multiple (modèles à effet fixe), plusieurs variables explicatives doivent être incluses. Elles sont liées, certains redondantes, d'autres sont complémentaires. Certains peuvent masquer le rôle d'autres variables. Il faut discerner les informations importantes en interprétant correctement les coefficients et indicateurs fournis par la régression (Foucart, 2006 ; Marques de Sá, 2007 ; Bertrand, 2015 ; Rakotomalala, 2015).

La sélection des variables est une étape clé dans la modélisation. Il existe autant de variables explicatives potentielles, dont certaines sont redondantes et d'autres n'ont aucun rapport avec la variable dépendante. Il faut chercher des indicateurs, par le biais des méthodes statistiques, dans les sous-ensembles des bonnes variables à inclure dans le modèle. Idéalement, elles doivent être orthogonales entre-elles, mais toutes fortement liées à la variable dépendante (Foucart, 2006 ; Rakotomalala, 2017).

Le choix d'un nombre réduit de variables explicatives permet de :

- * Faciliter l'interprétation par élimination des descripteurs les moins explicatives de la variable dépendante, rendant le rôle de celles retenues plus clair ;

- * Déploiement facilité : l'intérêt est de réduire le maximum, le nombre de questions pour identifier la classe d'appartenance d'un individu, et ce, lorsque le modèle est mis en production
- * Un modèle dont le nombre variables est réduit, a plus de chance d'être plus robuste en généralisation

Il existe, sous R, une méthode de sélection automatique, dite sélection par optimisation. Elle consiste à trouver des sous-ensembles prédictifs permettant de comptabiliser la qualité de l'ajustement, par le biais, d'un indicateur qui comptabilise la complexité du modèle. L'addition de variables pertinentes, doit faire décroître le critère et non pas son augmentation (Rakotomalala, 2017).

Deux critères répondent à ces spécifications :

- * Le critère AIC d'Akaike : $AIC = -2LL + 2(j + 1)$
- * Le critère BIC de Shwaetz : $BIC = -2LL + Ln(n) * (j+1)$

Où : $-2LL$ est la déviance, $(j+1)$ est le nombre de paramètres à estimer, j est le nombre de variables explicatives.

Ainsi, afin de tester l'influence des variables sur le rendement potentiel en liège des arbres atteint en fin de cycle de production (R_n : variable réponse), nous avons pris en considération que les arbres ayant une dimension exploitable ($\varnothing_{\text{sous écorce}} > 14\text{cm}$) indépendamment qu'ils soient déjà récoltés ou non. Pour cela, nous avons soumis le rendement individuel en liège des arbres ($n = 634$) aux différentes variables explicatives, tout en évitant d'inclure celles qui sont redondantes ou fortement corrélées comme la grosseur du tronc des arbres (Paulo et Tomé, 2010). Enfin, à l'échelle des placettes, nous avons analysé deux réponses de production ; le rendement moyen en liège des arbres (R_p) et la production du peuplement (P_n).

Toutes les analyses des données ont été réalisées en utilisant les fonctions "glm" et "lm" du paquet "stats" à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2018 de la version 3.5.1). Pour chaque type de réponse (quantitative), nous avons commencé avec un modèle en incluant toutes les variables explicatives pourraient avoir une interprétation ou un sens biologique ou sylvicultural. Pour vérifier si la sélection du modèle obtenu pourrait être amélioré, nous avons supprimé à chaque étape, les variables qui n'ont pas un effet significatif, jusqu'à ce que toutes les variables restantes dans le modèle soient significatives ($P < 0,05$). Pour chaque formulation d'un modèle, nous avons réalisé un diagnostic sur la multi-colinéarité entre les régresseurs des prédicteurs en utilisant la fonction "Imcdiag" du paquet "mctest" (Imdadullah et al., 2016).

Plusieurs indices alternatifs ont été testés avant de sélectionner un modèle le plus performant. Il s'agit du critère d'information Akaike (AIC) et Bayésien (BIC) ; plus la valeur de ces critères est faible et plus le modèle indique une grande performance (Pinheiro et Bates, 2000 ; Picard et *al.*, 2012 ; Rakotomalala, 2015). En plus de ces tests, nous avons calculé la corrélation entre les variables explicatives (coefficient de corrélation de Pearson) et la corrélation multiple (R). Dans le cas où deux variables explicatives sont linéairement dépendantes, nous avons choisi dans le modèle celle qui plus de sens.

Une des limites des modèles à effet fixe est qu'ils supposent une indépendance entre les individus. Or, ils présentent parfois une certaine corrélation. Pour prendre en compte cette dépendance, un effet aléatoire est ajouté au modèle à effet fixe, le modèle ainsi obtenu est appelé modèle à effets mixtes composé d'une partie fixe et d'une partie aléatoire. Celle fixe est identique pour chaque individu et représente l'effet population. Celle aléatoire est propre à chaque à chaque individu et traduit la variabilité liée à chaque sujet (Gaudart et *al.*, 2010b).

Selon Vazquez et Pereira (2005), le modèle linéaire mixte, prend en considération, lors d'estimation de la production du liège, la répartition spatiale des tiges, variant les covariances entre les arbres en fonction de leur situation spatiale. En effet la covariance est plus élevée au sein de la même placette, mais plus petite si elle représente des placettes dans une même région ou nulle dans le cas de régions différentes)

Afin d'identifier les variables influençant le rythme de croissance du liège des arbres, nous avons utilisé le modèle linéaire généralisé à effets mixtes (GLMM) (Zuur et *al.*, 2009). Pour cela, nous avons analysé comme variable dépendante "l'épaisseur cumulée du liège" atteinte en fin de cycle de production de l'ensemble des plaques échantillonnées ($n = 125$) provenant de toutes les placettes ($n=53$). Puisque le rendement en liège des arbres est lié à la grosseur de leur tronc (Paulo et Tomé, 2010), nous avons inclus dans le processus d'analyse la variable dépendante " le diamètre sous écorce de l'arbre". Dans les matrices d'analyse, nous avons considéré les placettes comme un effet aléatoire car nous attendons à un effet significatif des placettes sur les réponses testées. Ceci indique que certains paramètres de la placette peuvent avoir une influence significative sur les indices de production du liège. Toutes les analyses des données ont été réalisées en utilisant R (version 3.5.1). Pour le GLMM, nous avons utilisé la fonction 'glmer' du paquet 'lme4' (Bates et *al.*, 2015), et pour LMM nous avons utilisé la fonction 'lmer' du paquet 'nlme' (Pinheiro et *al.*, 2016). Pour chaque type de réponse, nous avons commencé avec un modèle incluant toutes les variables explicatives toute en évitant d'inclure celles redondantes. Nombreux modèles avec plusieurs

combinaisons de variables ont été testés et la sélection du modèle le plus performant s'est basée sur les critères d'information Akaike (AIC) et Bayésien (BIC). Toutes les variables retenues dans le modèle sont significatives ($P < 0,05$). Le tableau 07, ci-dessous, récapitule l'ensemble des variables utilisées dans cette étude et leurs descriptions

Tableau 07 : Variables considérées à partir d'arbres de chêne liège inventoriés

n°	variable	Définition et description	unité
1	C	Circonférence à un niveau de 1.30m sur écorce	m
2	Ht	Hauteur totale de l'arbre depuis son pied au bourgeon terminal	m
3	Hf	Hauteur fût considéré depuis le pied jusqu'au première branche vivante	m
4	HE	Hauteur d'écorçage visible depuis la dernière récolte	m
5	E	Epaisseur du liège sur croûte prise par mesureur d'écorce	mm
6	Df	Déficit foliaire estimant le pourcentage de perte foliaire	%
7	c	Circonférence sous écorce pour chacune des tiges (voir équation 1)	m
8	d	Diamètre sous écorce pour chacune des arbres ($d=c/\pi$)	m
9	g	Surface terrière de chacune des tiges (voir équation 2)	m ²
10	CB	Catégories bois (Gaulis, Perches, Petit Bois, Bois Moyen, Gros Bois)	m
11	H _{houp}	Hauteur houppier considérée depuis la première branche vivante à la cime	m
12	R	Rendement offert par un arbre (voir équation 2)	kg
13	Cdom	Circonférence dominante (grosueur des 100 plus grosses tiges/ha)	m
14	Ddom	Diamètre dominant sous écorce	m
15	Cmoy	Circonférence moyenne sous écorce calculé par placette	m
16	Dmoy	Diamètre moyen sous écorce calculé par placette	m
17	Hd	Hauteur dominante (grosueur des 100 plus grosses tiges/ha)	m
18	Hmoy	Hauteur moyenne calculée par placette	m
19	G	Surface terrière totale peuplement (voir équation 3)	m ² /ha
20	Nt	Densité totale de l'ensemble des tiges	pied/ha
21	NE	Densité tiges exploitables	pied/ha
22	IS	Indice de santé (voir équation 4)	-
23	A _c	Age du liège (nombre de cernes complets + 1 correspondant au 2 demi-accroissements)	ans
24	E _c	Epaisseur du liège sur croûte	mm
25	E _{cum}	Epaisseur cumulée considérée pour n années	mm
26	E _{cr}	Epaisseur sur croûte	mm
27	CP	Cycle de production pour une épaisseur commerciale de 27mm sous croûte (n années)	m
28	P _s	Poids de l'échantillon de liège après étuvage pendant 24 heures	kg
29	P _h	Poids frais ou humide de l'échantillon de liège après extraction	kg
30	Hum	Taux d'humidité= $100 * (P_h - P_s) / P_s$	%
31	SE	Surface d'écorçage d'une planche de liège	m ²
32	Pds	Poids du liège par unité de surface	Kg/m ²
33	ρ	Poids volumique du liège	Kg/m ³
34	Rn	Rendement moyen offert par placette en n années (voir équation 2)	kg
35	Pn	Production en liège par placette (cycle de production n années)	Kg/ha
36	Pv	Productivité en liège (Rn/N)	Kg/ha/an

Variables numérotés 1- 6 sont des mesures directes sur arbres. Variables 6-12 calculés à partir des mesures directes sur l'ensemble des arbres (niveau tiges). Variables 13 – 22 calculés à partir des mesures directes sur arbres au sein de chacune des placettes (niveau peuplement). 23 – 33 mesurés et calculés sur échantillons de liège extraits des arbres à un niveau de 1.30m. Variables 34-36 calculés à partir de mesures directes sur arbres par placette et échantillons de liège et sont souvent la variable réponse dans les traitements statistiques.

Chapitre IV

Résultats

4. Résultats

4.1. Description du milieu physique

4.1.1. Exposition

Sur les montagnes, l'orientation des versants joue un grand rôle dans la diversité végétale et donne lieu à des microclimats. Dès lors, on enregistre, sur la base de ces fluctuations, des versants plus chauds à orientation Sud et Sud-Ouest, alors que les versants froids sont ceux orientés au Nord et Nord-Est (Boucharlat, 1997 ; Masson, 2005_b ; Demarteau, 2006).

Les différentes expositions enregistrées à travers les unités d'échantillonnage sont stratifiées en trois strates (Figure 30). Le chêne liège montre une préférence pour les stations éclairées où il forme des peuplements purs. En fait, il se rencontre surtout sur des variantes Sud (59%) et Sud-Ouest (38%).

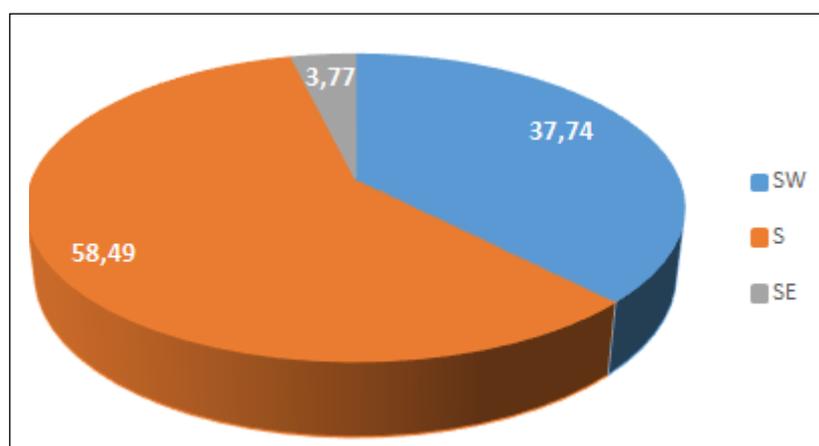
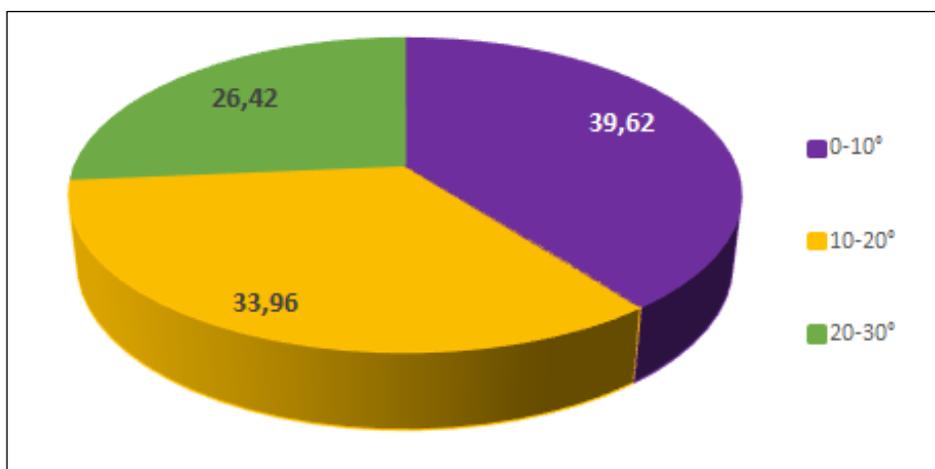


Figure 30 : Fréquences relatives des strates d'exposition des placettes

4.1.2. Pente du terrain

La qualité de la station est soumise à un effet d'inclinaison. Lorsque cette dernière est abrupte la végétation, qui s'installe sur sols superficiels et s'accroche aux rochers, trouve des difficultés de croissance (dimensions réduites et allure tourmentée). Par contre, la situation est plus favorable en bas de pente (zone d'accumulation) où le substrat édaphique est profond et riche (Masson, 2005a). Les placettes d'étude présentent des pentes variant de 0 à 30°. Elles sont groupées en trois classes de 10° d'intervalle comme suit (Figure 31) :

1. De 0 à 10° : présentant 39.62% de l'ensemble des mesures ;
2. De 10 à 20° : présentant 33.96% de l'ensemble des mesures ;
3. De 20 à 30° : présentant 26.42% de l'ensemble des mesures.



4.1.3. Topographie

La topographie décrit la disposition des éléments du relief. Les différentes positions topographiques observées sur terrain sont converties en indices topographiques (Figure 32) suivant les proportions suivantes :

1. Topo1 et 2 : présentant 7.55% de l'ensemble des observations ;
2. Topo3 : présentant 39.62% de l'ensemble des observations ;
3. Topo4 : présentant 52.83% de l'ensemble des observations.

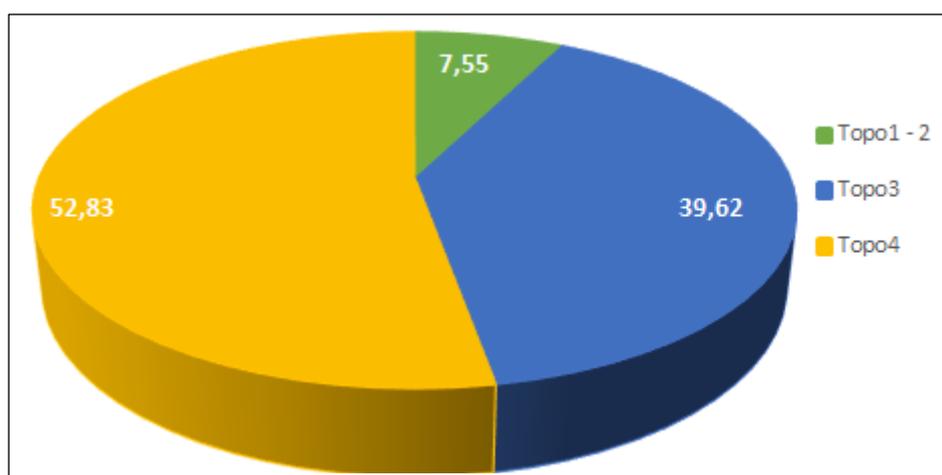


Figure 32 : Fréquences relatives des différents indices topographiques des placettes

4.1.4. Altitude

La variation altitudinale modélise la composition des peuplements et engendre chez une même espèce des différences de croissance (Gaudin, 1997a). Sur la base d'un étagement altitudinal de 100m, trois classes sont retenues comme suit (Figure 33) :

1. De 1290 à 1390m : constituant 35.85% de l'ensemble des placettes ;
2. De 1390 à 1490m : constituant 60.38% de l'ensemble des placettes ;
3. Plus de 1490 : constituant 03.77% de l'ensemble des placettes.

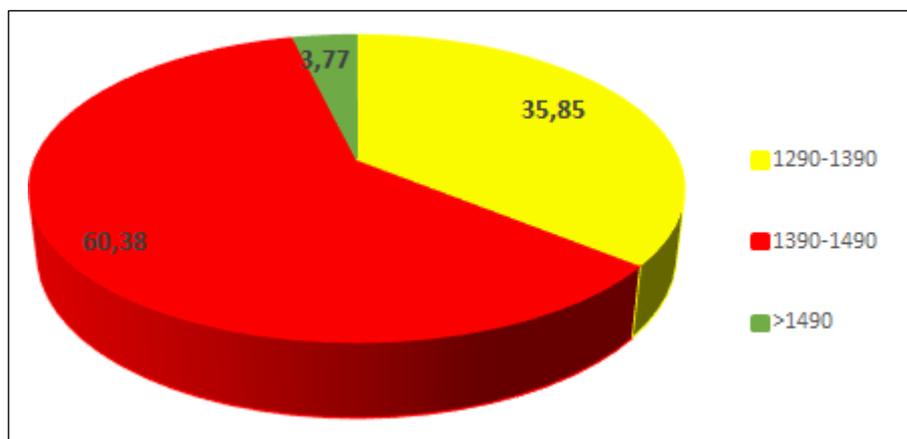


Figure 33 : Fréquences relatives des classes altitudinales des placettes

4.1.5. Profondeur du sol

La profondeur du sol est variable d'une placette à l'autre ; elle est présentée selon trois classes comme suit (Figure 34) :

1. 52.83% des placettes présentent une profondeur inférieure à 30cm ;
2. 39.62% des placettes présentent une profondeur de 30 à 60cm ;
3. 7.55% des placettes présentent une profondeur supérieure à 60cm ;

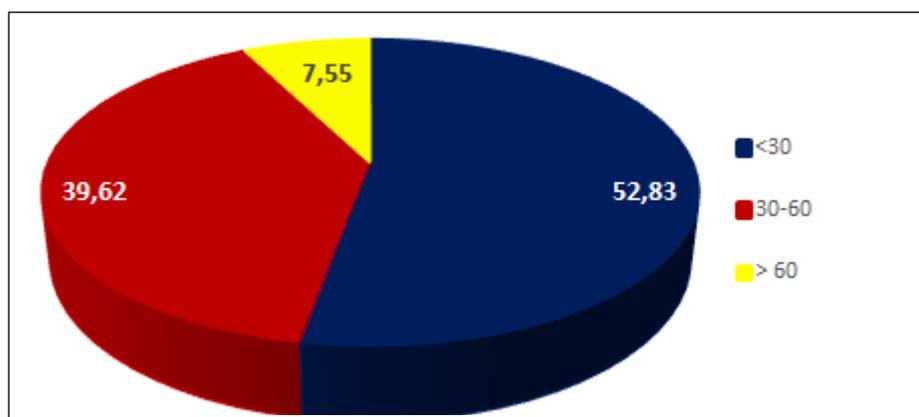


Figure 34 : Fréquences relatives des classes de profondeur du sol des placettes

4.2. Description et dendrométrie des tiges de chêne liège

Au total 973 tiges de différentes essences sont inventoriées à travers les unités d'échantillonnage ; elles sont réparties comme suit :

1. 833 tiges de chêne lièges (*Quercus suber*) ;
2. 63 tiges de chêne zeen (*Quercus faginea*)
3. 39 tiges de chêne vert (*Quercus ilex*) et
4. 40 tiges de cèdres d'Atlas (*Cedrus atlantica*)

Les peuplements formant le versant sud du massif de Theniet-El-Had, présentent un étagement altitudinal. Selon Frédéric (2003), la distribution de la végétation dépend du gradient climatique lié à une diminution de la pression atmosphérique. Cette diminution a pour conséquence le changement du rayonnement et de la température. La végétation change du bas en haut par élimination successive des espèces de plaine, et l'apparition d'autres plus résistantes aux conditions extrêmes d'altitude.

Les peuplements à chêne liège de la zone d'étude sont localisés dans des tranches altitudinales s'intercalant de 1250 à 1576m. Ce dernier fera objet d'une description détaillée dans ce qui suit. Le chêne zeen apparait dans une tranche altitudinale allant de 1397 à 1576 m, sur des pentes de 5 à 22°. Il se mélange au chêne liège dans les parties basses et au cèdre dans les parties supérieures. De plus, il occupe des expositions ombragées et fraîches (Nord et Nord-Est) ou même Sud à Sud-Est, avec des variantes humides (Djaj-El-Maa) caractérisées par des topographies favorisant l'accumulation d'eau.

Le chêne vert se mélange au liège à partir de 1340 m ; il est présent avec des proportions variées jusqu'à une altitude moyenne de 1500m. Il se présente généralement sous forme de taillis et se comporte comme un accompagnateur du chêne liège et du cèdre d'Atlas, occupant des expositions, à la fois Sud, Sud-Est et Sud-Ouest.

Le Cèdre de l'Atlas, quant à lui, se mélange au chêne liège à partir de 1380 m jusqu'à 1576 m. Au-delà, il devient dominant suite à sa capacité d'adaptation dans les hautes altitudes. L'ensemble des tiges inventoriées dans cette étude, présentent un état sanitaire satisfaisant et en absence de signes de dépérissement. Ce dernier phénomène déjà signalé dans le versant Nord, a fait l'objet d'études variées (Sarmoum, 2008 ; Bouazza, 2011 ; Naggar, 2011 ; Bouazza et *al.*, 2018 ; Bouazza, 2019 ; Navarro-Cerrillo et *al.*, 2019.).

Le tableau 08 présente les statistiques descriptives des différentes espèces recensées à travers les unités de mesure.

Tableau 08 : Statistiques descriptives des différentes espèces recensées à travers les unités de mesure

Niveau de mesure	Variables	n	Moy	Min	Max	CV (%)	
Chêne liège	Total arbres	Circonférence à 1.30m sous écorce (m)	833	1.05	0,20	3.69	44.50
	Arbres exploitables	Circonférence à 1,30 m sur écorce (m)	634	1,18	0,50	3,69	42,27
		Hauteur totale (m)	634	7,38	2,42	21,5	32,81
		Hauteur fût (m)	634	2,78	0,50	7,00	35,85
	Arbres exploités	Hauteur d'écorçage (m)	379	1,76	1,30	2,80	14,20
	Epaisseur liège sur croûte (mm)	379	31,55	9,00	73,0	29,48	
Cèdre de l'Atlas	Circonférence à 1.30m m)	40	1.47	0.96	2.96	51.96	
	Hauteur totale (m)	40	13.44	030	21.0	42.35	
Chêne-zeen	Circonférence à 1.30m m)	63	1.15	0.30	1.87	48.93	
	Hauteur totale (m)	63	11.27	03.0	24.0	40.96	
Chêne-vert	Circonférence à 1.30m m)	39	0.33	0.20	0.40	12.70	
	Hauteur totale (m)	39	5.17	03.0	08.0	21.82	

La figure 35 permet de visualiser la distribution des arbres de chêne liège (exploitables et exploités). La catégorie de grosseur allant de 0.7 à 1.4 m renferme la plus grande partie d'arbres de chêne liège quel que soit son état d'exploitation.

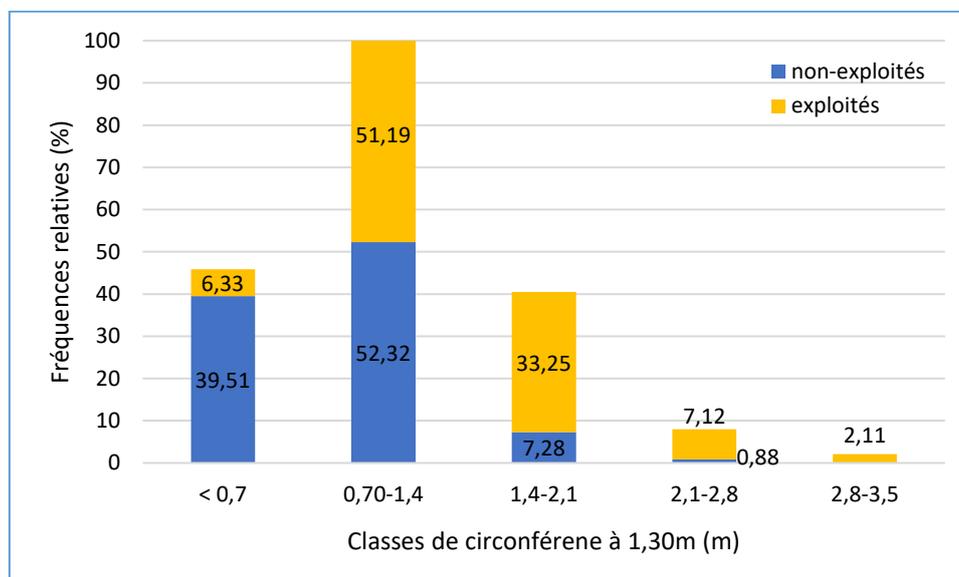


Figure 35 : Distribution des grosseurs d'arbres de chêne liège inventoriés

4.2.1. Caractérisation qualitative des tiges de chêne liège

Les critères qualitatifs permettent de décrire et comparer les tiges à l'intérieur des peuplements. Il s'agit souvent de : la rectitude du tronc, la symétrie du houppier, la position sociale et la fructification.

Les résultats d'inventaire montrent que les arbres sont présents sous forme de franc-pied, bifurqués à des hauteurs variées ou issus de rejets de souches (cépées). Puisqu'il s'agit de tiges pouvant offrir du liège de reproduction, un traitement de forme est nécessaire (éclaircies, taille de formation, conduite des taillis...etc.). Il n'est pas rare, de trouver des tiges très voisines, inégalement exploitées, portant un liège de différentes épaisseurs. A cela s'ajoute, des tiges exploitables mais non encore mises en valeur. Les figures ci-dessous permettent de visualiser la forme générale de quelques tiges de chêne liège.



Figure 36 : Franc-pied de chêne liège écorcé illicitement

(Photo Naggar, 2013)



Figure 37 : Arbres de chêne liège écorcés bifurqués au ras du sol

(Photo Naggar, 2013)



Figure 38 : Arbre inexploité de chêne liège à ramification basse.

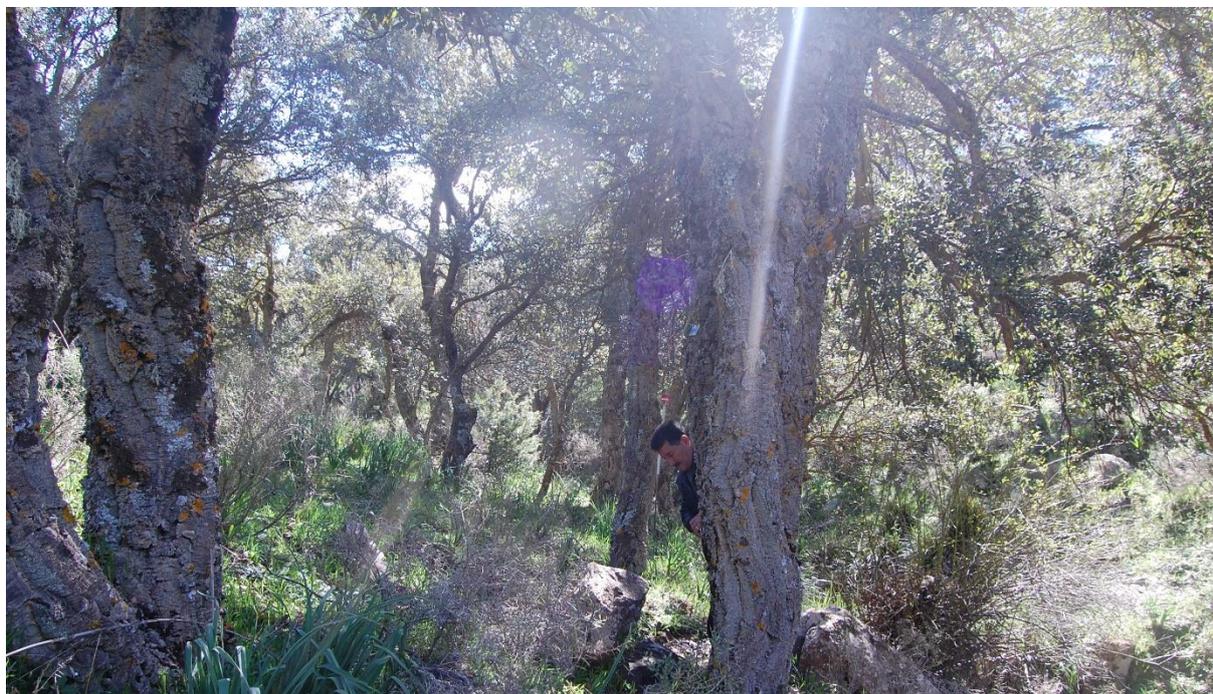


Figure 39 : Arbres exploitables de chêne liège non démasclés

Le calcul du rapport entre la hauteur totale et la hauteur du houppier, permet d'apprécier l'état d'élagage naturel des tiges de chêne liège comme suit:

1. 6.65% des tiges présentent un bon élagage ;
2. 38.57% des tiges présentent un élagage moyen ;
3. 54,78% des tiges présentent un élagage mauvais.

Cette situation est le corollaire d’une absence de traitements sylvicoles adéquats et position sociale, souvent inappropriée pour les tiges issues de régénération naturelle.

Par ailleurs, le chêne liège présente une capacité d’adaptation de forme et de taille remarquable face aux contraintes (ressources disponibles, densité et composition des peuplements). Il présente des variations selon la composition des peuplements, qu’ils soient purs ou mélangés (Tableau 08).

En fait, la croissance en hauteur est encore meilleure dans les peuplements mélangés suite à une compétition (pour la lumière et les ressources nutritives) imposée par les essences accompagnatrices du chêne liège telles que *Cedrus atlantica* et *Quercus faginea*. De plus, la croissance en grosseur moyenne est bonne au sein des peuplements purs. Néanmoins, elle reste non significative du point de vu statistique (Tableau 09). La surface occupée par un arbre en croissance libre est proportionnelle à la projection au sol de son houppier. En fait, il existe une relation étroite, quel que soit l’âge et la station, entre le diamètre du houppier et le diamètre à 1.30m (Rondeux, 1999).

L’insertion du chêne liège en peuplements denses, forcera la croissance en hauteur et rend, par conséquent, une épaisseur de tronc plus mince. La compétitivité induite pas lumière du soleil entrainera l’étirement des arbres, angle d’insertion serré des branches et couronnes moins denses (Montero et al., 1999 in Espirito, 2014).

De plus, la proportion des chênes lièges dans les peuplements mélangés est très variable. Ces derniers sont, le plus souvent, dominés dans les peuplements où la densité des chênes zeen est très élevée.

Tableau 09 : Caractéristiques dendrométriques moyennes des tiges de chêne liège à l’intérieur des peuplements purs et mixtes.

Paramètres	Subéraies pures	Subéraies mixtes	Analyse de la variance (F_{obs})
Circonférence moyenne (m)	1,41	1,29	8.57
Circonférence dominante (m)	1,65	1,43	0.02
Hauteur moyenne (m)	7,9	13,1	73.57***
Hauteur dominante (m)	10,14	14,5	17.07***
Surface terrière totale (m ² /ha)	31	28	2.07
Densité (pied/ha)	310	300	3.29

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

Par ailleurs, la fructification et la production des glands est presque rare sur les arbres de chêne liège. En plus, la régénération par semis est presque inexistante. Néanmoins, elle est signalée chez les sujets situés en peuplements mixtes, plus riches et à ambiance plus fraîche. Selon Matias et *al.* (2019), l'aridité excessive cause une réduction de la quantité et du poids des glands produits chez le chêne liège. Le suivi du comportement des peuplements montre que seulement le tiers des arbres de chêne liège sont considérés productives de glands.

4.2.1.1. Rectitude du tronc et exploitation du liège

La rectitude des troncs chez les chênes lièges est une caractéristique importante. Les résultats d'observations des troncs montrent que plus de 75% des tiges sont rectilignes (Figure 40). En effet, les arbres à tronc haut et droit, très appréciés par les exploitants, sont plus faciles à écorcer et offrent une quantité de liège supérieure (Natividade, 1956). Par ailleurs, parmi les arbres-échantillons au sein des placettes d'étude, on note près de 45% qui présentent un liège exploité (Figure 41).

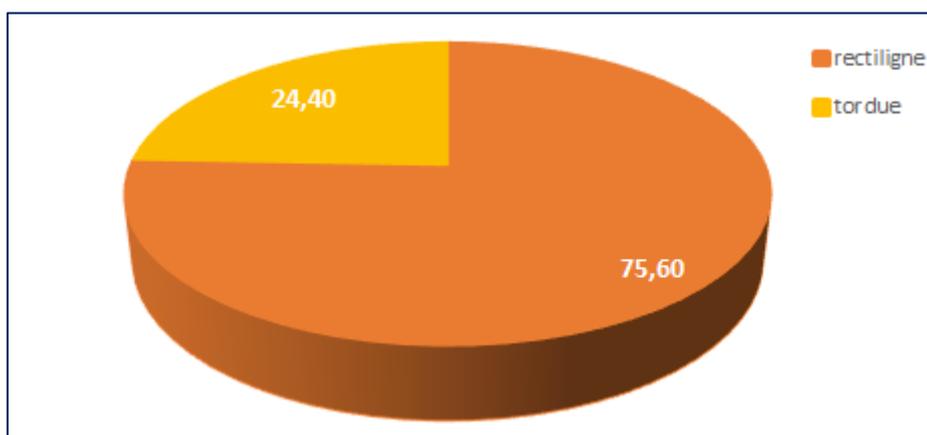


Figure 40 : Fréquences relatives de la rectitude des troncs de chêne liège

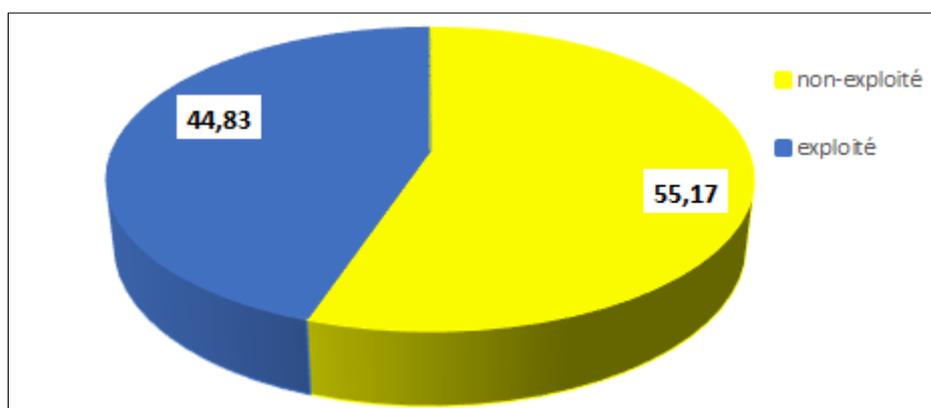


Figure 41 : Fréquences relatives de l'état d'exploitation des troncs de chêne liège

4.2.1.2. Symétrie du houppier

Les houppiers sont supposés avoir une forme symétrique par rapport à l'axe principal. Cependant en peuplement, ils sont asymétriques et fonction des concurrences des voisins. En fait, cette extension asymétrique démontre une plasticité des arbres faces aux contraintes de compétition (Deleuse, 1996 ; Boudon et Moguédec, 2007).

La Figure 42 montre que plus de 51% de tiges présentent une extension asymétrique de leur houppier. Il s'agit, en fait, des arbres issus de la régénération naturelle dont l'occupation du sol n'est pas uniforme (surdensité locale).

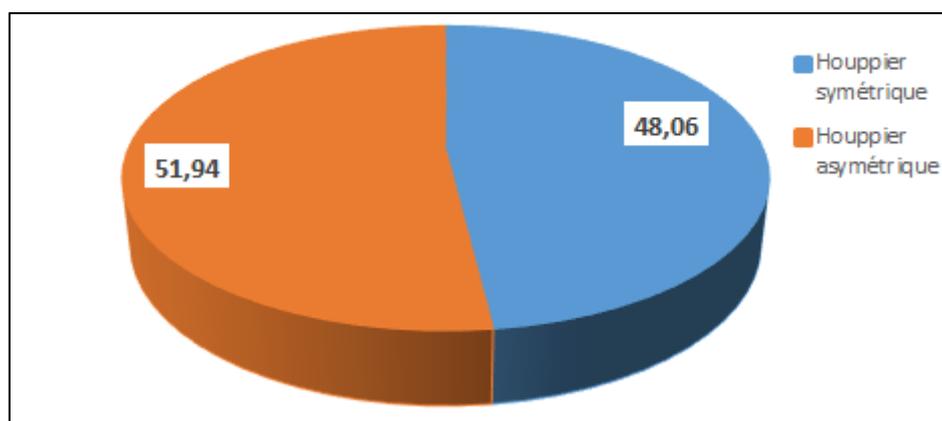


Figure 42 : Fréquences relatives de la symétrie des houppiers des arbres de chêne liège

4.2.1.3. Statut social des tiges

La vie sociale des tiges à l'intérieur des peuplements est irrégulière ; elle dépend surtout de la lumière. Ainsi, selon leur tempérament, les arbres dominants s'étalent plus pour profiter de la lumière au maximum par rapport aux co-dominants et intermédiaires. Ces derniers présentent des cimes réduites et essaient de se maintenir à la hauteur de l'étage supérieur pour bénéficier quelque peu du soleil. Cette lutte pour la lumière pousse les arbres vers le niveau supérieur et imprime aux peuplements un certain nivellement de la structure, même si les âges sont forts différents (Boudru, 1989).

Les résultats d'observation du statut social des tiges (Figure 43) montre qu'environ 48% des arbres sont dominés. Par contre les tiges dominantes, ayant un statut très favorable ne présentent que 12% environ. Cette situation est celle d'une subéraie issue de régénération spontanée, livrée à elle-même sans aucune intervention sylvicole permettant un statut social favorable aux tiges.

Etant donné leurs exigences en lumière, les arbres de chêne liège dominés présentent un ralentissement de croissance et risquent d’être déperis (Saccardy, 1937).

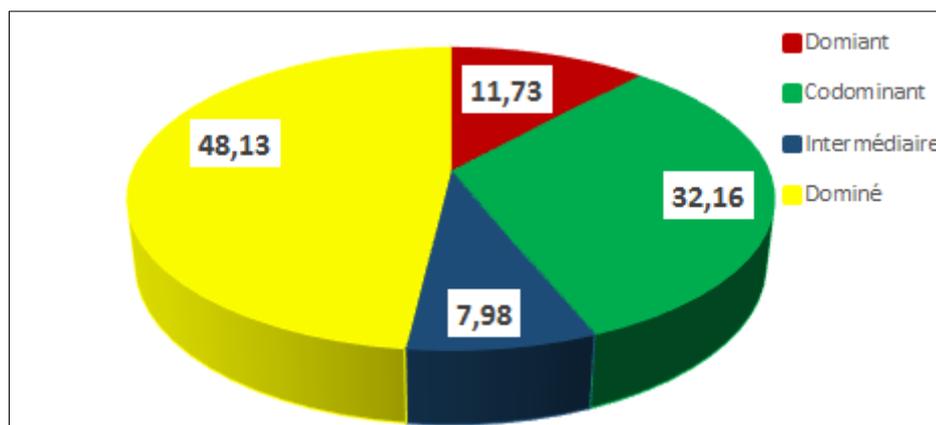


Figure 43 : Fréquences relatives du statut social des troncs de chêne liège

4.2.2. Caractérisation dendrométrique des tiges de chêne liège

Les résultats des données statistiques descriptives des variables dendrométriques prises en compte telles que la circonférence sous écorce à 1.30m, la hauteur totale, la surface terrière, la hauteur du fût, la hauteur d’exploitation, l’épaisseur d’écorce et le rendement en liège par arbre sont résumées dans le tableau suivant (Tableau 10) :

Tableau 10 : Statistiques descriptives des variables dendrométriques des tiges de chêne liège

Variables dendrométriques	Moyenn e	Minimum	Maximum	Mode	Coefficient de variation (%)
Circonférence à 1.30m	1.08	0.20	3.69	0.74	48.85
Circonférence sous écorce à 1.30m	0.98	0.13	3.59	0.65	52.65
Hauteur totale (m)	7.12	2.25	21.50	6.00	38.52
Surface terrière sous écorce (m ²)	0.099	0.001	1.03	0.11	11.70
Hauteur fût (m)	2.70	0.50	10.50	3.00	37.93
Hauteur houppier (m)	4.43	0.25	14.50	3.00	51.88
Hauteur d’exploitation (m)	1.78	1.30	2.80	1.50	13.45
Epaisseur de liège (mm)	31.55	09.00	73.00	30.00	29.42
Rendement (kg)	10.94	1.21	113.00	10.95	13.24

4.2.2.1. Circonférence sous écorce à 1.30m

Les valeurs des circonférences enregistrées présentent un coefficient de variation de 48.85% avec des grosseurs allant de 0.13m à 3.59m. La distribution des classes de circonférences présente une allure régressive (Figure 44). Cette allure, d’un peuplement

naturel, montre le mode jardinatoire acquis au niveau de la subéraie. En fait, les arbres ayant des valeurs allant de 0.70 à 1.40 m, soit celles des grosseurs moyennes, présentent la fréquence relative la plus élevée (45%), alors que celles de plus de 2.1 m ne présentent que près de 4%.

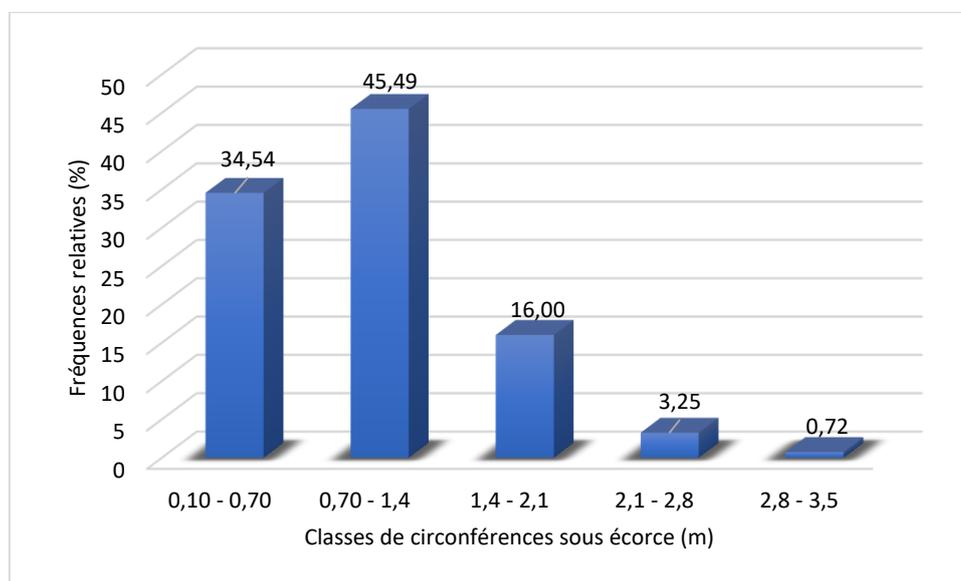


Figure 44 : Fréquences relatives des classes de circonférence sous écorce des tiges de chêne liège

4.2.2.2. Hauteur totale des tiges

La hauteur totale moyenne des tiges de chêne liège enregistrées est de 7.12m ; elle s'intercale de 2 à 21 m avec un coefficient de variation de 38.52%. La figure 45 illustre les fréquences relatives des classes de hauteurs totales des tiges. La figure montre une distribution régressive des hauteurs. La classe des hauteurs moyennes, allant de 6 à 10 m, présente une fréquence relative la plus élevée de l'ordre de 48.68%.

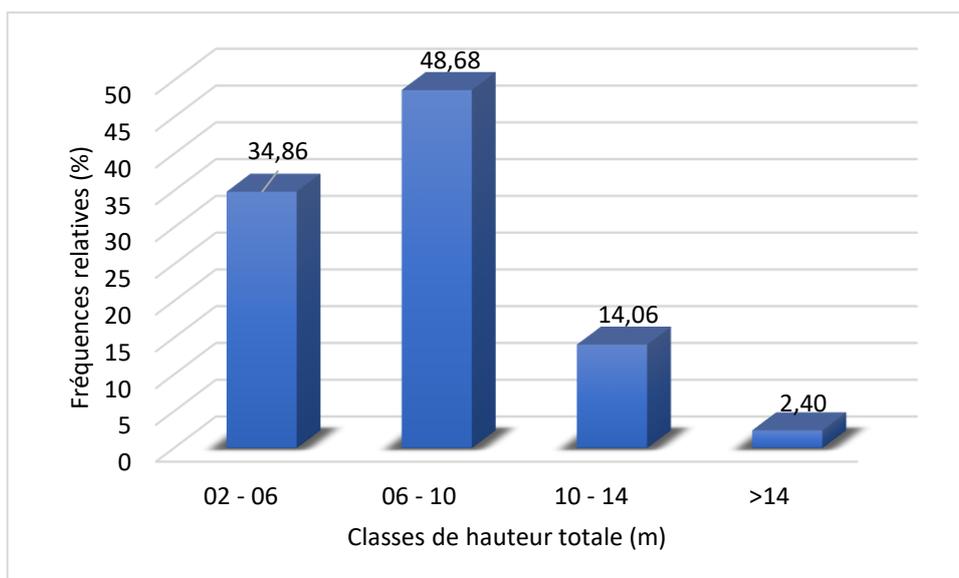


Figure 45 : Fréquences relatives des classes de hauteurs totales des tiges de chêne liège

4.2.2.3. Surface terrière

Les tiges recensées présentent une surface terrière moyenne de 0.098 m² et un coefficient de variation faible de 11.70%. La distribution en classes de surface terrière de ces tiges montre une tendance régressive (Figure 46). Nous remarquons que plus de 86% de tiges présentent des valeurs faibles de surface terrière.

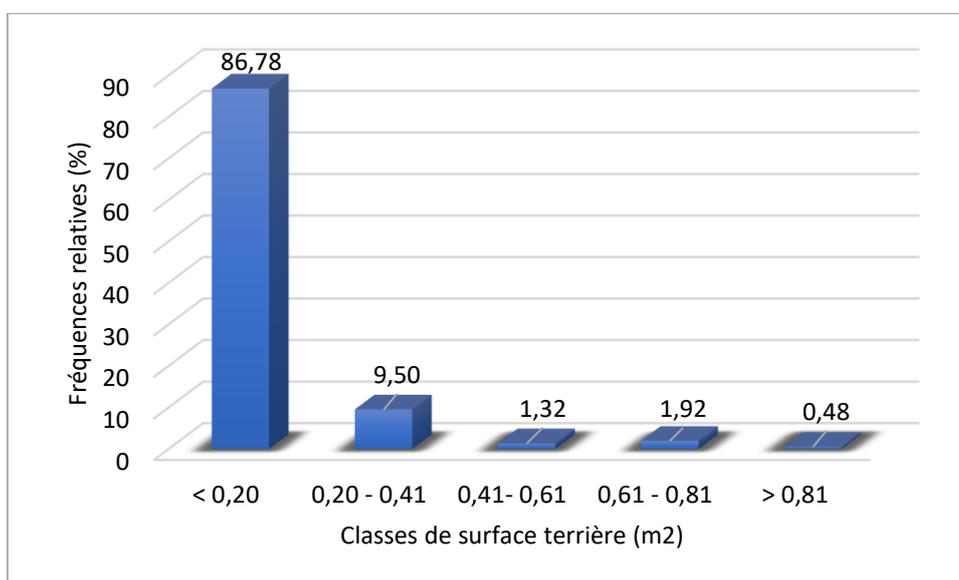


Figure 46 : Fréquences relatives des classes de surfaces terrières des tiges de chêne liège

4.2.2.4. Catégories de diamètres

La répartition des tiges inventoriées à travers les unités d'échantillonnage présente une allure asymétrique droite. Les arbres à bois moyen (BM :27.5-42.5) sont les plus représentés avec une fréquence relative de 33.41% (Figure 47). Les perches (P :7.5-17.5), indicateurs de régénération naturelle, ne représentent que près de 10%. Ainsi, la majeure partie de la subéraie est supposée être productive de liège (diamètre d'exploitabilité atteint). Or, l'inventaire révèle que plus de 51% des tiges portent encore un liège mâle (exploitation à partir de 25cm de diamètre).

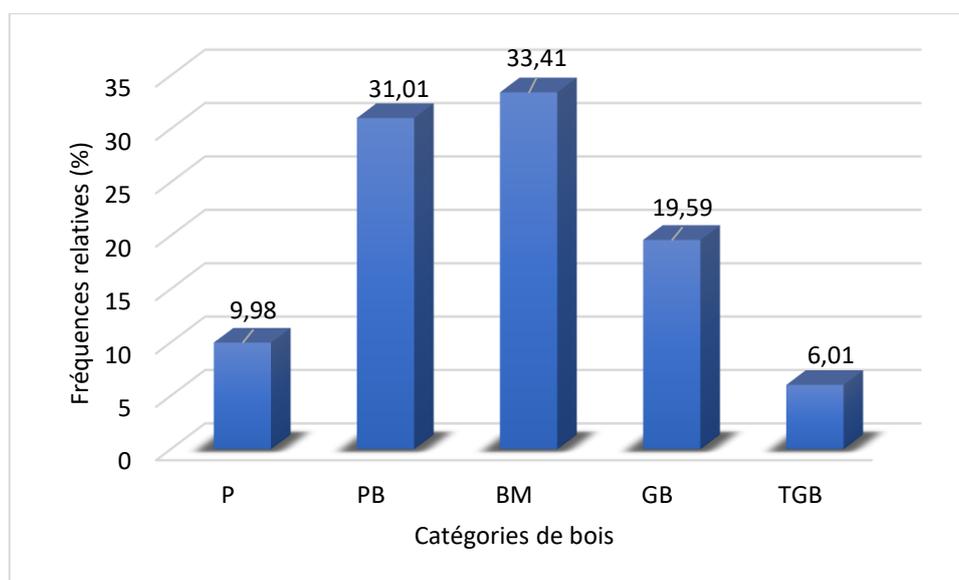


Figure 47 : Fréquences relatives des classes de catégories de diamètres des tiges de chêne liège

De plus, quelques caractéristiques moyennes des sujets déjà exploités sont consignées dans le tableau 11. Les perches ne sont pas exploitées du fait que leur circonférence est inférieure à 60 cm. En ce qui concerne les petits bois (\emptyset : 17.5-27.5cm), catégorie apte à la récolte, seulement 17% est mise en valeur avec un coefficient d'écorçage élevé de l'ordre de 2.6.

Par ailleurs, la moitié des sujets ayant un diamètre moyen (BM) est exploitée et dont le coefficient d'écorçage est faible (< 1.6). Ce dernier peut être recommandé pour cette subéraie car elle fait partie intégrante du Parc National ayant pour objet la conservation de la biodiversité la préservation du milieu selon le décret 83-458 du 23 juillet 1983 fixant le statut type des parcs nationaux.

Les arbres à gros (GB : 42.5-62.5) et très gros bois (TGB>62.5) sont écorcés à plus de 80% avec un coefficient d'écorçage inférieur à 1.1. Ils sont par conséquent potentiellement aptes à

produire des quantités de liège supplémentaires si l'on augmente l'intensité d'écorçage, d'autant plus que leur fût est supérieur à 3.5 m.

Tableau 11 : Caractéristiques moyennes d'arbres exploités par catégories de bois

Catégories de diamètre	C 1.30 (m)	H fût (m)	Epaisseur de liège (mm)	Hauteur d'écorçage (m)	Coefficient d'écorçage	% exploités
Perchis	>0.7	/	/	/	/	/
Petit bois	0.7	2.5	2.8	1.8	2.6	17
Bois moyen	1.1	2.8	3.1	1.8	1.6	53
Gros bois	1.6	3.2	3.5	1.8	1.1	80
Très gros bois	2.5	3.3	3.8	1.8	0.7	86

4.2.2.5. Hauteur des fûts

Les résultats de mesures des hauteurs de fûts enregistrent une variabilité faible entre les tiges (CV= 37.93%) ; elles s'intercalent de 0.50 à 10.5 m. La figure des fréquences des classes de hauteurs de fûts montre qu'environ 56% des tiges présentent des valeurs moyennes allant de 2.5 à 5m (Figure 48).

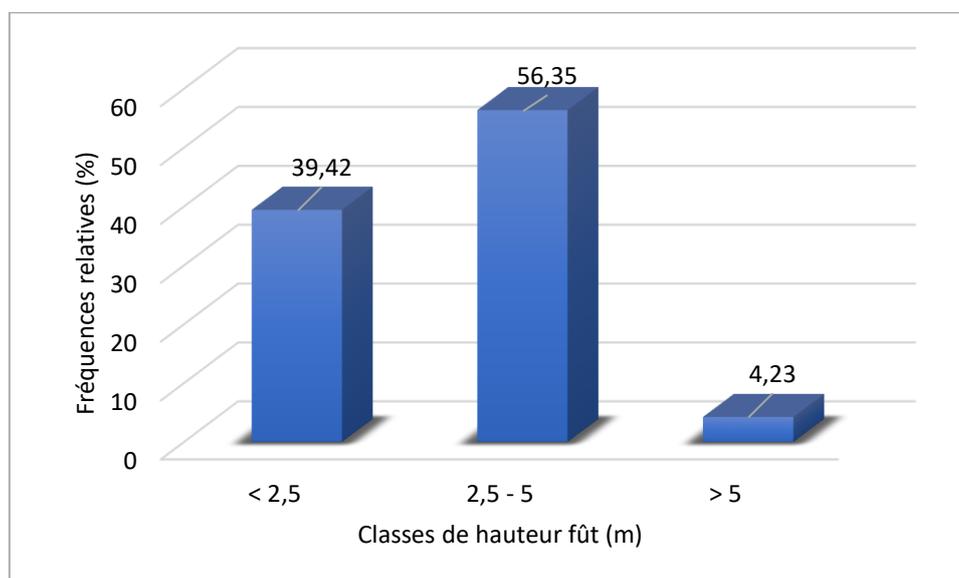


Figure 48 : Fréquences relatives des classes de hauteurs fûts des tiges de chêne liège

4.2.2.6. Hauteur d'exploitation des tiges (ou d'écorçage)

La hauteur d'exploitation des arbres est un paramètre intervenant dans la production du liège, car il permet une augmentation ou une diminution de la surface génératrice de liège de

reproduction. Théoriquement, il existe pour chaque sujet une hauteur d'exploitation optimum correspondant à une meilleure production soutenue (Saccardy, 1937). En effet, pour les tiges écorcées, la hauteur d'exploitation moyenne est de 1.75 m. De plus, ces valeurs présentent un coefficient de variation faible de 13.45%. La comparaison des hauteurs d'écorticages en rapport avec les hauteurs de fûts des tiges indique une exploitation subéreuse prudente. Cela semble être satisfaisant pour ces peuplements fragilisés.

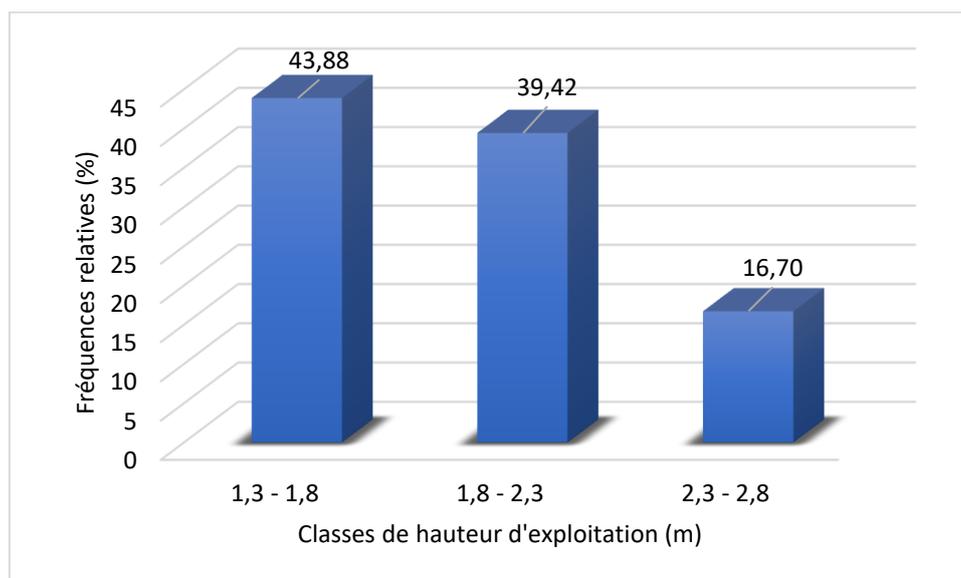


Figure 49 : Fréquences relatives des classes de hauteurs d'exploitation des tiges de chêne liège

4.2.2.7. Epaisseur de l'écorce sur pied

Les résultats de mesures des épaisseurs du liège sur pied montrent des valeurs variant de 9 à 73 mm avec un coefficient de variation de 29.42%. Ces variations sont évidentes dans la mesure où la subéraie est exploitée irrégulièrement et sur des surfaces très inégales. En matière de production de liège, il est toujours conseillé de ne pas laisser trop vieillir les écorces. Deux récoltes successives de 9 ans offrent une quantité nettement supérieure qu'une seule récolte faite à 18 ans (Saccardy, 1937).

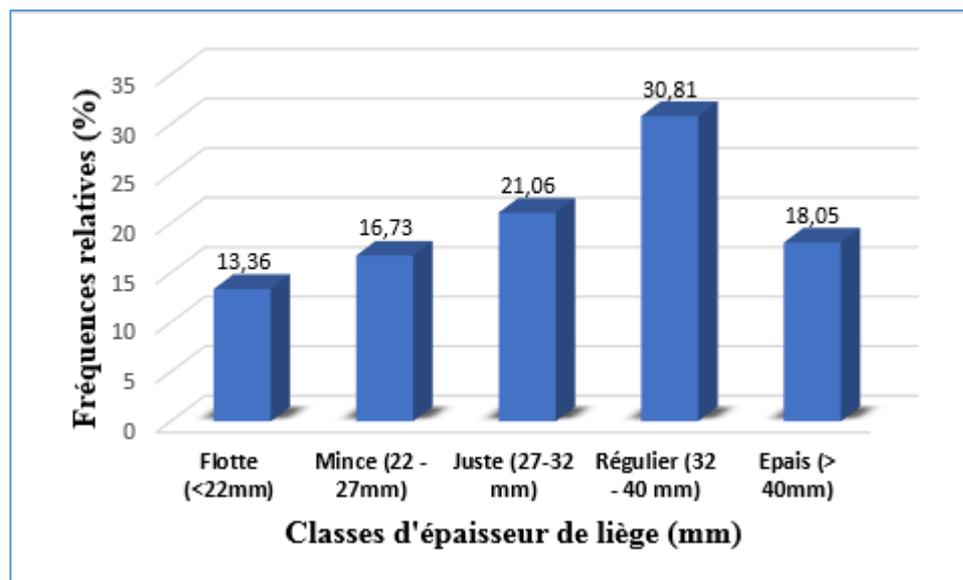


Figure 50 : Fréquences relatives des classes d'épaisseur de liège sur pied des tiges de chêne liège

Le classement des couches subéreuses des échantillons et le type de liège correspondant selon les normes internationales sont illustrés dans la figure 50. A travers cette figure, nous constatons que le liège des types juste (27-32mm) et régulier (32-40mm) constitue environ 48% de l'ensemble des échantillons. Donc, la subéraie se trouve actuellement devant une nécessité majeure d'exploitation de son liège avant qu'il ne soit déprécié, d'autant plus que le liège épais et sur-épais, moins rentable en matière de traitement industriel, représente 18%.

4.2.2.8. Rendement en liège par arbre

Les résultats de calcul du rendement en liège montrent que chaque arbre peut fournir entre 1 à 113 kg avec une variabilité faible de l'ordre de 13.24%. De plus, la distribution des classes de rendement en fin de cycle de 12 ans, présente une tendance décroissante (Figure 51). En fait, plus de 80% des arbres présentent une production faible en liège, soit inférieure à 17 kg. Ceux offrant une quantité de liège supérieure (plus de 51 kg) sont rares et ne présente que 2.04%.

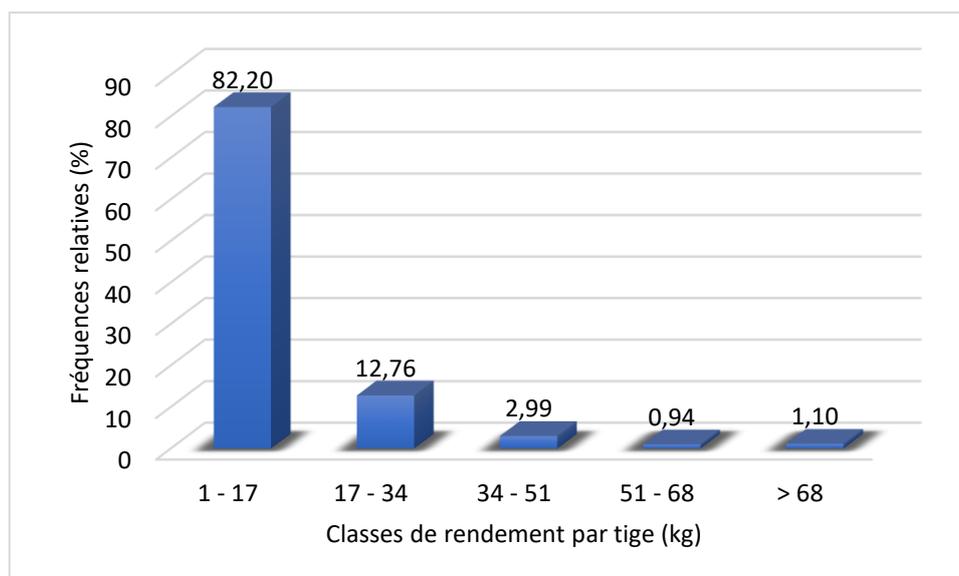


Figure 51 : Fréquences relatives des classes de rendement de liège sur pied des tiges de chêne liège

4.2.3. Variabilité de croissance des tiges de chêne liège en rapport avec les descripteurs écologiques

La mise en évidence de l'effet des facteurs du milieu sur la croissance des tiges de chêne liège, est réalisée par le biais d'une analyse de la variance à un seul facteur au seuil de signification de 95%. Elle permet la mesure du degré d'interférence entre la croissance des arbres (caractérisés par des grandeurs dendrométriques) et les descripteurs du milieu (exposition, altitude, topographie, pente du terrain et profondeur du sol).

Les principaux paramètres dendrométriques retenus pour l'analyse sont : la circonférence à 1.30m des tiges, leur hauteur totale et leur surface terrière. A cela s'ajoute, l'épaisseur du liège, le rendement en liège des arbres et le statut social des tiges.

4.2.3.1. Variabilité de la circonférence à 1.30m des tiges

L'analyse de la variance à un seul facteur au seuil de signification de 95 révèle un effet très hautement significatif de l'altitude et de la topographie sur la croissance en grosseur des tiges de chêne liège (Tableau 12). De plus, cette dernière est encore influencée par la profondeur du sol et la pente du terrain. En effet, la croissance est meilleure dans les stations à basses altitudes (< 1390m), sur des sols profonds (>60cm) et suffisamment alimentés en eau (topo3 et 4). Dans ce milieu, les arbres atteignent une taille de 1.35m.

Tableau 12 : Analyse de la variance de la circonférence des tiges en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%

Facteurs stationnels	F observé	Valeur de P
Exposition	2.419	0.120 ^{ns}
Pente du terrain	5.917	0.01*
Topographie	15.098	0.000118***
Altitude	31.927	2.422e-08***
Profondeur du sol	7.124	0.007798**

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

4.2.3.2. Variabilité de la hauteur totale des tiges

Les résultats du test statistique montrent que la croissance en hauteur des arbres est fortement liée aux facteurs du milieu (Tableau 13). En effet, les arbres les plus hauts (>9m), sont ceux situés en basses altitudes (<1390M), implantés sur des sols profonds et fortement inclinés (> 20°) en expositions Sud et Sud-Est.

Tableau 13 : Analyse de la variance de la hauteur totale des tiges en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%

Facteurs stationnels	F observé	Valeur de P
Exposition	5.872	0.015*
Pente du terrain	41.462	2.377e-10***
Topographie	24.552	9.293e-07***
Altitude	30.411	5.096e-08***
Profondeur du sol	9.958	0.0016**

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

4.2.3.3. Variabilité de la surface terrière des tiges

En ce qui concerne la surface terrière des tiges de chêne liège, le test statistique montre qu'elle est fortement influencée par l'altitude et la topographie (Tableau 14). Elle est encore influencée, mais avec un moindre degré par l'exposition. Globalement, la croissance des tiges de chêne liège (0.13m²) est nettement supérieure dans les placettes inclinées (> 20°) à apport hydrique suffisant (topo3 et 4) et à exposition essentiellement Sud et Sud-Est. De plus, l'altitude semble jouer un rôle de première importance dans la croissance des arbres. Cette dernière est meilleure en basses altitudes (< 1390m) où le sol est profond.

Tableau 14 : Analyse de la variance de la surface terrière des tiges en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%

Facteurs stationnels	F observé	Valeur de P
Exposition	4.644	0.03153*
Pente du terrain	2.7159	0.0995
Topographie	9.826	0.0018**
Altitude	23.541	1.541 ^e -06***
Profondeur du sol	3.80	0.0516

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

4.2.3.4. Variabilité de l'épaisseur du liège des tiges

Les résultats de l'analyse de la variance à un seul facteur au seuil de signification de 95% sont illustrés dans le tableau 14. Il en ressort que la croissance du liège est influencée seulement par l'altitude et l'exposition. En effet, les meilleurs accroissements du liège (2.49mm) sont enregistrés dans les stations basses (< 1390m) et lumineuses (Sud et Sud-Ouest). En revanche, l'épaisseur du liège ne présente aucune corrélation ($r=0.02$) avec les grandeurs des arbres (Tableau 15).

Tableau 15 : Analyse de la variance de l'épaisseur de liège des tiges en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%

Facteurs stationnels	F observé	Valeur de P
Exposition	42.256	1.624e-10***
Pente du terrain	4.7036	0.0304**
Topographie	1.1092	0.292
Altitude	30.944	3.922e-08***
Profondeur du sol	3.77	0.052
Circonférence à 1.30 (m)	1.280	0.2582
Surface terrière (m ²)	0.87	0.349
Hauteur totale (m)	1.127	0.2888

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

4.2.3.5 Variabilité du rendement en liège des tiges en relation avec les descripteurs écologiques

Le rendement en liège des tiges, en rapport avec les facteurs du milieu, se montre fortement lié à la topographie et l'altitude (Tableau 16). En fait, la production est meilleure (15kg) dans les basses altitudes (<1390m) dont l'apport en eau est très favorable (topo 4). Par ailleurs, le rendement est fortement lié aux dimensions de l'arbre. Les plus grosses (1.40m) et

les plus hautes tiges (> 9m) sont les plus productives en liège (> 15kg). Cela est évident dans la mesure où le poids de la planche est dépendant de la circonférence, l'épaisseur du liège et la hauteur d'écorçage. Le tableau ci-dessous consigne ces effets.

Tableau 16 : Analyse de la variance du rendement en liège des tiges en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%

Facteurs stationnels	F observé	Valeur de P
Exposition	1.548	0.2139
Pente du terrain	2.330	0.127
Topographie	9.830	0.0017**
Altitude	33.48	1.128e-08***
Profondeur du sol	4.806	0.028*
Circonférence à 1.30 (m)	3883	2.2e-16***
Surface terrière (m ²)	9558	2.2e-16***
Hauteur totale (m)	2.34.64	2.2e-16***

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

Ainsi, une forte corrélation est enregistrée liant le rendement des arbres, pour un cycle de 11 accroissements complets, à la grosseur des tiges (Figure 52). Il en est de même pour la hauteur des arbres (Figure 53).

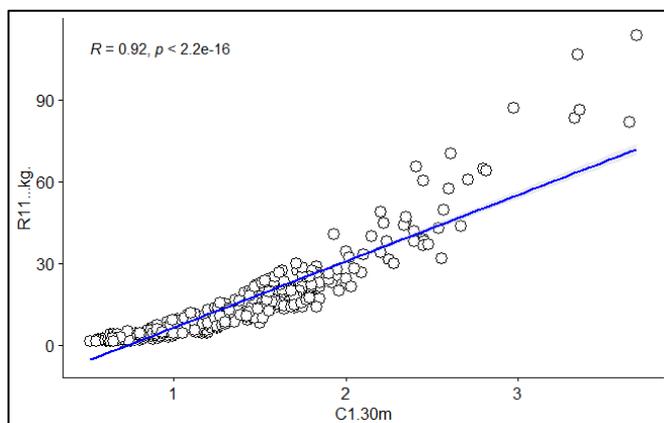


Figure 52 : Corrélation entre le rendement des tiges et la circonférence

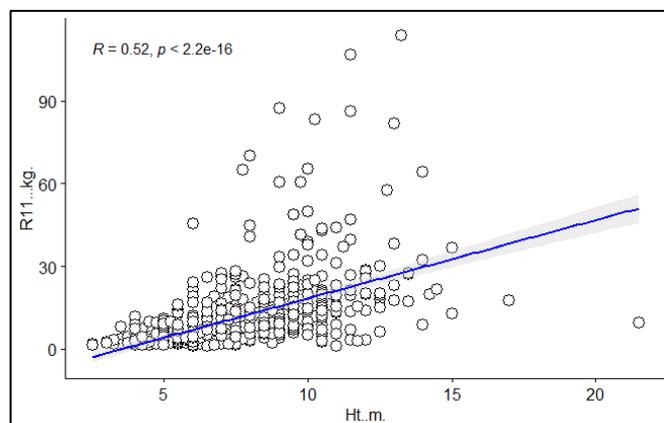


Figure 53 : Corrélation entre le rendement des tiges et la hauteur totale

4.2.3.6. Variabilité du statut social des tiges en relation avec les descripteurs écologiques

Le tableau 17 illustre les résultats de l'analyse de la variance à un seul facteur, au seuil de signification de 95%, entre le statut social des tiges et les descripteurs écologiques. Il en ressort que la répartition des arbres selon leur statut social dépend de l'exposition et de la profondeur du sol. En fait, les arbres à statut social favorable (dominant et co-dominant) sont situés dans des expositions fraîches (Sud-Ouest) à sols profonds. Cependant, aucun effet statistiquement significatif n'est observé entre la position sociale des tiges et la pente du terrain, la topographie, la grosseur et la hauteur.

Tableau 17 : Analyse de la variance du rendement en liège des tiges en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%

Facteurs stationnels	F observé	Valeur de P
Exposition	5.417	0.020*
Pente du terrain	1.75	0.18 ^{ns}
Topographie	1.36	0.24 ^{ns}
Altitude	0.007	0.93 ^{ns}
Profondeur du sol	5.25	0.022*
Circonférence à 1.30 (m)	0.50	0.47 ^{ns}
Surface terrière (m ²)	0.10	0.94 ^{ns}
Hauteur totale (m)	0.02	0.87 ^{ns}

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

4.3. Structure des peuplements à chêne liège et typologie

4.3.1. Description dendrométrique des subéraies

L'étude de la composition des peuplements par la dimension des arbres est un bon indicateur de leur état actuel et rétrospectif. En fait, un manque accru dans l'une des classes de grosseurs ou d hauteurs est considéré comme un signe de déséquilibre. Selon Matias *et al.* (2019), une détection précoce d'un changement dans la structure d'un peuplement permet une prévention contre le déclin avant qu'il devienne irréversible.

Les variables dendrométriques prises en compte pour les peuplements sont celles de la circonférence sous écorce à 1.30m moyenne et dominante, la hauteur totale moyenne et dominante, la surface terrière totale et la densité totale. Les résultats statistiques descriptifs de ces variables sont résumés dans le tableau suivant (Tableau 18).

Tableau 18 : Statistiques descriptives des variables dendrométriques des peuplements de chêne liège

Variables dendrométriques	Moyenne	Minimum	Maximum	Mode	Coefficient de variation (%)
Circonférence moyenne (m)	0.90	0.36	1.66	0.87	34.34
Circonférence dominante (m)	1.28	0.38	2.48	0.75	36.00
Diamètre moyen (m)	0.32	0.13	0.54	/	31.04
Diamètre dominant (m)	0.41	0.14	0.79	0.38	34.24
Hauteur totale moyenne (m)	6.79	3.89	10.68	6	24.60
Surface terrière totale (m ² /ha)	27.20	2.05	75.26	11.76	67.27
Hauteur totale moyenne (m)	6.79	3.89	10.68	6	24.60
Hauteur dominante (m)	8.95	4.3	15.35	7.8	24.59
Densité (pied/ha)	290.94	140	780	220	37.27

4.3.1.1. Circonférence moyenne

Les circonférences moyennes enregistrées pour les peuplements à chêne liège présentent un coefficient de variation de 34%. La distribution des classes de ces circonférences présente un palier. En fait, environ 30% des valeurs sont concentrées autour de 0.90m, soit la valeur moyenne des peuplements (Figure 54). Cette allure traduit la présence d'une futaie irrégulière.

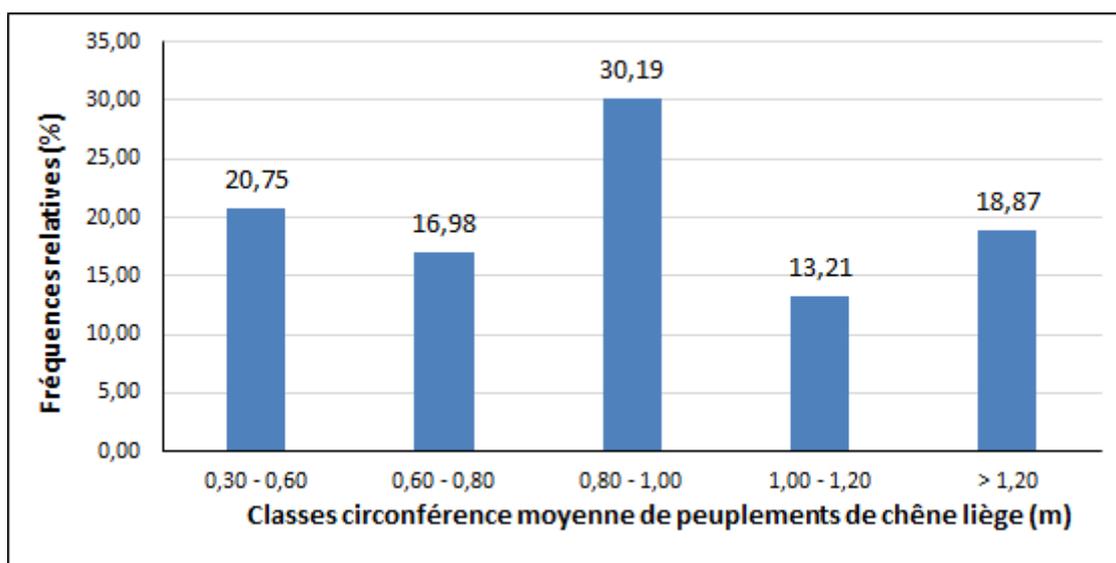


Figure 54 : Fréquences relatives des classes de circonférence moyenne de peuplements de chêne liège

4.3.1.2. Circonférence dominante

La valeur moyenne des circonférences dominantes enregistrées est de 1.28m, allant de 0.38 à 2.48m et avec un coefficient de variation de 36%. La Figure 55 présente la distribution des fréquences relatives des classes de circonférences dominantes ; elle montre une tendance asymétrique droite. La classe de 1 à 1.5m, soit celle des valeurs moyennes, est la plus représentée avec une fréquence relative de 32%.

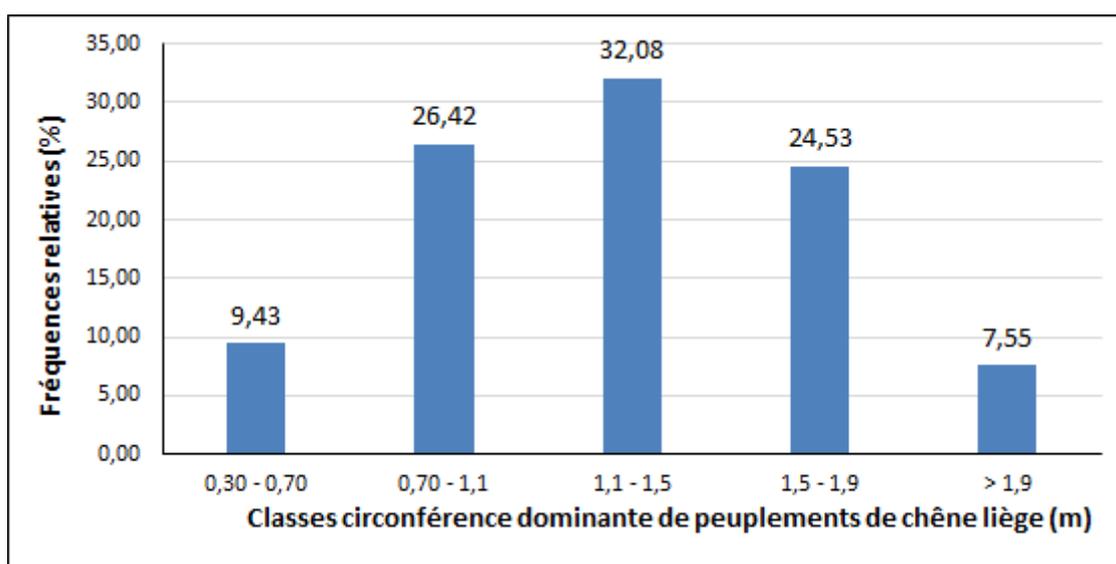


Figure 55 : Fréquences relatives des classes de circonférence dominante de peuplements de chêne liège

4.3.1.3. Surface terrière totale des peuplements

Les surfaces terrières enregistrées à travers les unités de mesure se caractérisent par des valeurs oscillant entre 2 et 75 m²/ha, soit une moyenne de 27.20 m²/ha et une variabilité élevée estimée à 67.27%. La figure 56 de distribution des fréquences relatives des classes de surfaces terrières montre une allure décroissante. La classe de moins de 17 m²/ha (soit celle de surfaces terrières faibles) présente la fréquence relative la plus élevée (36%). Par contre, les classes extrêmes ($G > 60$ m²/ha) ne présente qu'environ 7%.

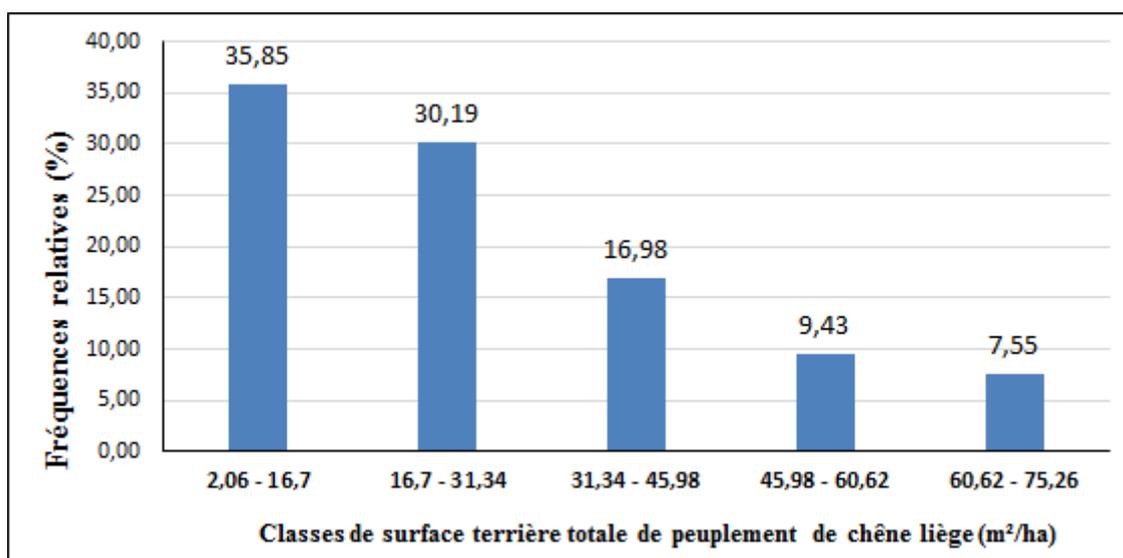


Figure 56 : Fréquences relatives des classes de surface terrière totale de peuplements (G) de chêne liège

4.3.1.4. Hauteur totale moyenne

Les valeurs de la hauteur totale moyenne enregistrées présentent une variabilité relativement faible dans la mesure où le coefficient de variabilité est de 24. 60%. La figure 57 montre que la distribution des fréquences relatives des classes de hauteurs est asymétrique droite. Les classes de hauteur de 5 à 7 m sont celles les plus représentées avec une fréquence relative de plus de 59%.

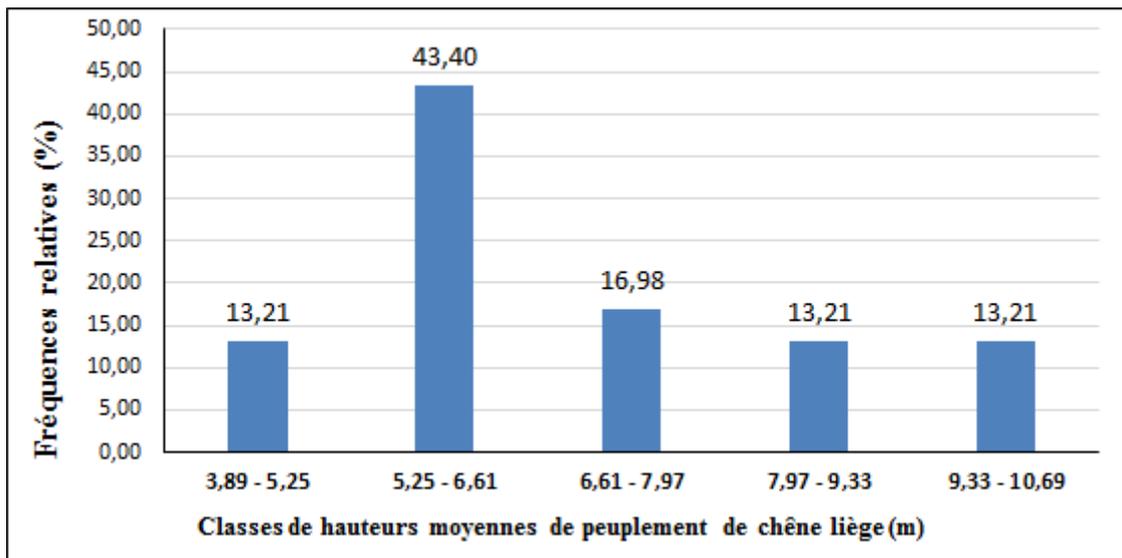


Figure 57 : Fréquences relatives des classes de hauteur moyenne de peuplements de chêne liège

4.3.1.5. Hauteur dominante

Les hauteurs dominantes enregistrées présentent une faible variabilité (CV= 24.59%). Elles varient de 4 à 15m selon les placettes. En effet, la distribution des fréquences relatives présente une asymétrie droite (Figure 58). La classe de 6 à 9m est la plus représentée avec une fréquence relative de 33.96%. Par ailleurs, la classe la moins représentée (soit 3.77%) est celle de plus de 13m.

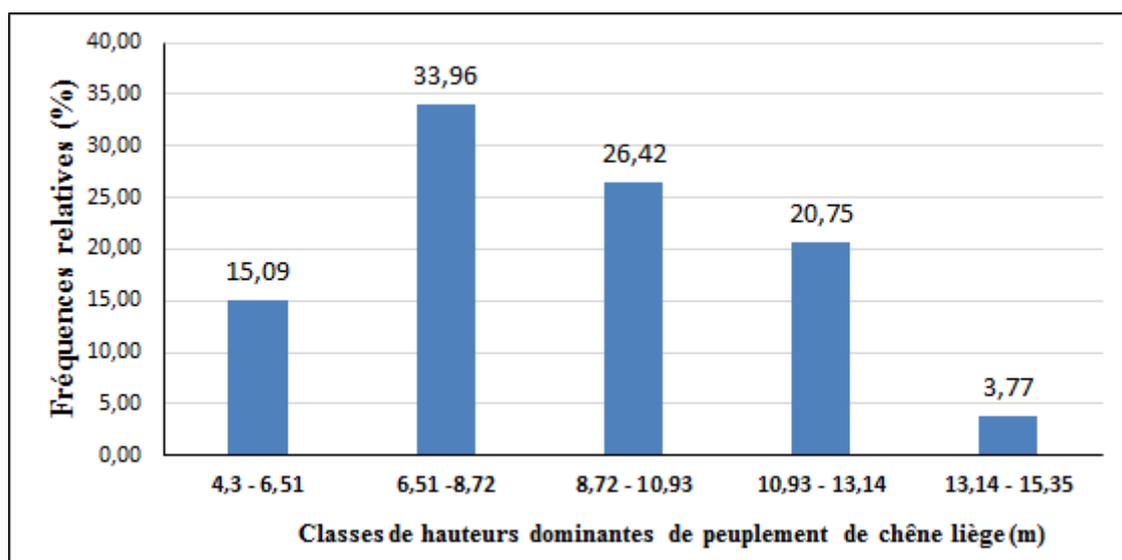


Figure 58 : Fréquences relatives des classes de hauteur dominante de peuplements de chêne liège

4.3.1.6. Densité totale des peuplements de chêne liège

Les densités enregistrées à travers les placettes d'échantillonnage varient de 140 à 780 pieds/ha et avec un coefficient de variation de 37.27%. Par ailleurs, sa distribution par classe présente un dynamisme décroissant (Figure 59). La classe des densités faibles (<240 pieds/ha) à moyennes (204-304 pieds/ha) présente une fréquence relative élevée de 35.85%. Par contre, les peuplements les plus denses (> 540 pieds/ha) ne présentent que 2% environ de l'ensemble des prélèvements.

La détermination de la densité optimale des subéraies est primordiale. Elle permet un dosage adéquat des arbres et offre un espace vital suffisant (extension maximale du houppier). Dans le cas du chêne liège, cela améliore le rendement des arbres en liège et augmente la production subéreuse (Natividade, 1956).

Cependant le calcul du coefficient d'espacement de ces peuplements irréguliers, n'est pas évident. L'ajustement des écarts entre les tiges nécessite une intervention sylvicole particulière dont le taux d'éclaircie est variable d'un peuplement à l'autre. Selon Natividade (1956), il faut éviter un passage brusque d'un peuplement dense à clair. Les éclaircies doivent être progressives et à intervalles plus courts. En fait, la production en liège est inférieure à la production normale possible dans les peuplements excessivement éclaircis.

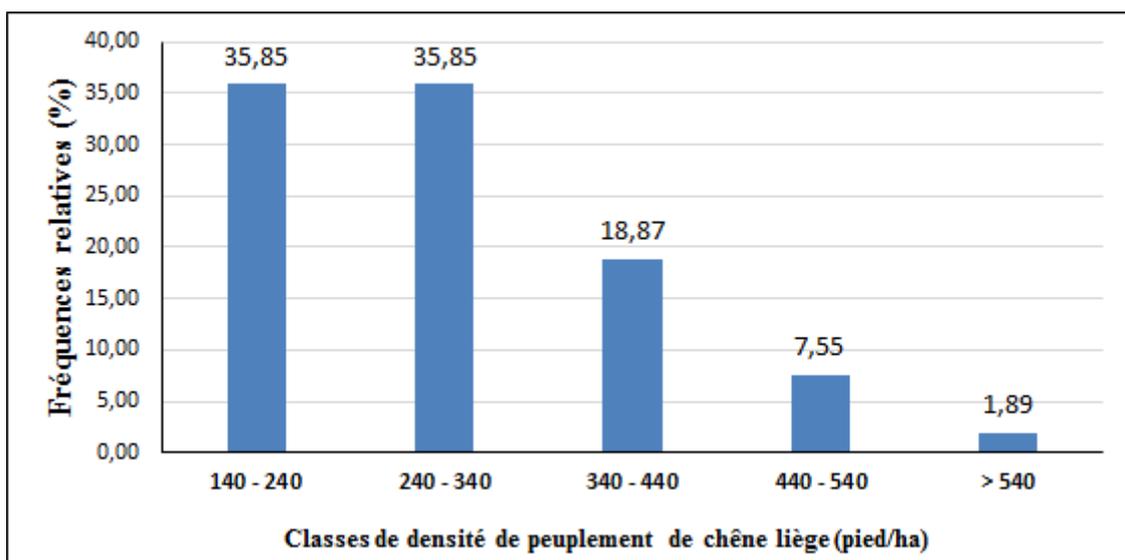


Figure 59 : Fréquences relatives des classes de densité de peuplements de chêne liège

4.3.2. Caractérisation du peuplement de chêne liège à travers les facteurs stationnels

La caractérisation de la structure des peuplements, pour qu'elle soit rationnelle, nécessite une mise en évidence de l'effet des facteurs stationnels sur sa variabilité. La mesure de cette interférence est réalisée par le biais d'une analyse de la variance à un seul facteur au seuil de signification de 95%. En fait, elle traduit les potentialités et contraintes que présente chaque facteur sur la croissance des peuplements forestiers.

Les différents résultats d'analyse obtenus sont présentés pour les paramètres dendrométriques retenus suivants : (i) circonférences moyenne et dominante, (ii) hauteurs totale moyenne et dominante, (iii) surface terrière totale et (iv) densité. Ainsi, la stratification des facteurs stationnels retenue est résumée au niveau du tableau 19

Tableau 19 : Stratification des facteurs stationnels

Facteurs stationnels	strates	Fréquence relative (%)
Exposition	SW	37.74
	S	58.49
	SE	03.77
Pente du terrain	0 - 10°	39.62
	10 - 20°	33.96
	20 - 30°	26.42
Topographie	Topo 1 et 2	07.55
	Topo 3	39.62
	Topo 4	52.80
Altitude	1290 - 1390 m	35.85
	1390 - 1490 m	60.38
	> 1490 m	03.77
Profondeur du sol	< 30 cm	52.83
	30 – 60 cm	39.62
	> 60 cm	07.55

Le prélèvement des descripteurs écologiques à travers les unités de mesure montre que plus de 58% des peuplements à chêne liège sont situés sur des expositions Sud. De plus, environ 52% de ces peuplements sont installés sur des stations profondes où l'apport d'eau est très favorable (Topo 4). Par ailleurs, le chêne liège à Theniet-El-Had s'installe aussi bien sur des terrains plats (39.62%) que sur terrains à forte inclinaison (26.42%). Le tableau 18 permet de tirer ces premiers constats.

Il ressort des mesures que la circonférence moyenne varie selon l'altitude. En effet, la croissance en grosseur se montre très favorable en peuplements situés en basses altitudes. Cela est évident dans la mesure où l'alimentation en eau est abondante et les sols sont

profonds. Hormis l'altitude, les autres facteurs du milieu ne présentent aucun effet sur la croissance radiale du chêne liège. Le tableau 20 illustre les résultats de l'analyse de la variance à un facteur (ANOVA1).

Tableau 20 : Analyse de la variance de la circonférence moyenne des peuplements en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%

Facteurs stationnels	F observé	Valeur de P
Exposition	3.53	0.06605 ^{ns}
Pente du terrain	0.52	0.4747 ^{ns}
Topographie	3.90	0.05365.
Altitude	4.30	0.04314*
Profondeur du sol	3.77	0.05774.

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

4.3.2.1. Variabilité de la circonférence dominante en relation avec les descripteurs écologiques

Les différents facteurs du milieu prélevés ne présentent aucun effet significatif sur la circonférence dominante. Le tableau 21 révèle cette observation.

Tableau 21 : Analyse de la variance de la circonférence dominante des peuplements en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%

Facteurs stationnels	F obs.	Valeur de P
Exposition	1.231	0.2724 ^{ns}
Pente du terrain	2.3014	0.1354 ^{ns}
Topographie	2.7616	0.1027 ^{ns}
Altitude	1.0119	0.3192 ^{ns}
Profondeur du sol	2.4623	0.1228 ^{ns}

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

4.3.2.2. Variabilité de la surface terrière totale en relation avec les descripteurs écologiques

L'analyse de la variance (Tableau 22) fait ressortir un effet très hautement significatif de la pente du terrain sur la surface terrière totale des peuplements. Cette dernière est largement bonne (45.63 m²/ha) dans les stations à moyenne et forte pente (>20°). En fait, le chêne liège enregistre un écart moyen de 22 m²/ha par rapport aux stations où le terrain est plat. Il s'agit, en fait, de chênes lièges installés, localement en microreliefs concaves, pouvant maintenir une bonne croissance suite à son enracinement très profond pour se procurer d'eau.

On Cite à titre d'exemple, les peuplements situés proches des cours d'eau (site : Oued El Fernane) ou des retenues collinaires (canton Sidi Abdoune).

Il est à signaler que les peuplements de la classe de pente 0 à 10° (soit les pentes très faibles) sont très clairs et dégradés avec un sous-bois très dense. Les arbres ayant des grandeurs importantes sont rares mais les rejets de souches et les cépées sont abondants. Cette composition est particulièrement due aux incendies anciens ayant parcouru la forêt conjugée à un manque de conduite sylvicole adéquate. Ainsi, les faibles grandeurs d'arbres ($C1.30m < 0.60m$ et hauteur totale $< 4m$) enregistrées sur les terrains plats s'expliqueraient par l'effet anthropique et non pas par l'effet de pente.

Ce constat corrobore avec celui de Zedek (1993) : « *le versant Sud est constitué suites aux incendies répétés et aux délits de coupes commis, d'une certaine dominance de maquis de chêne vert, fourrés de chêne zeen et de cépées de chêne liège principalement à partir des basses altitudes (inférieures à 1450m)* ». La capacité de résilience des subéraies est affectée par la récurrence des feux (plus de trois feux en 30 ans). En fait, leur transformation en maquis ou garrigues, est la conséquence la plus probable de ces facteurs mais aussi de la dégradation des sols (Chouahda, 2016). Quant aux autres éléments stationnels, ceux-ci ne présentent aucun effet significatif sur la surface terrière du chêne liège.

Tableau 22 : Analyse de la variance de la surface terrière des peuplements en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%

Facteurs stationnels	F observé	Valeur de P
Exposition	0.183	0.6706 ^{ns}
Pente du terrain	28.424	2.237e-06 ^{***}
Topographie	0.5109	0.478 ^{ns}
Altitude	0.3356	0.5649 ^{ns}
Profondeur du sol	0.3608	0.5507 ^{ns}

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

4.3.2.3. Variabilité de la hauteur totale moyenne

Au même titre que la surface terrière, la hauteur totale moyenne présente une variabilité en rapport avec la pente du terrain. Il ressort de l'analyse que la croissance est encore meilleure (08.40m) sur des stations à forte inclinaison ($> 20^\circ$). Par ailleurs, l'analyse de la variance (Tableau 23) n'indique aucun effet significatif de l'altitude, l'exposition, la topographie et de la profondeur du sol sur la croissance en hauteur des chênes lièges.

Tableau 23 : Analyse de la variance de la hauteur totale moyenne des peuplements en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%

Facteurs stationnels	F observé	Valeur de P
Exposition	0.1637	0.6875 ^{ns}
Pente du terrain	28.811	1.969e-06***
Topographie	1.9893	0.1645 ^{ns}
Altitude	0.3806	0.5400 ^{ns}
Profondeur du sol	1.7712	0.1892 ^{ns}

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

4.3.2.4. Variabilité de la hauteur dominante en relation avec les descripteurs écologiques

L'analyse de la variance montre un effet significatif de l'exposition sur la croissance en hauteur dominante des peuplements à chêne liège (Tableau 24). Elle est meilleure sur les expositions Sud-Ouest, de l'ordre de 10.12m où elle montre une préférence pour les stations lumineuses à topographie favorable. De plus, la hauteur dominante est encore bonne (Hd_≈, 10,30m en moyenne) en exposition Sud-Est. Ces dernières sont fraîches en état de mixture où il se montre compétitif. Par contre, elle n'est que de 8m dans les stations Sud, souvent à mauvaise alimentation en eau.

Tableau 24 : Analyse de la variance de la hauteur dominante des peuplements en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%

Facteurs stationnels	F observé	Valeur de P
Exposition	6.067	0.01719*
Pente du terrain	2.4977	0.1202 ^{ns}
Topographie	3.4486	0.06908.
Altitude	3.9362	0.05265.
Profondeur du sol	2.9188	0.09364.

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

4.3.2.5. Variabilité de la densité totale en relation avec les descripteurs écologiques

La densité des peuplements varie significativement en rapport avec l'exposition et l'altitude (Tableau 25). En fait, elle est supérieure en exposition Sud-Ouest où elle atteint en moyenne une valeur de 560 pieds/ha. Par contre sur stations Sud-Est, cette densité est beaucoup plus réduite de l'ordre de 270 pieds/ha. Cela s'explique par le fait, que le chêne liège devient fortement concurrencé par le chêne zeen et le cèdre de l'Atlas sur les stations fraîches, où il ne présente que près de 40% des mélanges.

Par ailleurs, la densité dépasse les 350 pieds/ha sur les hautes altitudes (plus de 1420 m). Cela est évident dans la mesure où ces peuplements ayant subi des incendies répétés anciennes. Ils sont composés de futaies mais encore de jeunes sujets issus de rejets de souches. En revanche, les subéraies des basses altitudes constituent de vieilles futaies ayant des densités inférieures à 240 pied/ha.

Le nombre de pieds à l'hectare décroît assez rapidement avec l'âge. L'estimation de la densité des boisements ne peut être visuelle et est dépendante de l'aspect moyen des peuplements évalués (Saccardy, 1937).

Tableau 25 : Analyse de la variance de la densité des peuplements en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%

Facteurs stationnels	F observé	Valeur de P
Exposition	4.8312	0.03251*
Pente du terrain	0.0105	0.9187 ^{ns}
Topographie	0.1542	0.6962 ^{ns}
Altitude	7.0052	0.01078*
Profondeur du sol	0.1261	0.7239 ^{ns}

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

4.3.3. Typologie structurale des subéraies

4.3.3.1. Caractérisation des subéraies à travers le triangle typologique

Une bonne gestion des subéraies de Theniet-El-Had nécessite une bonne connaissance de sa typologie structurale. De ce fait, une projection des placettes d'étude est faite sur un triangle structural (Bedel et Tomasini, 2002). De plus l'ACP ainsi réalisée s'appuie sur une classification hiérarchique descendante offrant une description détaillée des types de subéraies.

Après avoir tiré la fréquence relative de chacune des catégories de bois pour chaque placette, une projection à l'intérieur du triangle typologique est établie comme suit (Figure 60) :

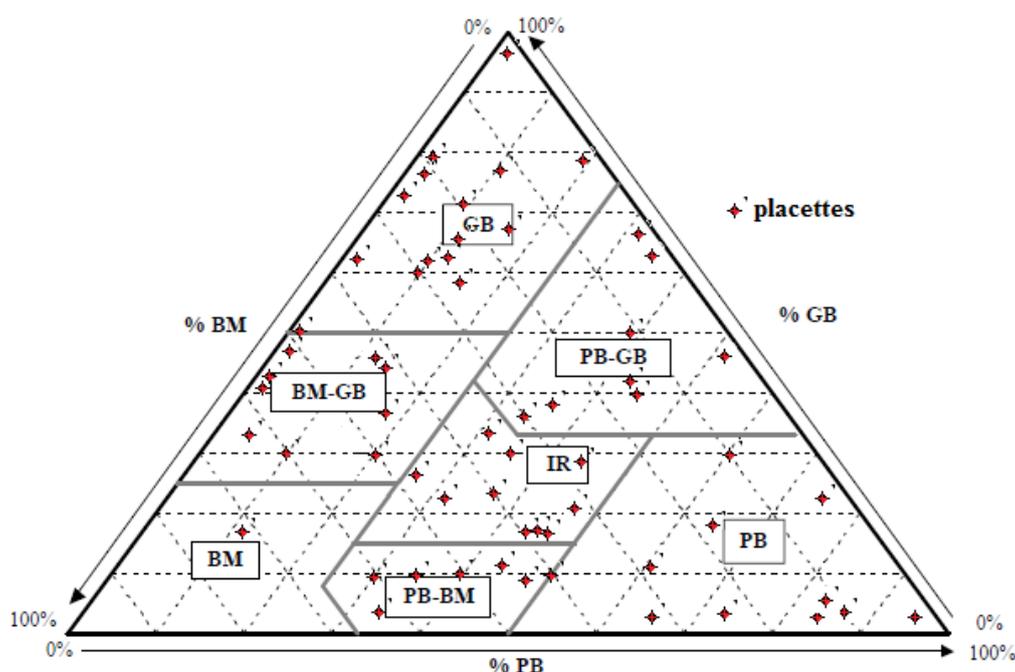


Figure 60 : Projection des placettes d'étude dans le triangle de typologie

(source du triangle vierge : Bedel et Tomasini, 2002)

Les résultats des fréquences de type de bois montrent que les peuplements apparaissent fortement dispersés dans le triangle reflétant une diversité de composition et de variétés de bouquets à la fois irrégulières et régulières dominées par une ou deux catégories de bois. Leurs fréquences relatives sont plus ou moins équilibrées. Ainsi, la lecture de la présentation graphique des placettes projetées permet de tirer les constatations suivantes :

1. 17% des peuplements sont des subéraies régulières à petit bois ;
2. 17% des peuplements sont des subéraies régulières à petit et moyen bois ;

3. 12% des peuplements sont des subéraies régulières à petit et gros bois ;
4. 2% seulement des peuplements sont des subéraies régulières à bois moyen ;
5. 17% des peuplements sont des subéraies à bois moyen et gros bois ;
6. 12% des peuplements sont des subéraies irrégulières à petit, moyen et gros bois ;
7. 23% des peuplements sont à gros bois (purs et mixtes).

4.3.3.2. Caractérisation des subéraies à travers l'analyse en composantes principales

Une typologie structurale est réalisée, sur la base des données de catégories de bois offertes à travers les unités d'échantillonnages. En fait, une analyse en composante principale (ACP) réalisée sur une matrice de distribution du nombre de tiges dans 16 classes de peuplements et 77 placettes est présentée dans la figure 61. La lecture de cette figure montre que les deux premiers axes représentent 75.65% de la variance.

Le premier axe constitue un passage de peuplements jeunes et mixtes, ayant de très faibles dimensions, contre les peuplements plus âgés aux dimensions plus importantes (encore mixtes). De plus, cet axe représente encore un gradient décroissant de la proportion du chêne liège à l'intérieur des peuplements mixtes.

Signalons que le groupe comportant les jeunes peuplements intervient le moins dans la variabilité globale de l'ACP. En fait, les peuplements de Theniet-El-Had, quel que soit leur essence sont exposés à un problème majeur de régénération.

L'analyse des mélanges à l'intérieur du groupe des peuplements mixtes et âgés révèle une dominance du chêne zeen par rapport au chêne liège. Ce dernier dépasse rarement les 40% des mélanges et est en lutte continue pour la lumière. Par conséquent, les arbres présentent plutôt un statut social intermédiaire et co-dominant, signe d'une compétition très rude. Par ailleurs, le chêne liège devient plus compétitif lorsqu'il se mélange aux jeunes tiges de Cèdre de l'Atlas dans des expositions plus ensoleillées.

Le deuxième axe regroupe les peuplements purs à chêne liège. Ils sont structurés en bouquets d'arbres à petit, moyen, gros et très gros bois. En fait, les subéraies qui forment la zone d'étude présentent un aspect global jardiné avec des peuplements élémentaires composés de groupes d'arbres à structure plus ou moins régulière.

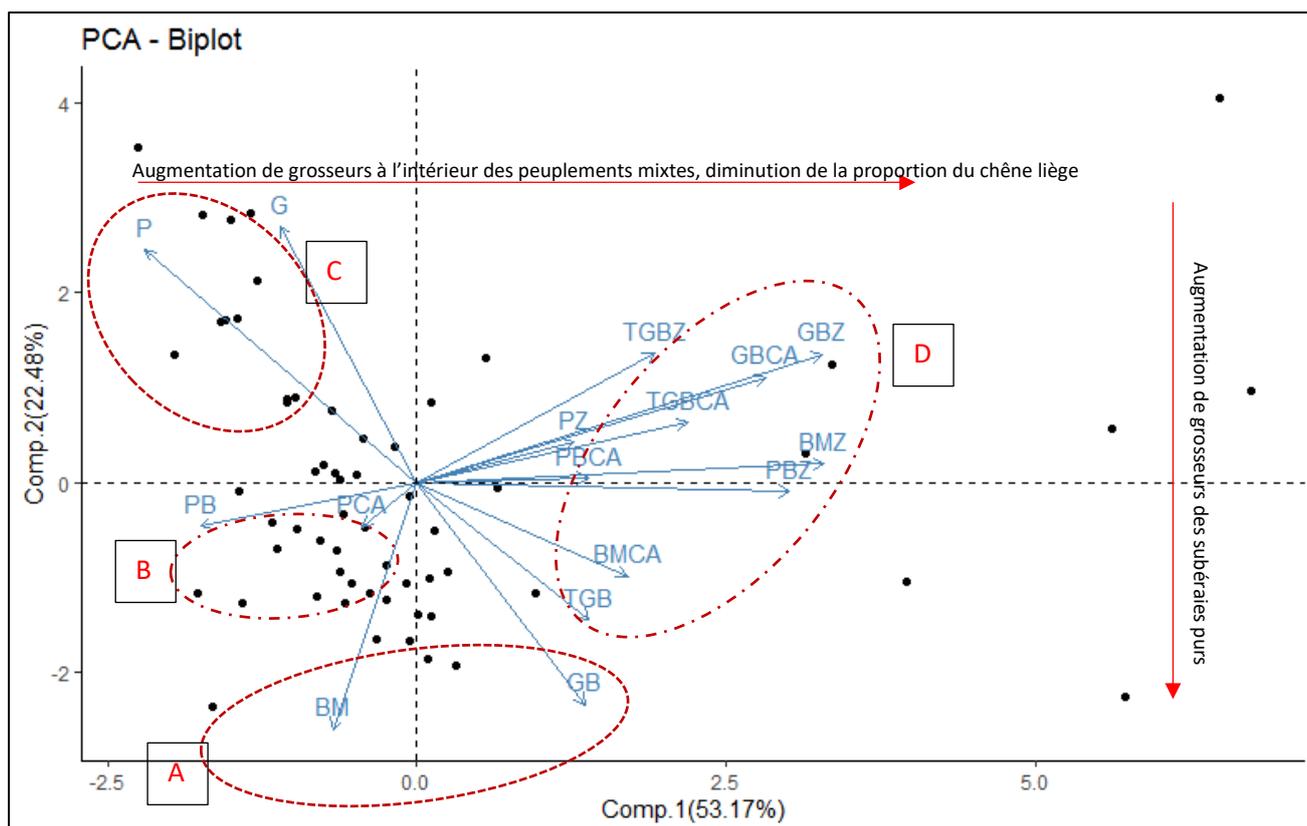


Figure 61 : Typologie structurale des subéraies de Theniet-El-Had selon les catégories de bois réalisées par analyse en composantes principales (ACP), projections variables et individus (placettes)

Les subéraies irrégulières se caractérisent par une grande variabilité de densités et de recouvrement. Cependant, elles offrent une production continue de liège suite au renouvellement continu des classes de diamètre. Quoique la gestion de telles subéraies réclame un suivi continu, elle offre cependant une production constante et une régénération plus aisée (ODARC, 2002 et 2008).

Ainsi, la projection des individus (placettes) sur ce plan met en évidence quatre grands groupes comme suit (Figure 61) :

- A : subéraies pures à bois moyen, gros bois et très gros bois.
- B : subéraies mixtes à petit bois (dominées par le chêne liège).
- C : subéraie à perches et gaules
- D : peuplements mixtes où domine le chêne zeen.

4.3.3.3. Caractérisation des subéraies à travers une classification hiérarchique ascendante

De plus, la matrice de données présentant la fréquence de chacune des catégories de bois à l'intérieur des placettes d'étude, soumise à une classification hiérarchique ascendante a révélé les résultats suivants (Figure 63).

A travers cette figure il ressort, de même que l'ACP, quatre groupes (ou types) aux principales caractéristiques suivantes :

1. **Type 1** : subéraies irrégulières à chêne liège dominant (plus de 60% des mélanges) représentées par les bois moyen, gros et très gros bois ;
2. **Type 2** : subéraies irrégulières mixtes à chêne liège dominée (moins de 40% des mélanges) représentées par les bois moyen, gros et très gros bois ;
3. **Type 3** : subéraies pures à gaules et perches ;
4. **Type 4** : subéraies irrégulières à perches, petits bois, bois moyen et gros bois. Elles sont marquées par l'absence de gaules et de très gros bois. Ces subéraies sont composées de bouquets pouvant être décomposés en 3 sous-groupes ou sous types. Il s'agit en fait de subéraies à perches et petits bois (sous type 'a'), subéraies à petits bois et bois moyen (sous type b) et subéraies irrégulières à petits bois, bois moyen et gros bois (sous type 'c')

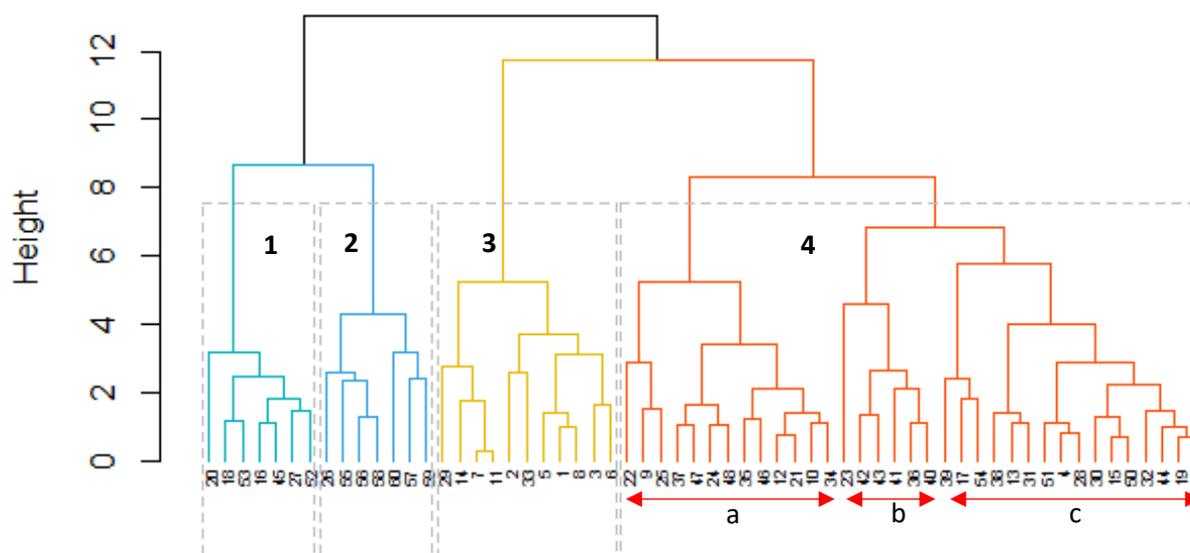


Figure 62 : Classification hiérarchique ascendante des groupes de peuplements inventoriés (les chiffres désignent les types de peuplements, les lettres désignent les sous-types)

L'hétérogénéité des peuplements résulte de la variation des situations écologiques et vraisemblablement des traitements sylvicoles ainsi reçus. Par conséquent, ils sont façonnés en classes d'âges et de structures différents, d'intérêts économiques ou patrimoniaux très variés (Chollet et Kuus, 1998).

Chaque type de peuplement fera objet de description détaillée, ainsi qu'une clef de détermination est illustrée à travers la figure 84.

Type 1 : Subéraies irrégulières à bois moyen, gros et très gros bois

Relevés correspondants : placettes 36, 34, 69, 32, 61, 43, 68

Caractéristiques des peuplements :

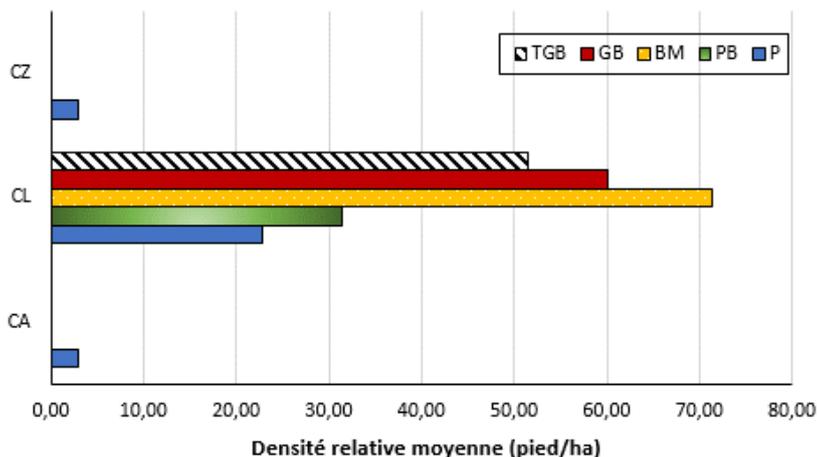


Figure 63 : Densité relative moyenne par espèce et par catégorie de bois

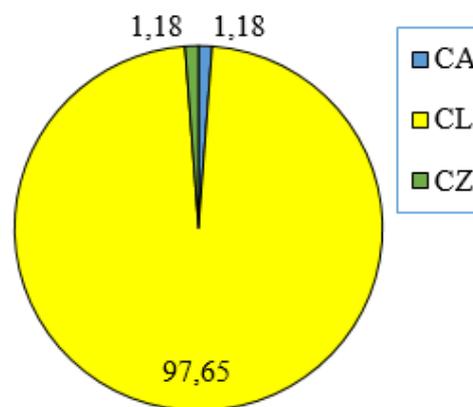


Figure 64 : Composition par espèce (type1)

Tableau 26 : Caractéristiques moyennes des subéraies du type 1

Densité totale	249 (pied/ha)
Densité relative du CL	242 (pied/ha)
C _{1.30m} du CL	1.6 m
Circonférence des arbres dominants	2.23 m
Hauteur moyenne du CL	9 m
Hauteur dominante du CL	10.94 m
Surface terrière totale moyenne	58.42 m ² /ha
Nature du liège	Femelle (78%)
Poids du liège moyen/pied	19.46 kg/pied
Poids du liège moyen/ha	46.2 quintaux
Indice sanitaire	2.4
Recouvrement	45%

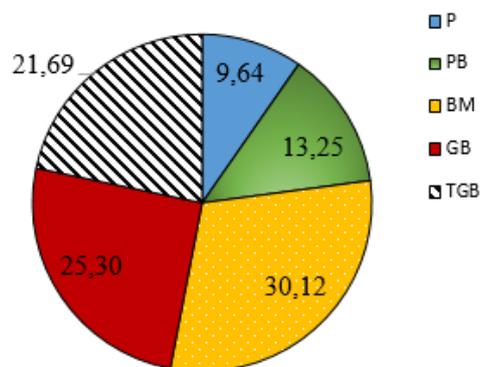


Figure 65 : Composition par catégorie de diamètre du chêne liège (type1)

Description des peuplements :

Ce type de peuplement est composé essentiellement de chêne liège (plus de 97%) et représente environ 12% de l'ensemble des prélèvements. D'une densité moyenne de près de 250 pieds/ha et dont le liège est majoritairement exploité (78%). Ces subéraies sont représentées essentiellement par arbres à bois moyen, gros bois et très gros bois dont les fréquences relatives sont respectivement 30, 25 et 21%. Ainsi, cette futaie peut être considérée adulte mais à l'état déséquilibré suite au manque dans les classes de petites dimensions. Ces

derniers présentent une densité moyenne inférieure à 300 pieds/ha (Figure 64). Le tableau 26 présente les principales caractéristiques dendrométriques et de production de ces subéraies.

Il est à signaler que, ces subéraies présentent un indice sanitaire élevé et sont par conséquent en état de dépérissement, probablement épuisés par la production du liège et les mauvaises pratiques. La quantité de liège offerte par arbre est relativement élevée suite (Tableau 26) à leurs dimensions importantes (Tableau 26).

La régénération de ces subéraies est une nécessité majeure garantissant une continuité de production en liège. Ces peuplements, de basses altitudes (moins de 1400m), sont potentiellement aptes à une régénération aisée suite à leurs situations topographiques favorables (bonne accumulation d'eau en sols profonds).

Type 2 : Subéraies mixtes (Zennaie)

Relevés correspondants : placettes 42, 71, 72, 74, 76, 73, 75

Lest figures 67, 68 et 69 permettent de visualiser le type 2 de peuplements à chêne liège et le tableau 27 illustre par contre les caractéristiques que présente le chêne liège à l'intérieur de ce type de peuplements.

Caractéristiques des peuplements :

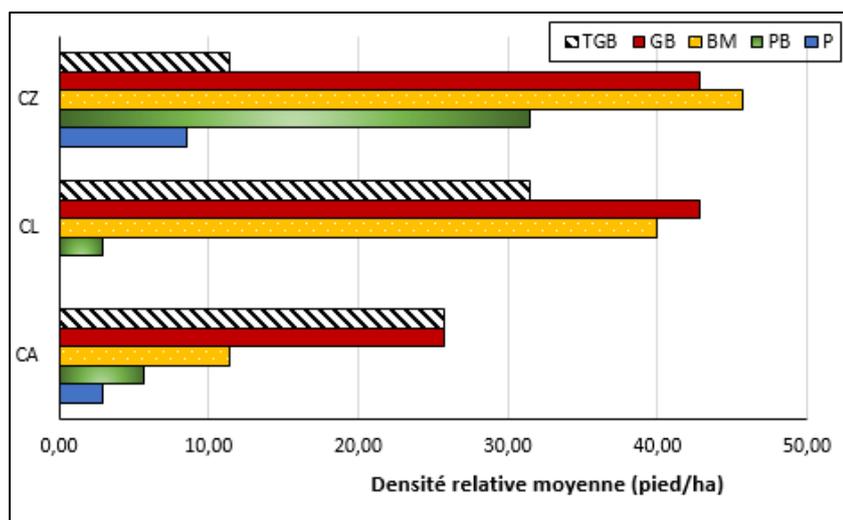


Figure 66 : Densité relative moyenne par espèce et par catégorie bois (type 2)

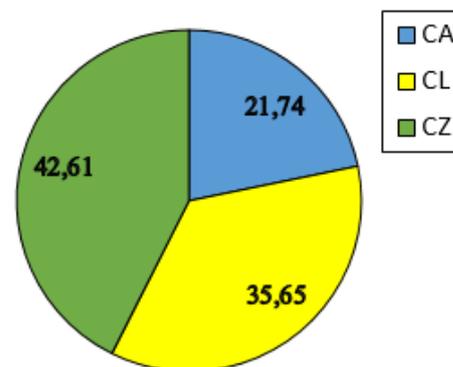


Figure 67 : Composition par espèce (type2)

Tableau 27 : Caractéristiques moyennes du chêne liège du type 2

Densité totale	328 pied/ha
Densité relative du CL	118 pied/ha
C _{1.30m} du CL	1.66 m
Circonférence des arbres dominants du CL	1.91 m
Hauteur moyenne du CL	12.01 m
Hauteur dominante du CL	11.77 m
Surface terrière totale moyenne	28.37 m ² /ha
Nature du liège	Femelle (100%)
Poids du liège moyen/pied	26.29 kg/pied
Poids du liège moyen/ha	27.57 quintaux
Indice sanitaire	1.02 (sain)
Recouvrement	80%

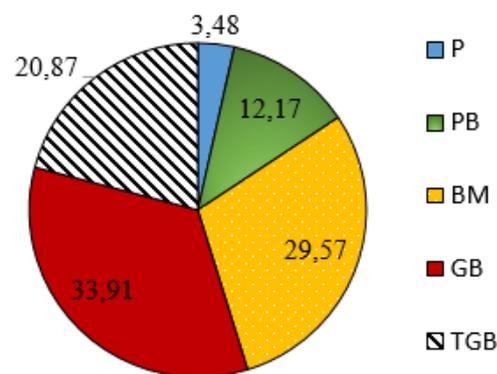


Figure 68 : Composition par catégorie de diamètre du chêne liège (type2)

Description des peuplements :

Ces peuplements sont mixtes où le chêne liège présente une fréquence relative de 35% des mélanges (Figure 68). Ils sont dominés par le chêne zeen avec une fréquence

relative de plus de 42%. Il est à signaler que, ce type de peuplement représente près de 12% de l'ensemble des peuplements inventoriés.

Il se rencontre dans une tranche altitudinale allant de 1400 à 1590m, dans des situations topographiques favorables aux expositions fraîches. Il est essentiellement composé de gros et bois moyen (Figure 67).

Les futaies à chêne zeen (Figure 66), d'une densité relative moyenne de 140 pieds/ha, sont composées essentiellement de bois moyen et gros bois (plus de 60%). La densité des perches est inférieure à 100 pieds/ha, soit une fréquence relative de moins de 3%, indiquant une insuffisance de régénération pour cette essence.

De plus, le Cèdre de l'Atlas, d'une densité moyenne relative inférieure à 100 pieds/ha, est représenté essentiellement par les gros très gros bois, d'une fréquence relative de 22%. Comme celle du chêne zeen, la régénération du Cèdre n'est pas satisfaisante dans la mesure où les perches ne présentent que 1% de l'ensemble des mélanges.

Par ailleurs, le chêne liège présente une densité relative moyenne de 118 pieds/ha et est composé essentiellement de gros bois et bois moyen (fréquence relative de 25%). En revanche, la catégorie des perches est entièrement absente. Le chêne liège à bois moyen se montre dominant par rapport aux autres essences, mais devient moins compétitif et dominé dans la catégorie des très gros bois.

Il est à signaler que les plus grosses et les plus hautes tiges sont contenues dans ce groupe de peuplements. Ainsi, devant la faible densité des peuplements, la production en liège est compensée par les dimensions importantes des arbres ; elle est de l'ordre de 26.29 kg/pied (Tableau 27).

Type 3 : Subéraies à gaules et perches

Relevés correspondants : placettes 45, 30, 19, 26, 05, 49, 13, 04, 21, 07, 17

Lest figures 69, 70 et 71 permettent de visualiser le type 2 de peuplements à chêne liège et le tableau 28 illustre par contre les caractéristiques que présente le chêne liège à l'intérieur de ce type de peuplements.

Caractéristiques des peuplements :

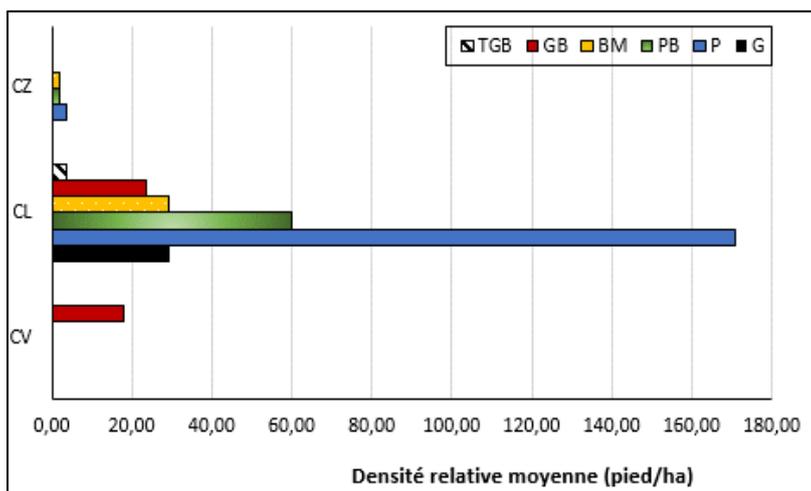


Figure 69 : Densité relative moyenne par espèce et par catégorie bois (type 3)

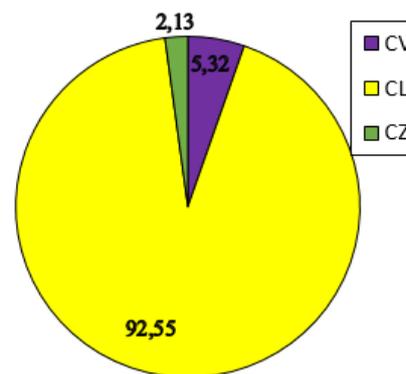


Figure 70 : Composition par espèce (type3)

Tableau 28 : Caractéristiques moyennes du chêne liège du type 3

Densité totale	342 pied/ha
Densité relative du CL	316pied/ha
C _{1.30m} du CL	0.82 m
Circonférence des arbres dominants du CL	1.17 m
Hauteur moyenne du CL	5.8 m
Hauteur dominante du CL	7.35 m
Surface terrière totale moyenne	21.84 m ² /ha
Nature du liège	naturel (80%)
Poids du liège moyen/pied	12.69 kg/pied
Poids du liège moyen/ha	17.77 quintaux
Indice sanitaire	1.67 (affaiblis)
Recouvrement	58 %

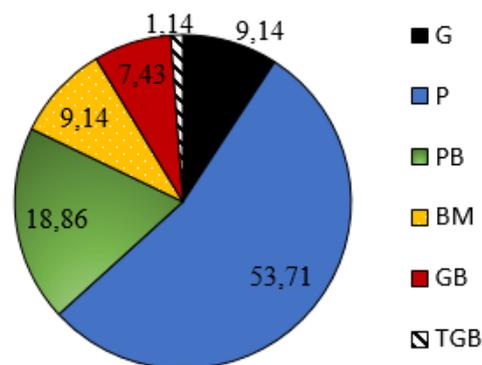


Figure 71 : Composition par catégorie de diamètre du chêne liège (type3)

Description des peuplements

Ce type de peuplement est composé essentiellement de jeunes chênes liège avec une fréquence relative de plus de 90%. Il se mélange au chêne vert dans une tranche altitudinale allant de 1369

à 1477 m, dans variantes relativement xérique. Ce type de subéraies constitue 18% des peuplements échantillonnés.

Les perches et les gaulis constituent près de 63% des tiges de chêne liège. En revanche la catégorie des grosses tiges, soit celle des gros bois et très gros bois, ne présente que 10% environ. Ces peuplements sont donc considérés comme jeunes mais affaiblis dans la mesure où l'indice sanitaire est de 1.67. Un diagnostic profond permettra d'améliorer l'état de santé de ces peuplements et accélère leurs accroissements en grosseur et en hauteur.

Il est à signaler que, ces peuplements sont encore marqués par la présence de taillis de chêne liège à sous-bois dense. Le recouvrement de ces subéraies est moyen (58%), portant en grande partie un liège naturel suite aux faibles dimensions que présente les tiges.

Ce type de peuplement présente une quantité de liège produite la plus faible mais l'application d'une conduite sylvicole appropriée permet le passage des perches aux catégories de bois supérieure et d'améliorer, ainsi, le rendement des subéraies d'avenir.

Type 4 : Subéraies irrégulières à perchis, petit bois et bois moyen

Relevés correspondants : placettes 38, 23, 41, 53, 63, 40, 64, 51, 62, 27, 37, 25, 50, 39, 58, 59, 57, 52, 56, 55, 33, 70, 54, 29, 47, 67, 12, 44, 46, 31, 66, 48, 60, 35, 65.

Caractéristiques des peuplements :

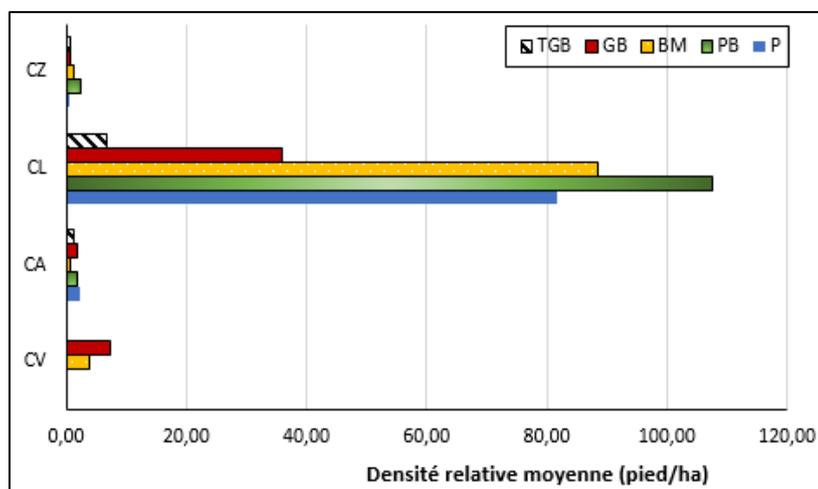


Figure 72 Densité relative moyenne par espèce et par catégorie bois (type 4)

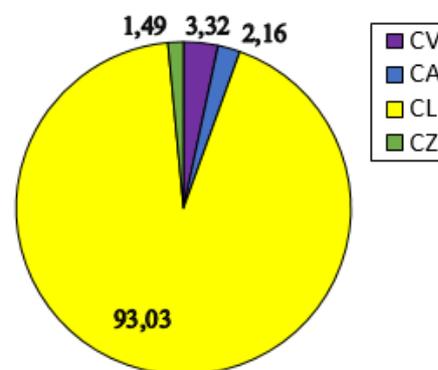


Figure 73 : Composition par espèce (type4)

Tableau 29 : Caractéristiques moyennes du chêne liège du type 4

Densité totale	344 pied/ha
Densité relative du CL	321 pied/ha
C _{1.30m} du CL	1.06 m
Circonférence des arbres dominante du CL	1.47 m
Hauteur moyenne du CL	6.94 m
Hauteur dominante du CL	8.98 m
Surface terrière totale moyenne	29.84 m ² /ha
Nature du liège	Femelle (48%)
Poids du liège moyen/pied	13.58 kg/pied
Poids du liège moyen/ha	29.07 quintaux
Indice sanitaire	2.49 (affaiblis)
Recouvrement	48 %

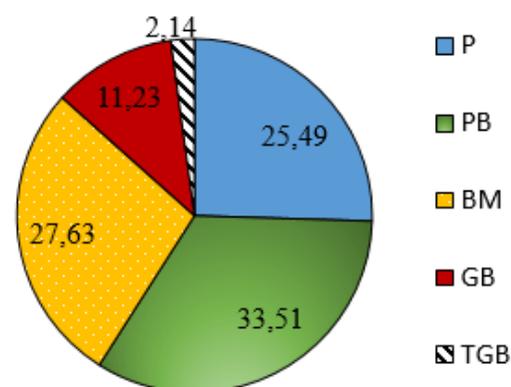


Figure 74 : Composition par catégorie de diamètre du chêne liège (type4)

Description des peuplements

Ce type de peuplement constitue une grande partie des subéraies de Theniet-El-Had, soit 42% de l'ensemble des prélèvements. Le chêne liège constitue plus de 93% (Figure73) et est mélangé aux autres essences forestières (Cèdre de l'Atlas, chêne zeen et chêne vert). Situés dans des altitudes variant de 1320 à 1520 m (Figure 72).

Les arbres à petit bois constituent la catégorie la plus représentée, soit plus de 33% des peuplements. De plus ceux à bois moyen et perchis présentent chacun 25% environ. Ces peuplements sont marqués encore par un manque des très gros bois et absence de gaulis (Figure 74).

Ces subéraies présentent une densité moyenne de 321 pied/ha et sont potentiellement producteurs de quantités plus importantes en liège dans la mesure où plus de 50% sont non écorcés (tableau 29).

Malgré l'absence totale des gaulis, la structure globale de ces subéraies peut être considérée comme équilibrée, mais leur état sanitaire, affaiblis, présente un risque potentiel affectant la quantité de liège produite.

La production du liège est de 13.58 kg/arbre, pouvant être améliorée lors du passage des arbres vers des catégories de bois supérieures (Tableau 29).

Ces subéraies peuvent être considérées en trois sous-groupes, caractérisés par la dominance d'une ou de deux catégorie de bois. Cela permettra une gestion plus aisée aux sylviculteurs :

- Sous-type 4 (a) : Subéraies dominées par les petit bois et perches qui représente 21.66% des prélèvements ;
- Sous-type 4 (b) : Subéraies dominées par les petit bois et bois moyen, qui représente 10% des prélèvements ;
- Sous-type 4 (c) : Subéraies à composition équilibrée entre petit bois, bois moyen et gros bois, qui représente 26.66% des prélèvements.

Une description succincte est offerte à chacune d'elles comme suit :

Sous-type 4 (a) : Subéraies à petit bois et perches

Relevés correspondants : placettes 38, 23, 41, 53, 63, 40, 64, 51, 62, 27, 37, 25, 50.

Caractéristiques des peuplements :

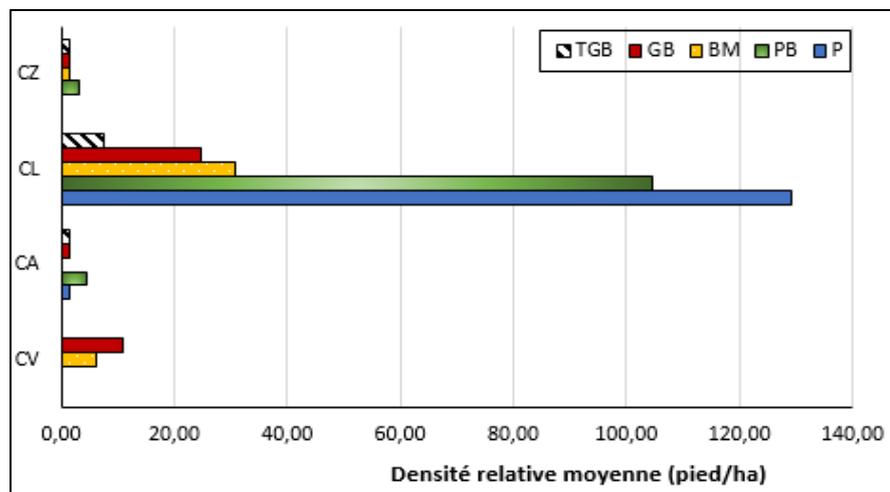


Figure 75 : Densité relative moyenne par espèce et par catégorie bois pour sous-type 4 (a)

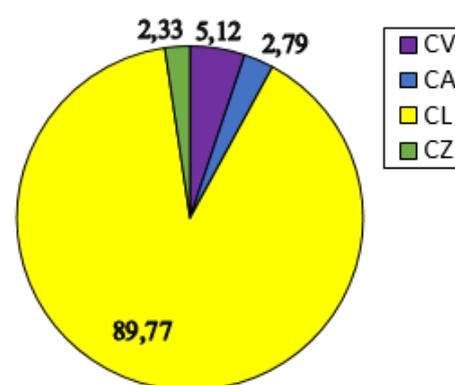


Figure 76 : Composition par espèce : sous-type4 (a)

Tableau 30 : Caractéristiques moyennes du chêne liège du sous-type 4 (a)

Densité totale	331 pied/ha
Densité relative du CL	297 pied/ha
C _{1.30m} du CL	0.91 m
Circonférence des arbres dominants du CL	1.28 m
Hauteur moyenne du CL	6.14 m
Hauteur dominante du CL	7.97 m
Surface terrière totale moyenne	18.45 m ² /ha
Nature du liège	Femelle (28%)
Poids du liège moyen/pied	12.99 kg/pied
Poids du liège moyen/ha	17.13 quintaux
Indice sanitaire	2.38
Recouvrement	48 %

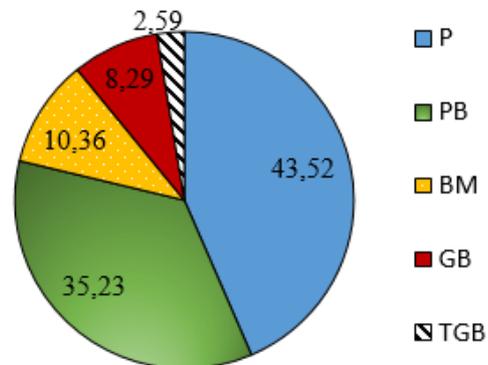


Figure 77 : Composition par catégorie de diamètre du chêne liège (sous-type4-a)

Description des peuplements

Ce type de peuplement est composé essentiellement de petits bois et perchis de chêne liège (79%). La densité est moyenne de l'ordre de 300 pieds/ha, Ces peuplements sont marqués par un état de santé affaibli (Indice sanitaire élevé : >2.00) et sont par conséquent exposés à un dépérissement avancé. Dans l'avenir, ces peuplements méritent une attention sylvicole particulière dans leur gestion. Les figures 75, 76 et 77, ainsi que le tableau 30 permettent de visualiser les principales caractéristiques de ce type de peuplements

Sous-type 4 (b) : Subéraies à petit bois et bois moyen

Relevés correspondants : placettes 39, 58, 59, 57, 52, 56.

Caractéristiques des peuplements :

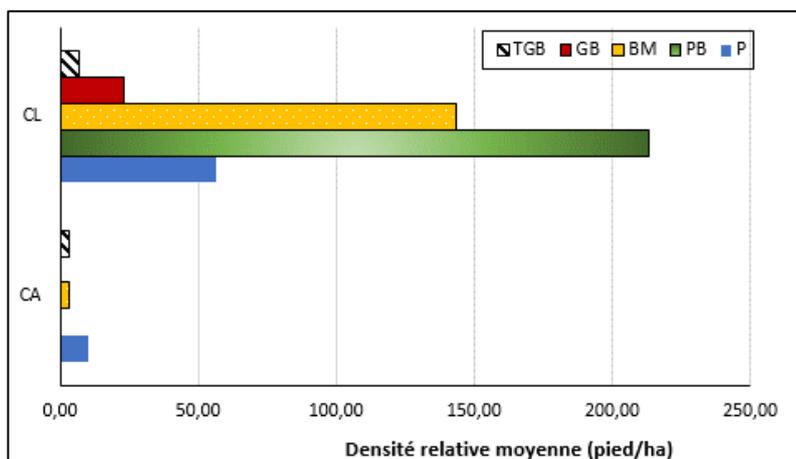


Figure 78 : Densité relative moyenne par espèce et par catégorie bois pour sous-type 4 (b)

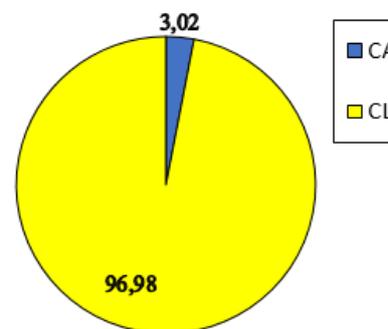


Figure 79 : Composition par espèce : sous-type4 (b)

Tableau 31 : Caractéristiques moyennes du chêne liège du sous-type 4 (b)

Densité totale	312 pied/ha
Densité relative du CL	294 pied/ha
C _{1.30m} du CL	1.19 m
Circonférence des arbres dominants du CL	1.63 m
Hauteur moyenne du CL	7.64 m
Hauteur dominante du CL	9.93 m
Surface terrière totale moyenne	36.2 m ² /ha
Nature du liège	Femelle (34%)
Poids du liège moyen/pied	15.11 kg/pied
Poids du liège moyen/ha	37.68 quintaux
Indice sanitaire	2.34
Recouvrement	50 %

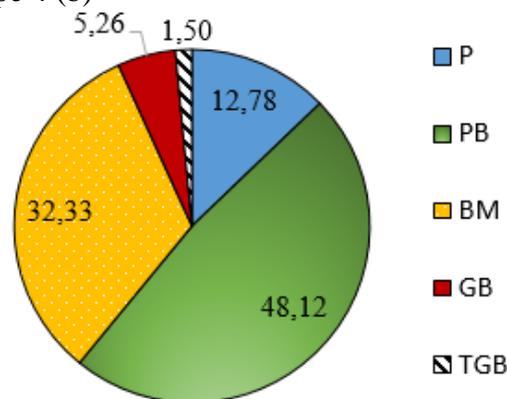


Figure 80 : Composition par catégorie de diamètre du chêne liège (sous-type4-b)

Description des peuplements

Ces types de subéraies sont composés essentiellement de petits bois et bois moyen (63%). La structure globale est marquée par un manque de tiges de catégories extrêmes (Figure 80). Le chêne liège présente une densité moyenne de près de 300 pied/ha et se mélange uniquement au Cèdre de l'Atlas (Figure 79), dans une tranche altitudinale supérieure à 1450m. La quantité de liège fournie par arbre est relativement élevée par rapport au premier sous type qui est de l'ordre de 15 kg/pied (Tableau 31).

Sous-type 4 (c) : Subéraies à petit bois et bois moyen et gros bois

Relevés correspondants : placettes 55, 33, 70, 54, 29, 47, 67, 12, 44, 46, 31, 66, 48, 60, 35, 65.

Caractéristiques des peuplements :

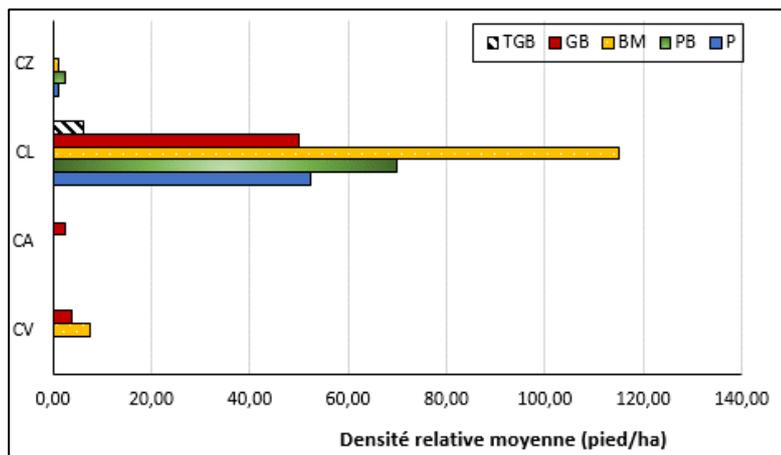


Figure 81 : Densité relative moyenne par espèce et par catégorie bois pour sous-type 4 (c)

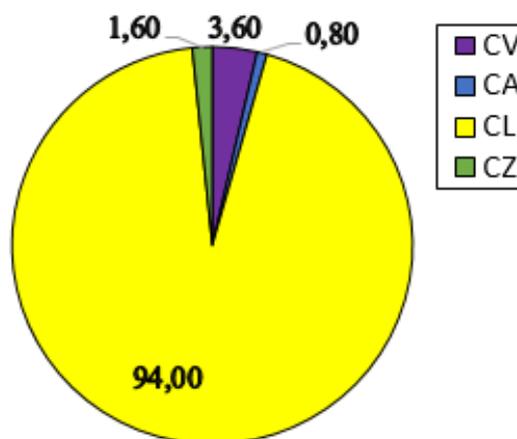


Figure 82 : Composition par espèce : sous-type4 (c)

Tableau 32 : Caractéristiques moyennes du chêne liège du sous-type 4 (c)

Densité totale	312 pied/ha
Densité relative du CL	294 pied/ha
C _{1.30m} du CL	1.19 m
Circonférence des arbres dominants du CL	1.63 m
Hauteur moyenne du CL	7.64 m
Hauteur dominante du CL	9.93 m
Surface terrière totale moyenne	36.2 m ² /ha
Nature du liège	Femelle (34%)
Poids du liège moyen/pied	15.11 kg/pied
Poids du liège moyen/ha	37.68 quintaux
Indice sanitaire	2.34
Recouvrement	50 %

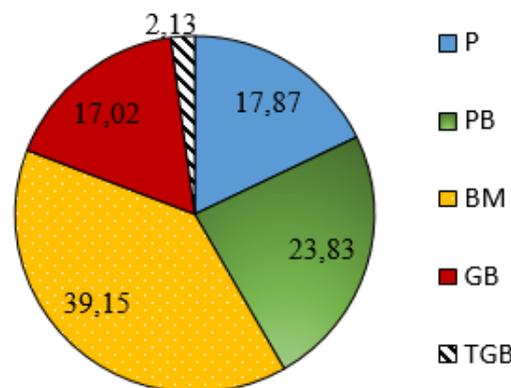


Figure 83 : Composition par catégorie de diamètre du chêne liège (sous-type4-c)

Description des peuplements

Ces subéraies sont marquées par une présence plus ou moins équilibrée des perches, petits bois, bois moyen et gros bois (Figure 83). La catégorie de bois moyen domine avec près de 40%. D'une densité moyenne relative de 294 pied/ha et une production en liège de 15 kg/pied (tableau 32), en état de mélange surtout avec le chêne vert dans des tranches altitudinales de 1380 à 1480 m.

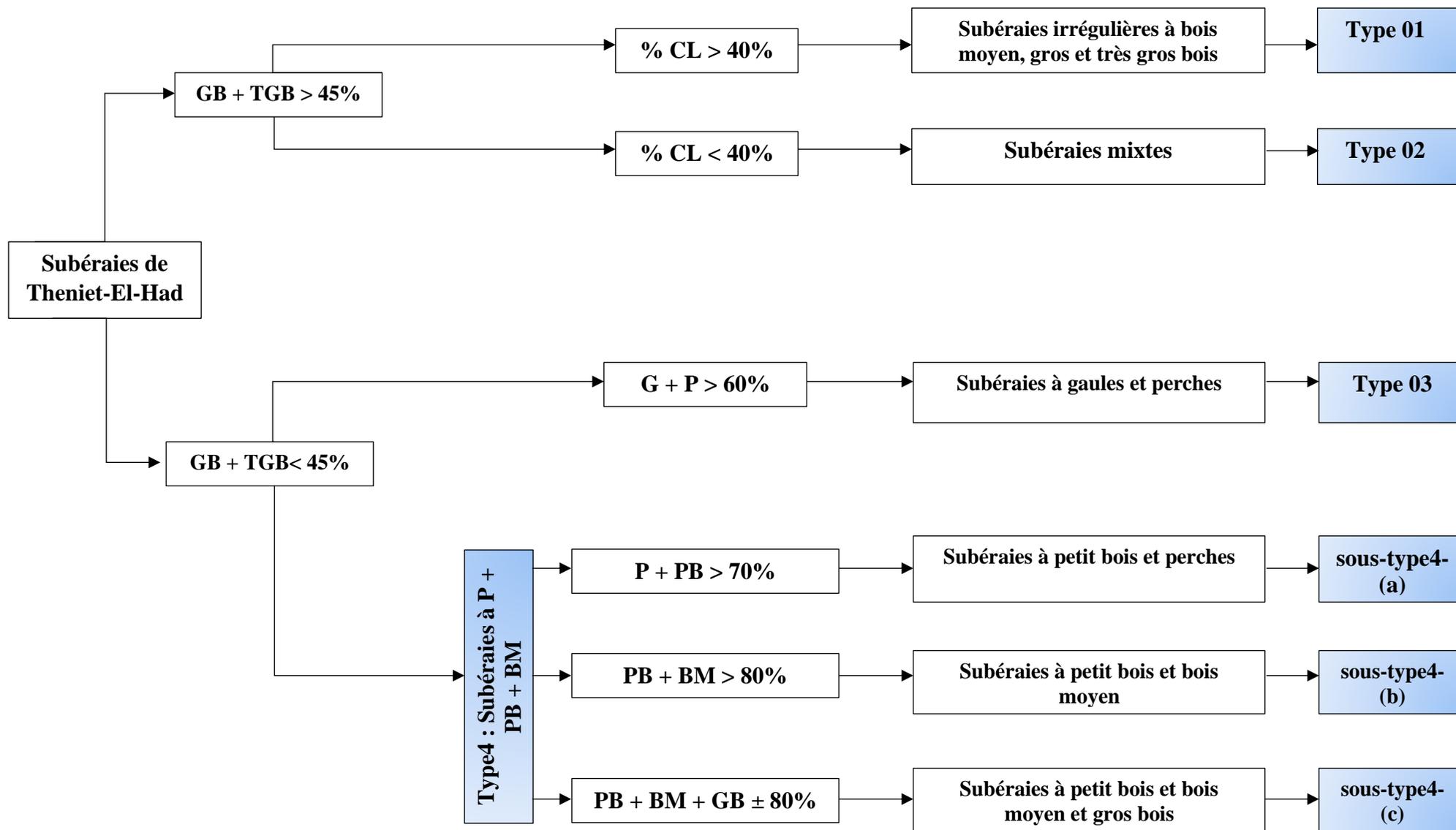


Figure 84 : Clé de détermination des types de peuplements formant les subérais de Theniet-El-Had.

4.4. Etat de santé des subéraies de Theniet-El-Had

4.4.1. Déficit foliaire des tiges de chêne liège

Les résultats d'inventaire sanitaire (Figure 85) montrent que 46% des tiges de chêne liège se trouvent dans la première classe de déficit foliaire présentant ainsi une perte inférieure à 25% (houppier opaque). Ces arbres sont donc dans un état de santé satisfaisant (sain).

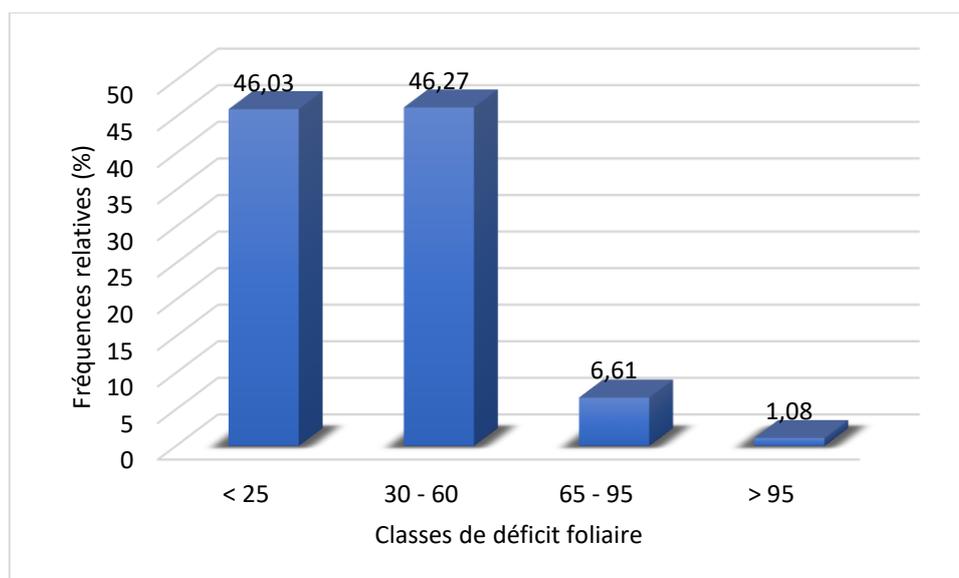


Figure 85 : Fréquences relatives des classes de déficit foliaire des tiges de chêne liège

Par ailleurs, les observations de la répartition des classes de déficit foliaire par placette (Figure 86) permettent de tirer les constatations suivantes :

1. Les arbres de la placette 1, 6, 7, 9, 16, 75 et 76 présentent un état de déficit foliaire faible et sont donc sains. Cette catégorie d'arbres présente une circonférence moyenne de 0.96 m, une hauteur totale de 7.6 m et un accroissement moyen de type rapide (2.71mm).
2. Les arbres des placettes 5, 13, 17, 19, 20, 23, 26, 36, 37, 40, 47, 67, 73 et 74 se caractérisent par la présence d'une fréquence relative de 50 à 60 des arbres sains contre 35 à 40% des arbres affaiblis (perte foliaire : 30-60%). Ces arbres ont une circonférence moyenne de 0.96m, d'une hauteur totale moyenne de 6.56m et d'un accroissement moyen annuel de 2.66mm.
3. Les arbres des placettes 33, 41, 55, 56, 57, 58, 61 et 71 se caractérisent par la présence de tiges dépéris (déficit foliaire : >60%) dont la fréquence relative peut atteindre 15%. Les

arbres dans telle situation sanitaire présentent une circonférence moyenne de 1.09m, une hauteur totale moyenne de 7.40 m et un accroissement annuel moyen de 2.37 mm.

4. Les arbres des placettes 42, 44, 51, 53, 54, 63, 64, 65, 68 et 69 sont globalement affaiblis et représentent plus de 70% de l'ensemble des tiges inventoriées. Cette catégorie d'arbres mérite une attention de gestion particulière afin d'éviter l'évolution du déficit vers les classes supérieures (dépérissement irréversibles et mortalité). Ces arbres sont caractérisés par une circonférence moyenne de 1.19 m, une hauteur moyenne de 7.22 et un accroissement moyen annuel de 2.88 mm.

4.4.1.1 Variabilité du déficit foliaire des tiges en relation avec les descripteurs écologiques

L'analyse de la variance à un seul facteur montre un effet très hautement significatif de l'exposition du terrain sur le déficit foliaire des tiges de chêne liège. En effet, les tiges de faible déficit foliaire (arbres sains) sont localisées plus dans les strates Sud et Sud-Est (Tableau 33). Les autres facteurs du milieu ne montrent aucune interférence avec le degré de perte de feuillage des tiges de chêne liège.

Tableau 33 : Analyse de la variance du déficit foliaire des tiges en rapport avec les facteurs du milieu et dendrométriques au seuil de signification de 95%

		F observé	Valeur de P
Facteurs stationnels	Exposition	74.237	2.2e-16***
	Pente du terrain	2.642	0.1045 ^{ns}
	Topographie	0.688	0.7931 ^{ns}
	Altitude	0.0015	0.968 ^{ns}
	Profondeur du sol	2.642	0.1045 ^{ns}
Paramètres dendrométriques	Circonférence à 1.30 (m)	8.0744	0.0046**
	Surface terrière (m²)	8.634	0.0034**
	Hauteur totale (m)	0.5946	0.4409 ^{ns}
	Épaisseur du liège	0.0462	0.8299 ^{ns}
	Rendement par tige (kg)	6.927	0.0089**
	Accroissement moyen	0.2082	0.6501 ^{ns}
	Statut social	2.0869	0.1491 ^{ns}

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

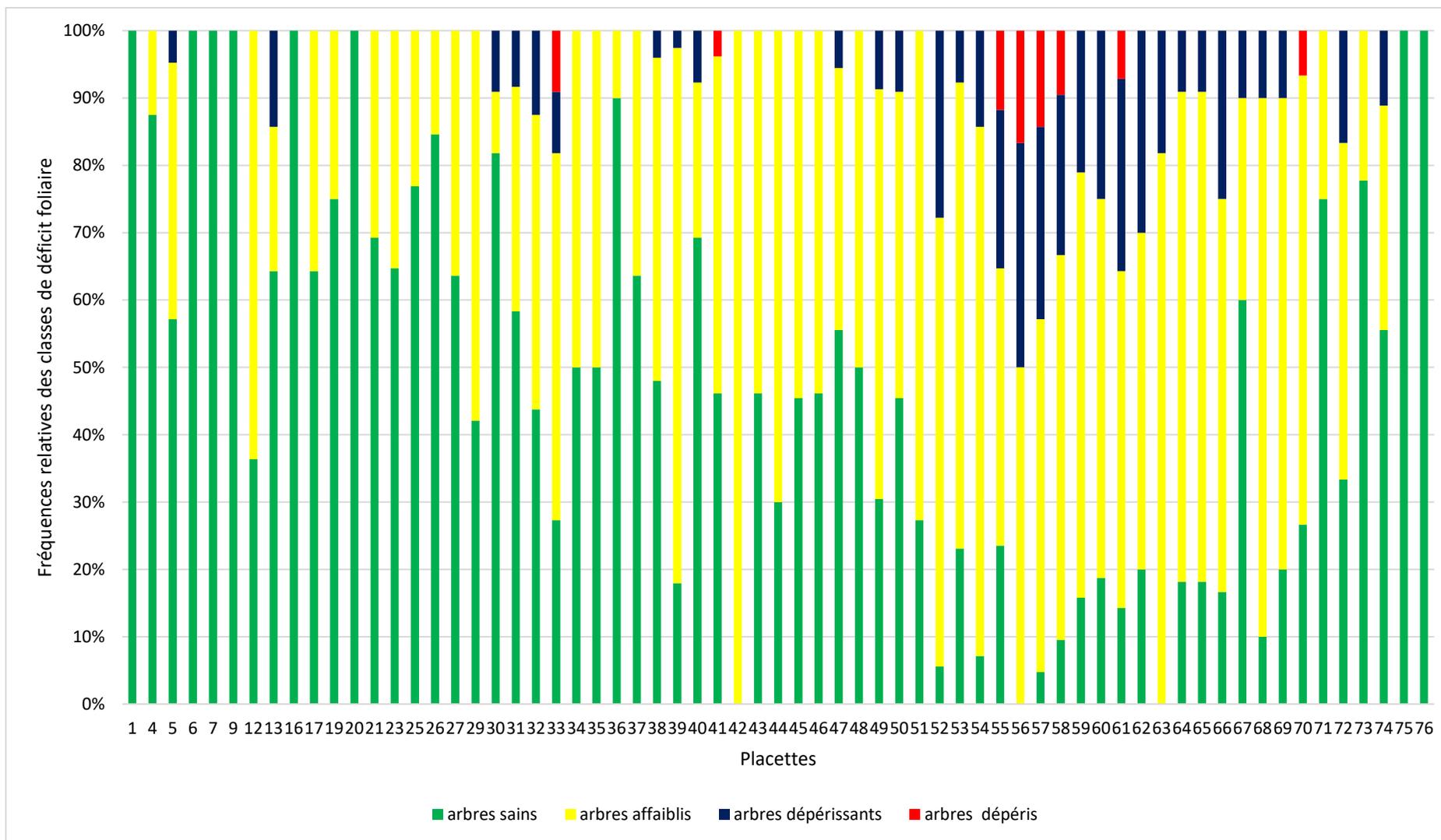


Figure 86 : Répartition par placette des classes de déficit foliaire

Par contre, une forte corrélation (Figures 87 et 88) est enregistrée entre le déficit foliaire et la grosseur des tiges (circonférence à 1.30 m et surface terrière des tiges). Il en est de même pour la production en liège (Figure 89). En effet, les plus grosses tiges fournissant un rendement en liège élevé, sont celles ayant un déficit foliaire le plus faible (arbres sains).

Globalement, les arbres sains présentent un accroissement moyen de 2.61mm, ceux affaiblis ont un accroissement moyen relativement réduit de 2.65. Par ailleurs, l'accroissement est de l'ordre de 2.67mm chez les sujets dépérissants. Une relation inverse est notée entre l'accroissement moyen du liège et les classes de déficit foliaire ; mais cette relation est statistiquement non significative. Cela s'explique probablement par une stratégie adoptée par les arbres au faible feuillage et donc à la capacité photosynthétique réduite. Cette stratégie se base sur l'orientation des produits de la sève élaborée vers la production du bois que vers les couches subéreuses comme réaction défensive.

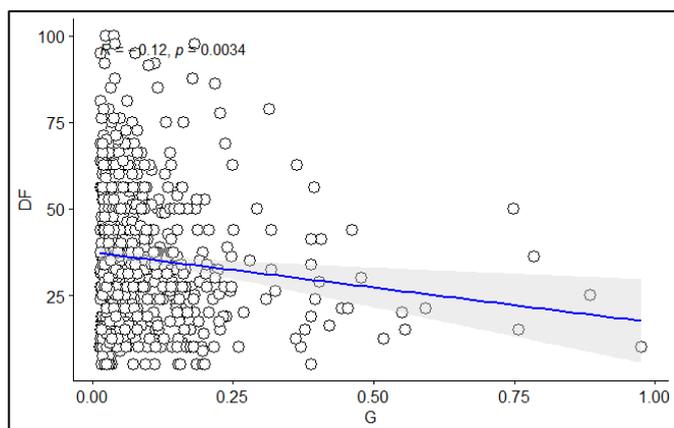


Figure 87 : Corrélation entre la surface terrière et le déficit foliaire des tiges

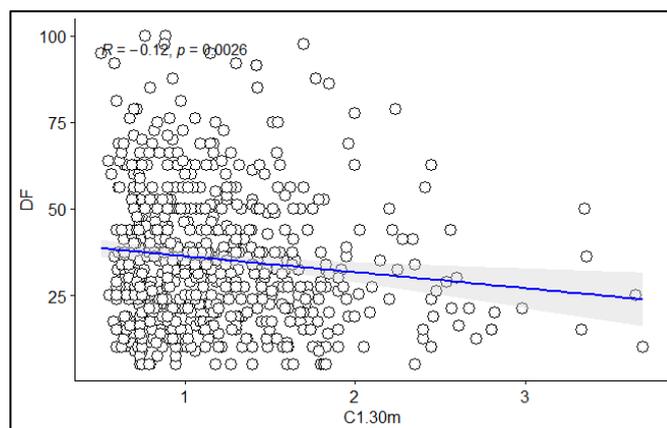


Figure 88 : Corrélation entre la circonférence et déficit foliaire des tiges

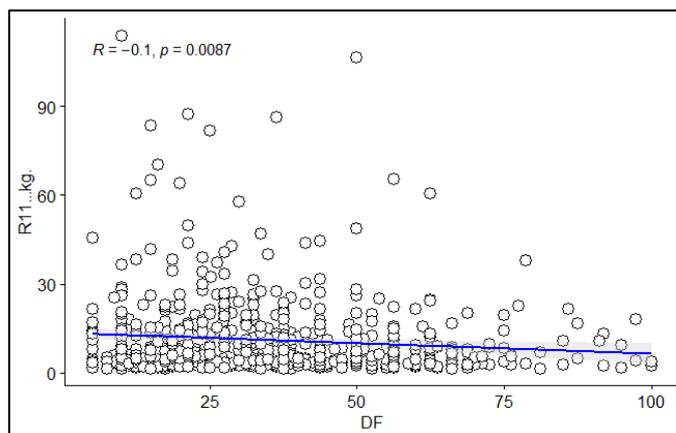


Figure 89 : Corrélation entre le rendement et le déficit foliaire des tiges

4.4.2. Etat sanitaire des peuplements de chêne liège

Les résultats d'inventaire sanitaire montrent que la subéraie de Theniet-El-Had, présente un état sanitaire global satisfaisant dans la mesure où l'indice de santé est de l'ordre de 1.56 (<1.6). La figure 90 illustre la répartition des peuplements par classe d'état sanitaire. La lecture de cette figure révèle que plus de 56% des placettes présentent un bon état de santé. Ceci s'explique par l'absence des incendies de forêt ou les incendies peu fréquents, stations favorables en eau, absence de la mauvaise récolte de liège et production excessive.

L'état sanitaire est un paramètre de première importance pour le chêne liège et sa mise en valeur. Il faut éviter la récolte chez les sujets présentant une déficience sanitaire. Les arbres affaiblis sont anciennement incendiés ou ayant reçu des branches principales brisées (action de la neige) dont la cime n'a pas été reconstituée. Cette état de déficience ralentie la circulation de la sève et ralentie la levée de liège (Saccardy, 1937).

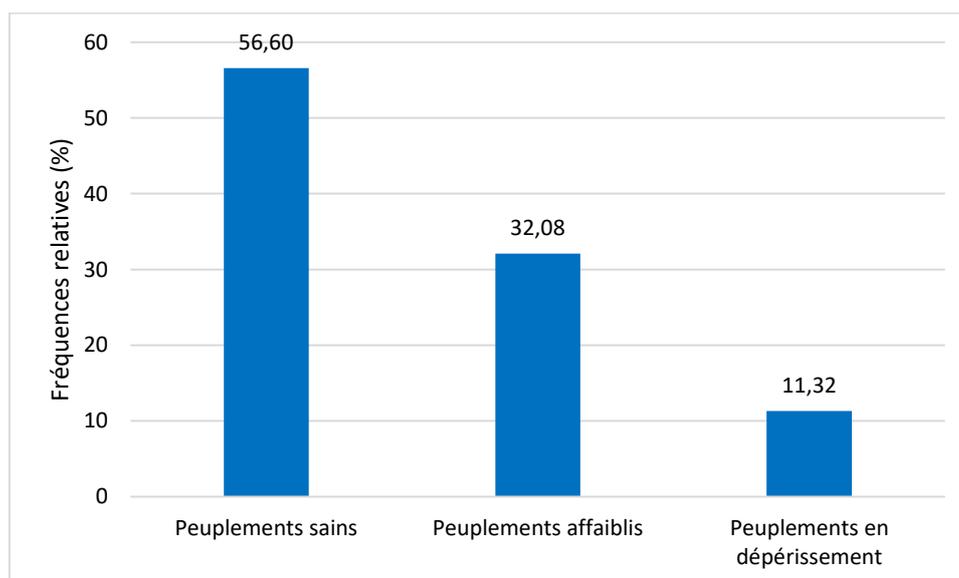


Figure 90 : Fréquences relatives des classes de santé de peuplements de chêne liège

Globalement, une grande partie de la subéraie est considérée comme saine (Figure 91). Une attention particulière est attirée pour les peuplements affaiblis et dépérissants. Mais suite à l'absence d'informations historiques sur l'état sanitaire de la subéraie (attaques d'insectes ravageurs et maladies, sécheresse, etc.), il est difficile d'expliquer l'origine de cette dégradation sanitaire.

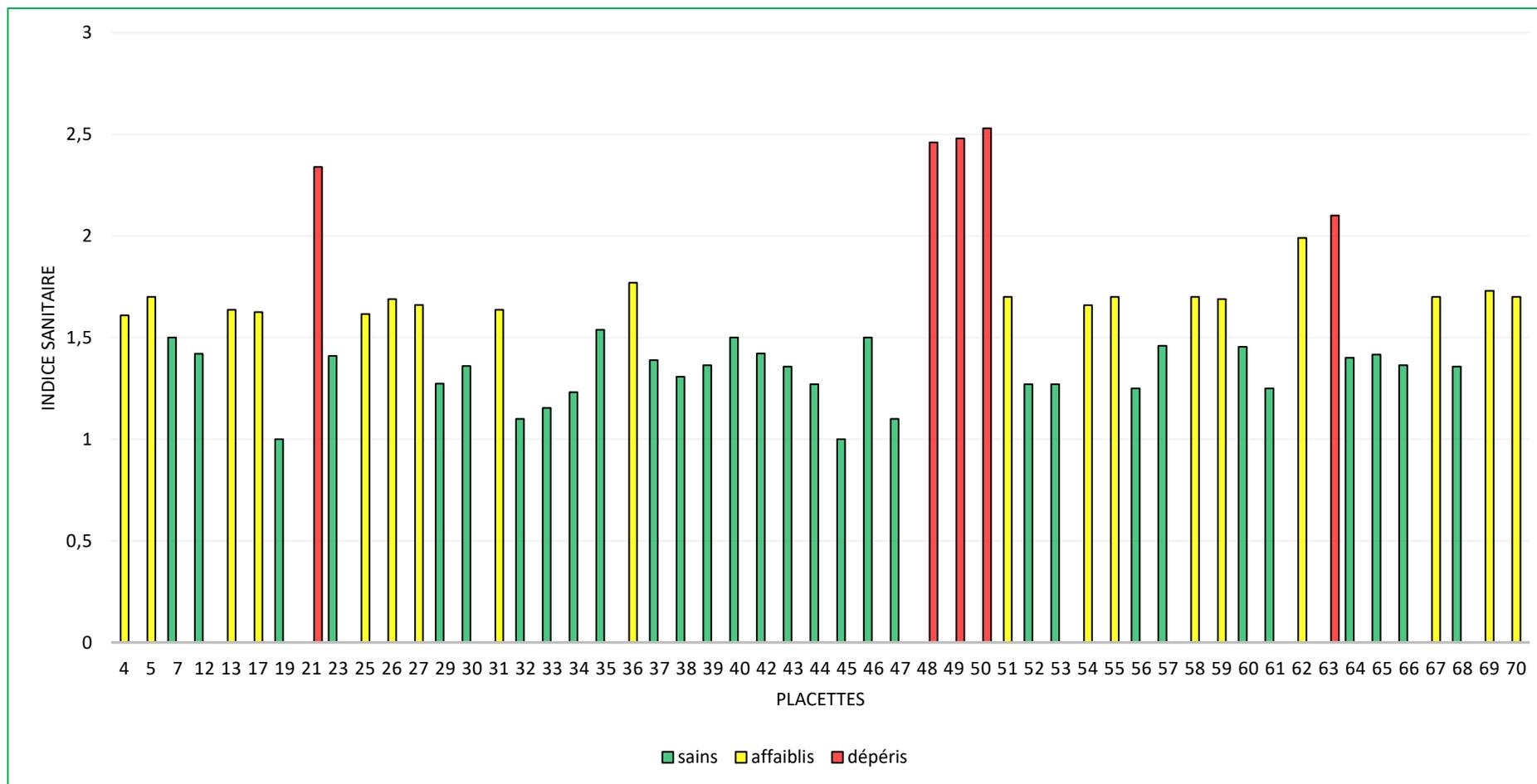


Figure 91 : Fluctuation de l'état sanitaire des peuplements de chêne liège à travers les placettes d'étude

4.2.2.1. Variabilité de l'état sanitaire des peuplements à chêne liège en rapport avec les descripteurs écologiques et dendrométriques

L'analyse des résultats d'analyse de la variance à un seul facteur de l'indice sanitaire en rapport avec les descripteurs écologiques (Tableau 34), révèle un effet très hautement significatif de la pente du terrain. En fait, les peuplements les plus déficients ($IS > 2.0$) sont ceux situés sur terrains accidentés ($> 20^\circ$), souvent à faible profondeur du sol et affleurements rocheux abondant.

Par ailleurs, l'indice de santé de la subéraie de Theniet-El-Had varie significativement en rapport avec l'exposition des placettes (Tableau 34). En fait, l'état sanitaire favorable ($IS \approx 1.4$) est enregistré dans les peuplements situés en exposition Sud-Ouest, plus éclairés que ceux situés en exposition Sud-Est moins éclairée. Cependant, les peuplements situés en expositions Sud sont généralement sains à légèrement affaiblis ($IS = 1.66$). L'état de santé ne peut être attribué seulement à l'effet exposition, mais aussi à la compétition locale induite par une forte densité des arbres ($N > 400$ pieds/ha), une mauvaise accumulation d'eau et l'absence d'interventions sylvicoles offrant un espace vital optimum.

Les arbres les plus vigoureux sont ceux ayant des dimensions plus importantes (diamètre $> 1.40\text{m}$ et hauteur $> 8.50\text{m}$) pouvant donc surmonter la concurrence pour les ressources. Ils sont les mieux placés en peuplements (statut social favorable dominant ou co-dominant).

Il est à signaler que, l'indice sanitaire varie significativement en rapport avec l'accroissement moyen tiré à partir d'un cycle de production de 12 ans (11 accroissements complets) (tableau 34). En effet, les arbres sains présentent un liège à accroissement moyen annuel de 2.39 mm, par contre 2.31 mm pour ceux affaiblis. En revanche, les sujets en état de dépérissement grave ont un liège aux accroissements moyens annuels réduits de l'ordre de 2.10 mm (une perte globale de 12%). Ainsi, il semble que les sujets en début du processus d'affaiblissement réagissent mieux aux contraintes du milieu par une production subéreuse plus épaisse. La prolongation et l'accentuation des facteurs de dépérissement rendent le chêne liège plus vulnérable et fini par produire des cernes plus minces. Selon Asmani et *al.* (2011), la perte de vigueur peut être attribuée à un écorçage excessif des arbres.

Tableau 34 : Analyse de la variance de l'état sanitaire des peuplements en rapport avec les facteurs du milieu et dendrométriques au seuil de signification de 95%

		F observé	Valeur de P
Facteurs stationnels	Exposition	5.6108	0.02168*
	Pente du terrain	14.499	0.0003778***
	Topographie	1.0005	0.3219 ^{ns}
	Altitude	2.1755	0.1464 ^{ns}
	Profondeur du sol	0.9297	0.3395 ^{ns}
Paramètres dendrométriques	Circonférence dominante (m)	5.6923	0.02079*
	Circonférence moyenne (m)	2.9377	0.0926 ^{ns}
	Surface terrière totale (m²/ha)	2.977	0.09051 ^{ns}
	Hauteur dominante (m)	3.9152	0.05327.
	Hauteur totale moyenne (m)	11.478	0.001364**
	Densité totale (pied/ha)	0.5059	0.4802 ^{ns}
	Accroissement moyen du liège	4.17	0.01048*

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

4.5. Caractérisation du liège de Theniet-El-Had et cycle de production

4.5.1. Description générale du liège

L'ensemble des échantillons de liège présentent un poids moyen par unité de surface de 6.58 kg/m², et un poids volumique moyen de 230.35 kg/m³ pour une humidité moyenne de 6.49% (Tableau 35).

Par ailleurs, le poids volumique est un paramètre d'appréciation de la qualité du liège. La souplesse de ce dernier est souvent accompagnée d'une faible densité. Il est admis que, l'excès de densité est traduit par la présence de parois cellulaires épaisses, et sont par conséquent, plus durs. A cela s'ajoute une proportion anormale de tissus sclérifiés ou lignifiés (Saccardy, 1937).

Tableau 35 : Statistiques descriptives des caractéristiques des échantillons de liège

	Moyenne	Min.	Max.	Mode	CV (%)
Poids humide (kg)	0.10	0.014	0.254	0.026	58.71
Poids sec (kg)	0.097	0.013	0.238	0.065	58.64
Humidité (%)	6.49	5	8.98	6.56	14.33
Poids du liège par unité de surface (kg/m ²)	6.58	3.06	11.36	/	26.89
Poids volumique de liège (kg/m ³)	230.35	71.58	298.17	/	15.40
Épaisseur sur croute (mm)	36.51	13.58	64.82	/	29.89
Épaisseur sous croute (mm)	35.32	12.87	64.18	/	30.63

Il est à signaler que, le poids du liège par unité de surface varie positivement en relation avec son épaisseur. En fait, un liège flotte présente un poids faible de 5.6 kg/m², alors que celui épais présente une valeur moyenne élevée de 8.9 kg/m². Inversement, le poids volumique du liège décroît en rapport avec l'épaisseur. Il est de 247 kg/m³ pour les échantillons flottes et de 187 kg/m³ seulement pour ceux épais. Le tableau 36 permet de visualiser ces constats.

Tableau 36 : Densité moyenne et poids volumique par catégories de lièges

Catégories de liège	Limites (mm)	Poids (kg/m ²)	Poids volumique (kg/m ³)
Flotte	< 22	4.5	247
Mince	22 - 27	5.6	225
Juste	27 - 32	6.6	231
Régulier	32 - 40	7.6	213
Épais	>40	8.9	187

4.5.2. Description de la croissance du liège et cycle de production

Le tableau 37 consigne les résultats des accroissements annuels moyens du liège des plaques échantillons (n=125). On note un coefficient de variation élevé oscillant entre 30 et 59%. L'accroissement le plus faible (minimum = 0.41 mm) est enregistré en 15^{ème} année, et celui le plus élevé (maximum = 6.68 mm) en première année de croissance du liège.

L'accroissement moyen le plus important, soit 3.07mm, est enregistré durant la première année qui suit la récolte. Il décroît graduellement jusqu'à atteindre une valeur de 1.50 mm à la quinzième année.

Selon Rameau (1999), l'épaisseur du cerne annuel dépend de l'interaction de plusieurs facteurs (âge, environnement, potentialités stationnelles et variation climatiques au cours de la saison de végétation correspondantes).

Par ailleurs, l'épaisseur de la croûte des échantillons est d'une très grande variabilité (CV = 85%) ; elle présente une valeur moyenne de 1.18 mm, soit 3.40 % seulement de l'épaisseur totale de la couche du liège. Cette valeur qualifie le liège à croûte mince.

De plus, cette croûte à surface lisse et moins crevassée ; c'est une caractéristique avantageuse pour la qualité de liège. La figure 92 présente un échantillon de liège à croûte épaisse, par contre la figure 93, montre un liège à la croûte mince.

La croûte présente une attention particulière pour les producteurs de liège. En fait, après le premier démasclage ou mise en valeur, la croûte est souvent crevassée ; elle présente une épaisseur importante, de l'ordre de 6 ou 7 mm ce qui présente des caractéristiques chimiques différentes du liège. Elle doit être raclée à l'usine, et du fait de son épaisseur, l'opération est plus longue et onéreuse. Ainsi, la croûte impose un travail et des dépenses supplémentaires. En revanche, elle devient lisse, moins épaisse et moins crevassée lors des récoltes successives (Saccardy, 1937 ; Taco et *al.*, 2003).



Figure 92 : Echantillon de liège à croûte épaisse

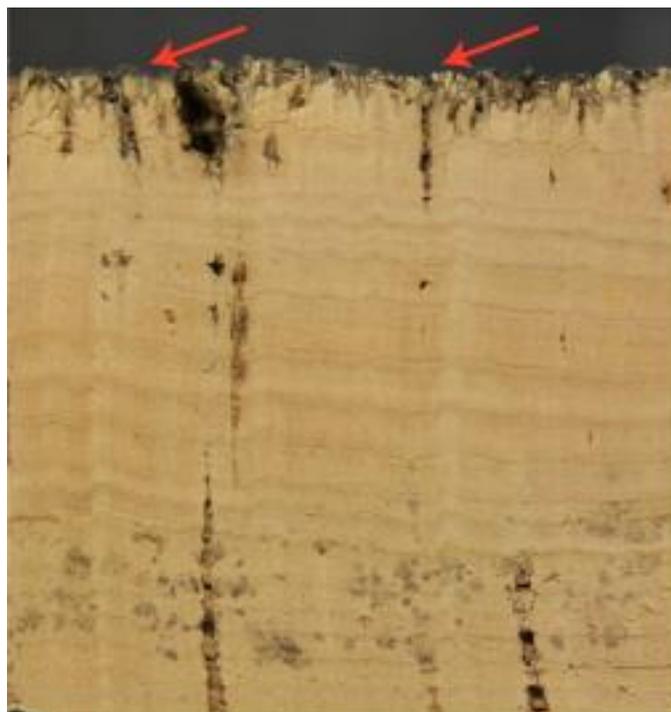


Figure 93 : Echantillon de liège à croûte mince

Tableau 37 : Statistiques descriptives des accroissements moyens annuels du liège des échantillons

Croissance moyenne annuelle (mm/an)	n	Moy. (mm)	Min. (mm)	Max. (mm)	Mode (mm)	Coefficient de variation (%)
1 ^{ère} année	125	3.07	0.94	6.68	2.12	35.75
2 ^{ème} année	125	3.04	1.01	5.88	2.15	32.38
3 ^{ème} année	125	2.84	0.66	6.13	2.36	36.78
4 ^{ème} année	124	2.49	0.49	5.10	3.01	36.24
5 ^{ème} année	121	2.51	0.74	6.09	2.50	35.85
6 ^{ème} année	121	2.38	0.86	4.82	2.70	33.60
7 ^{ème} année	119	2.30	0.84	5.31	2.30	32.31
8 ^{ème} année	118	2.08	0.72	4.31	2.08	34.70
9 ^{ème} année	112	1.96	0.44	4.27	1.96	33.57
10 ^{ème} année	100	1.84	0.75	3.24	1.84	30.73
11 ^{ème} année	95	1.71	0.76	4.09	1.71	35.86
12 ^{ème} année	86	1.63	0.65	3.73	1.51	35.49
13 ^{ème} année	79	1.56	0.62	3.91	1.42	36.75
14 ^{ème} année	76	1.51	0.51	3.78	1.38	39.06
15 ^{ème} année	49	1.50	0.41	3.31	/	59.59
1 ^{er} demi-accroissement	125	2.41	0.41	6.81	1.14	55.99
Dernier demi-accroissement	125	1.03	0.19	2.39	0.95	48.27
Epaisseur croûte	125	1.18	0.05	4.84	0.76	83.58

L'étude des accroissements montre une très grande variabilité d'âges des échantillons de liège qui varie entre 9 et 42ans. Cette variabilité est la résultante d'un manque de suivi et d'absence totale de récoltes règlementées. A cela s'ajoute des exploitations illicites et anarchiques de la part des riverains.

Les échantillons mesurés montrent des accroissements souvent réguliers (Figure 94). Les cernes doubles, indicateurs d'arrêt de croissance et de perturbations ne sont pas rares (Figure 95). Les observations des échantillons ont mis en évidence, chez certains échantillons, du liège marqué par la présence de cernes foncés particuliers, suivis par des accroissements très serrés indiquant un changement brusque du rythme de croissance (Figure 96). Cela est dû probablement à des incidents climatiques particuliers, attaques de défoliateurs comme *Lymantria dispar* ou incendies de forêt causant une perte totale des feuillages. Dans le cas de la subéraie de Theniet-El-Had, il n'est pas facile de confirmer ces hypothèses et ce, suite au manque de données climatiques et sanitaires.



Figure 94 : Echantillon de liège à accroissements réguliers

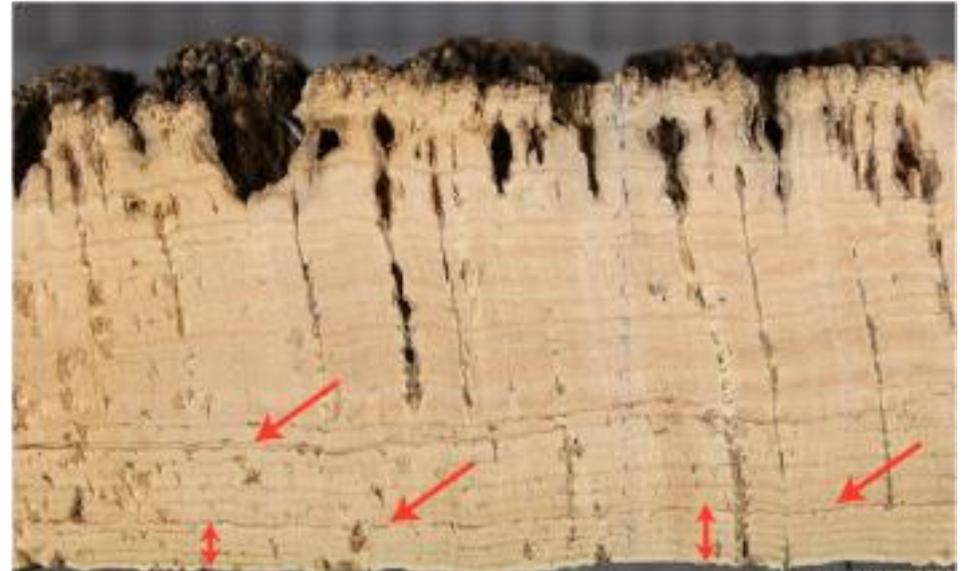


Figure 95 : Echantillon de liège à accroissements irréguliers



Figure 96 : Echantillon de liège à accroissements irréguliers (cernes doubles)

D'autre part, Saccardy (1938) signale que, la vitesse de formation de liège, autrement dit le temps que mette l'écorce pour atteindre une épaisseur dite commerciale, est comprise entre 9 et 12 ans. Une fraction peut produire, pour la même durée, un liège moins épais ou mince, ou au contraire un liège plus épais.

Les résultats l'étude des accroissements cumulés des 125 échantillons montrent qu'environ 50% des échantillons ont atteint l'épaisseur de 27mm au bout de 12ans, durée satisfaisante considérée comme rotation pour la subéraie de Theniet-El-Had (Figure 97).

En revanche, près de 20% seulement des échantillons ont atteint l'épaisseur commerciale au bout de 9 ans. Cette même épaisseur peut être atteinte sur une période plus longue soit entre 14 et 16 ans pour près de 33% des échantillons. Les résultats ont mis en évidence quelques exceptions sur certains échantillons à savoir la formation d'une couche de liège mince (<27mm) même au bout de 34ans. En somme, le liège de la zone d'étude présente une variabilité de croissance (rapide, moyenne, lente voire très lente).

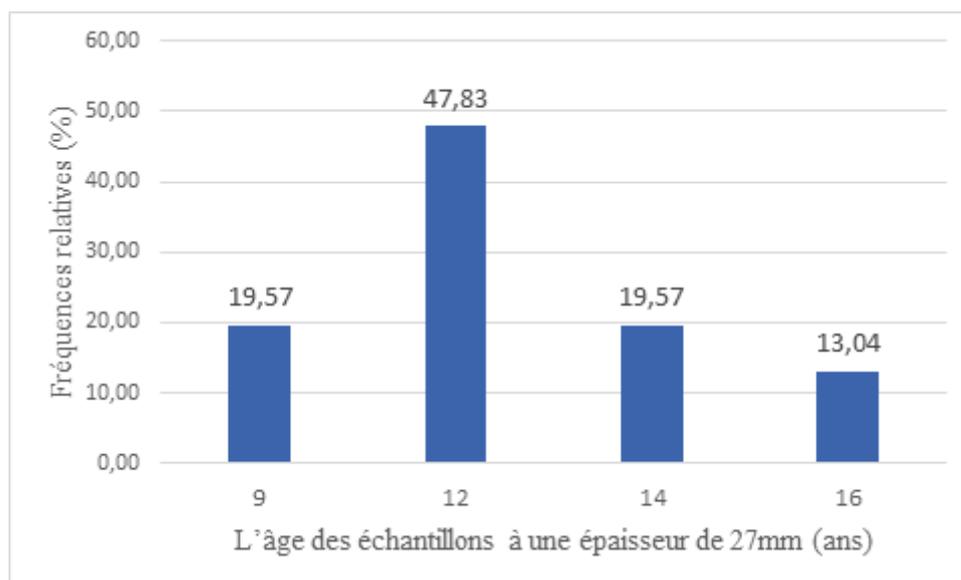


Figure 97 : Distribution des échantillons du liège atteignant une épaisseur commerciale de 27mm selon l'âge

Le classement des couches subéreuses des échantillons et le type de liège correspondant selon les normes internationaux sont illustrés dans la figure (98). A travers cette figure, nous remarquons le liège des types juste (27-32mm) et régulier (32-40mm) constitue environ 36% de l'ensemble des échantillons. Ceux épais et sur-épais, moins rentable en matière de traitement industriel, constitue 39%. Le reste des échantillons (25%) sont recouverts d'un liège mince.

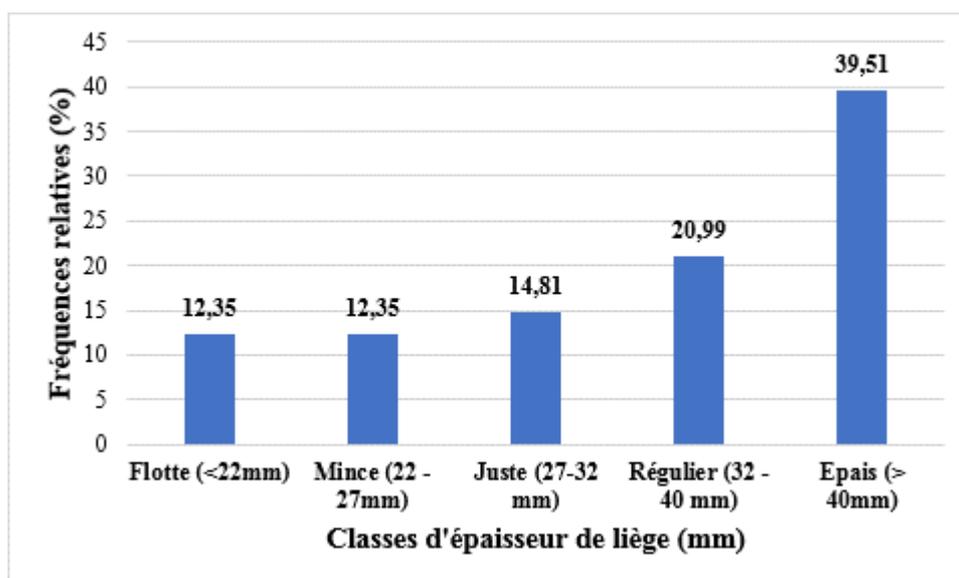


Figure 98 : Fréquences relatives des classes d'épaisseurs des échantillons de liège

Dans la pratique, la distribution des épaisseurs de liège par catégorie de bois (Tableau 38) fait ressortir une fréquence relative de plus 70% d'arbres à gros et moyen bois, fournissant un liège flotte voire mince.

Les sujets portant les lièges juste et régulier, destinés à la fabrication de bouchons, sont essentiellement enregistrés chez les gros et moyen bois (à plus de 73%). De plus, le liège épais représente 44% chez les sujets à gros bois, 33% chez les sujets à bois moyen et 23% chez les sujets à très gros bois. Globalement, le type de bois ne correspond pas forcément à une catégorie particulière du type de liège ; ainsi une épaisseur du liège peut être fournie par tous les types de bois.

Tableau 38 : Distribution en % des classes d'épaisseurs de liège par catégories de bois

Catégorie de bois	Flotte	Mince	Juste	Régulier	Epais
Petit bois	22	22	17	12	0
Bois moyen	47	47	34	40	33
Gros bois	26	19	39	38	44
Très gros bois	05	12	10	10	23
Total (%)	100	100	100	100	100

4.5.3. Accroissement moyen des échantillons de liège

Les résultats des analyses statistiques descriptives des 11 premiers accroissements complets, pour 95 échantillons seulement, extraits des 53 placettes d'étude destinées à la

caractérisation du rendement et de la production sont consignés dans le tableau 39. Ceci montre que le liège de Theniet-El-Had présente un accroissement moyen annuel de 2.38 mm ; cette valeur varie de 0.94mm à 3.62 mm/an avec un coefficient de variation relativement faible de l'ordre 22%. Il est à signaler que, l'accroissement le plus important de 3mm/an, est enregistré au cours des deux premières années après l'écorçage. Par contre, les cernes les plus minces (<2mm/an) sont enregistré à partir de la 9^{ème} année d'accroissement.

Tableau 39 : Statistiques descriptives des accroissements moyens des échantillons de liège

Croissance moyenne annuelle (mm/an)	n	Moyenne (mm)	Minimum (mm)	Maximum (mm)	Mode (mm)	SD	Coefficient de variation (%)
1 ^{ère} année	95	3.07	0.93	6.67	2.12	1.1	35.89
2 ^{ème} année	95	3.04	1.01	5.88	2.15	0.99	32.50
3 ^{ème} année	95	2.84	0.65	6.13	2.36	1.04	36.92
4 ^{ème} année	95	2.49	0.49	5.09	3.01	0.90	36.23
5 ^{ème} année	95	2.51	0.74	6.09	2.50	0.91	35.94
6 ^{ème} année	95	2.38	0.90	4.18	2.70	0.8	33.13
7 ^{ème} année	95	2.30	0.84	5.31	2.30	0.72	31.63
8 ^{ème} année	95	2.08	0.71	4.30	2.08	0.70	33.71
9 ^{ème} année	95	1.96	0.44	4.26	1.96	0.62	31.90
10 ^{ème} année	95	1.82	0.74	3.24	1.84	0.51	29.21
11 ^{ème} année	95	1.70	0.75	4.08	1.71	0.53	31.37
moyenne	95	2.38	0.94	3.62	/	0.52	21.79
Epaisseur cumulée	95	26.20	/	/	/	5.71	21.79

4.5.4. Variation de la croissance du liège

Le rythme de croissance des échantillons de liège de Theniet-El-Had varie d'une année à l'autre. Trois phases de croissances sont distinguées (Figure 99):

1. **Phase 1** : se caractérise par une croissance rapide, enregistrée durant les deux premières années du cycle de production, elle est en moyenne de l'ordre de 3mm ;
2. **Phase 2** : se distingue par une croissance assez rapide, enregistrée entre la 3^{ème} et la 8^{ème} année de croissance de l'ordre de 2.08 à 2.84 mm ;
3. **Phase 3** : se caractérise par une croissance lente, enregistrée à partir de la 9^{ème} jusqu'à la fin du cycle de production. Les accroissements moyens sont inférieurs à 2 mm.

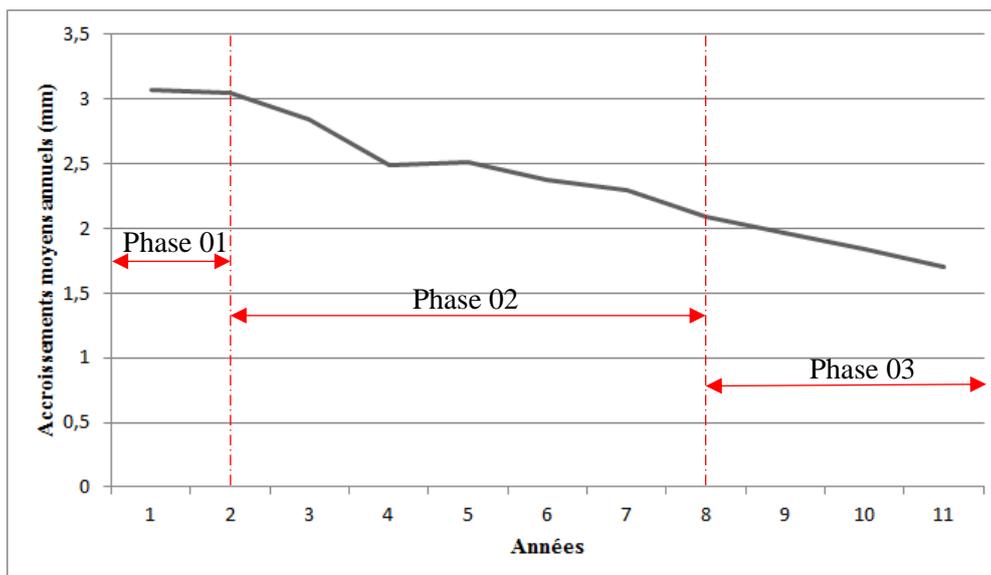


Figure 99 : Variations des accroissements annuels moyens du liège de Theniet-El-Had

Ainsi, la croissance du liège dépend des potentialités de production des couches subéreuses et par conséquent, de la vitesse de décroissance. Le liège des arbres de la zone d'étude peut être caractérisé par des rythmes de croissance variés (Figure 101) :

1. *Rythme de croissance accéléré* : le cycle de production de ces arbres comporte deux phases seulement rapide et assez rapide avec une décroissance régulière lente (Figure 101, a et b). Le liège atteint une épaisseur de 27mm au bout de 9 ans seulement. Les échantillons relevant de cette situation présentent une perte moyenne annuelle, par décroissance de l'épaisseur du cerne de moins de 20%. Les arbres correspondants sont marqués par des cernes importants durant les quatre premières années après la récolte où ils peuvent atteindre 60% de l'épaisseur totale.
2. *Rythme de croissance lent* : le cycle de production du liège est beaucoup plus lent, le liège atteint l'épaisseur commerciale à 16 ans (Figure 101, c). Il comprend une phase à croissance moyenne qui se termine par une phase de décroissance régulière lente. Le liège atteint ainsi, 60% de son épaisseur totale après 8ans de formation. Ce type de croissance perd 10% en moyenne annuelle.
3. *Rythme de croissance moyen et régulier* : ce type de cycle se caractérise par des accroissements annuels moyens et réguliers avec une phase de décroissance très lente à la fin de la rotation ((Figure 101, d). Le liège atteint 60% de son épaisseur à 8 ans et marque la fin de son cycle (27 mm) à 14 ans. La décroissance moyenne annuelle est inférieure à 2%.

4. *Rythme de croissance très rapide à rapide* : le liège de ce type de croissance atteint une épaisseur de 27 mm qu'au bout de 13 ans ; il se distingue par une phase de *décroissance rapide*. En effet, le liège atteint 60% de son épaisseur totale après 7ans, et présente par conséquent, une perte moyenne de croissance de 50% à partir de la première année de croissance (Figure 101, e)
5. *Rythme de croissance faible* : dans ce type de croissance, le cycle présente une phase de décroissance irrégulière et lente (Figure 101, f). Il est enregistré chez les arbres ayant des difficultés de reprise de croissance du liège après la récolte, probablement à cause des mauvaises pratiques d'écorçage ou de sécheresse accentuée l'année suivante.

La production subéreuse est presque stable à partir de la vingtième année (Natividade, 1956). Cette stabilité peut être précoce pour le liège de Theniet-El-Had à 15 ans ou tardive à 25 ans.

Par ailleurs, certains cycles de production présentent anormalement des accroissements faibles durant les trois premières années qui suivent l'écorçage. Ils sont enregistrés à partir des arbres blessés ou traumatisés des levées de liège. L'activité du phellogène chez ces sujets est réduite ce qui représente une réponse de l'arbre aux blessures. Mais cette activité de subérogènèse s'améliore les années suivantes, donnant lieu à des cernes plus larges (Pereira et *al.*, 1992; Costa et *al.*, 2004).

4.5.5. Croissance cumulée

La croissance cumulée des échantillons de liège est souvent un indicateur permettant la détermination de la rotation adéquate pour lever le liège d'un arbre.

Pour un cycle de 11 accroissements complets, la croissance cumulée varie fortement d'un échantillon de liège à l'autre ; elle oscille entre 13 et 42 mm avec une croissance moyenne de 27 mm.

La représentation graphique de quelques échantillons choisis au hasard (Figure 102) montre que le liège a tendance d'avoir des accroissements similaires au-delà de 6 ans (Figure 102, a).

Cependant, une attention particulière est portée sur les échantillons (b) et même (c) de la figure 102, qui semblent avoir la même tendance de croissance le long du cycle de production.

La présence de chronologies assez longues pour quelques échantillons de plaques de liège permet de quantifier la quantité de production perdue pour cette subéraie. Pour cela, une comparaison entre le rythme de croissance normal de 12 ans, avec celui en dehors du cycle (allant de 12 à 24 ans), soit deux rotations successives est illustrée dans la figure 100.

Il ressort que l'accroissement moyen du liège au bout de 12 ans (11 accroissements complets additionnés aux deux demi-accroissements) est de 2.41 mm ; il est supérieur à celui enregistré pour la deuxième rotation (de 12^{ème} à 23^{ème} année de croissance), soit 1.41 mm seulement.

Ainsi, la croissance est plus significative au cours du cycle normal (11 accroissement complets), cela est évident dans la mesure où la production subéreuse est maximale juste après l'écorçage pour devenir moins significative au bout de quelques années (allure générale décroissante).

Pour chaque année de retard, le taux de perte enregistré est de l'ordre de -17.50% pour un cycle de production complet. Ce taux est élevé pour les 6 premières années de croissance (soit 12^{ème} à 17^{ème} année de retard), oscillant entre -15 et -34%. Au-delà de six ans la perte de croissance devient inférieure à 6%.

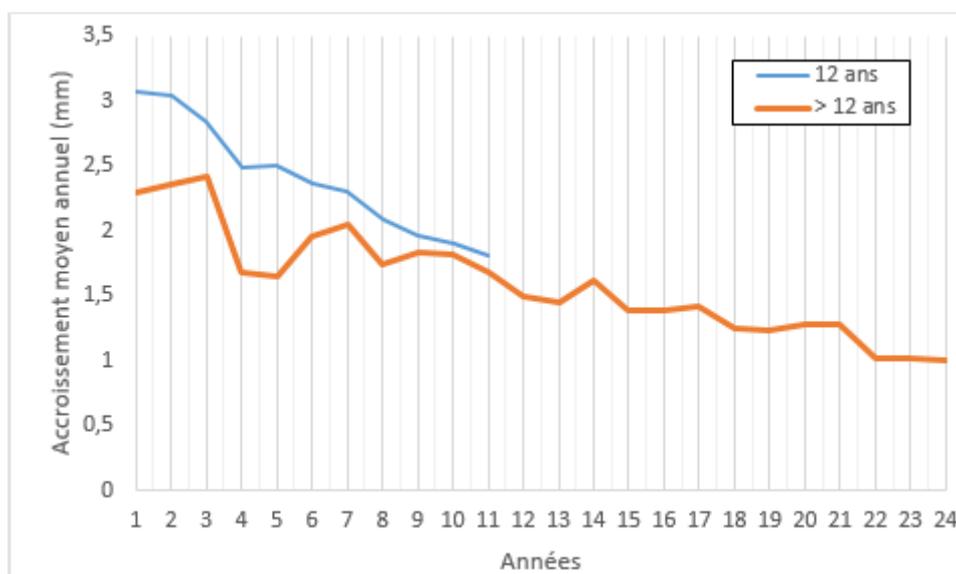


Figure 100 : Accroissement moyen annuel du liège hors cycle normal de 12 ans

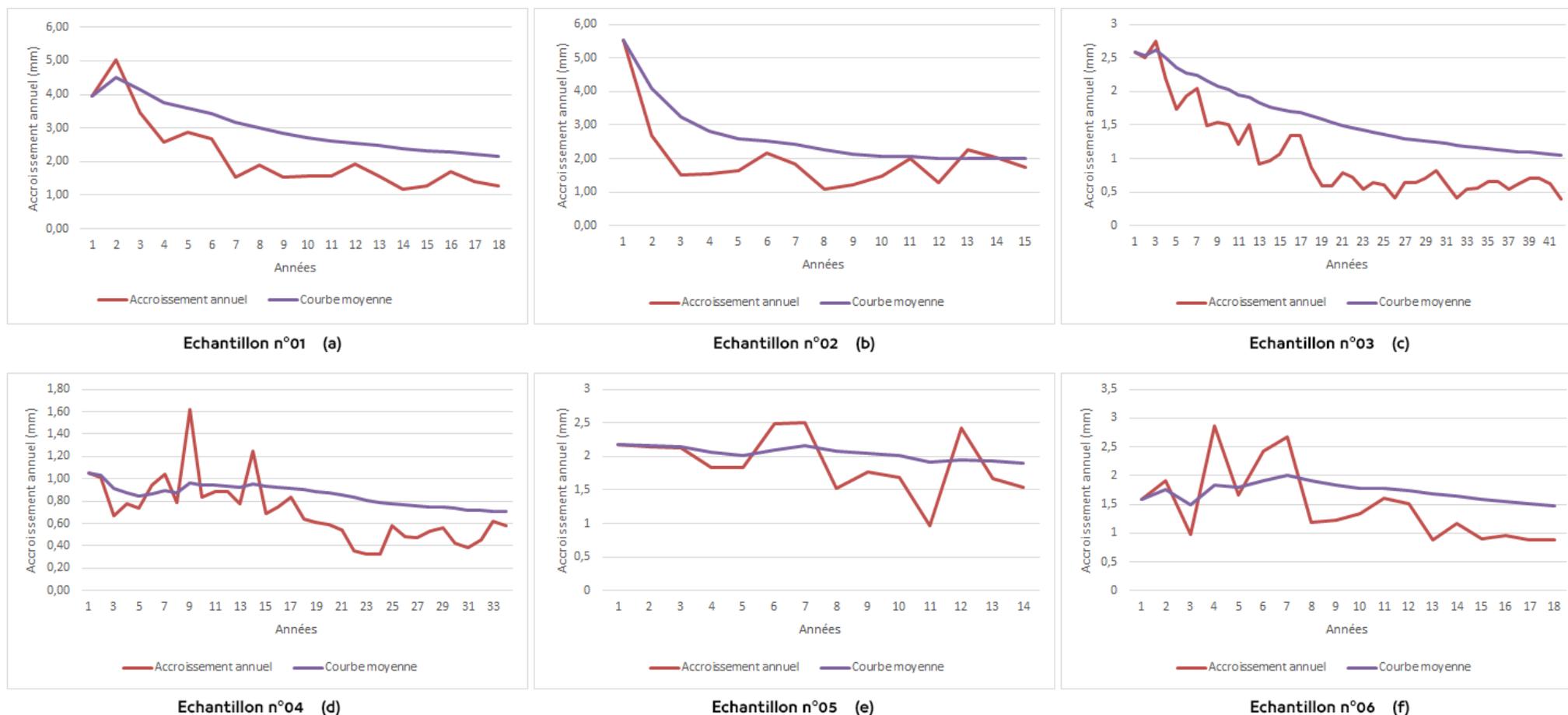


Figure 101 : Variation annuelle des accroissements complets de quelques échantillons de liège de différents âges.

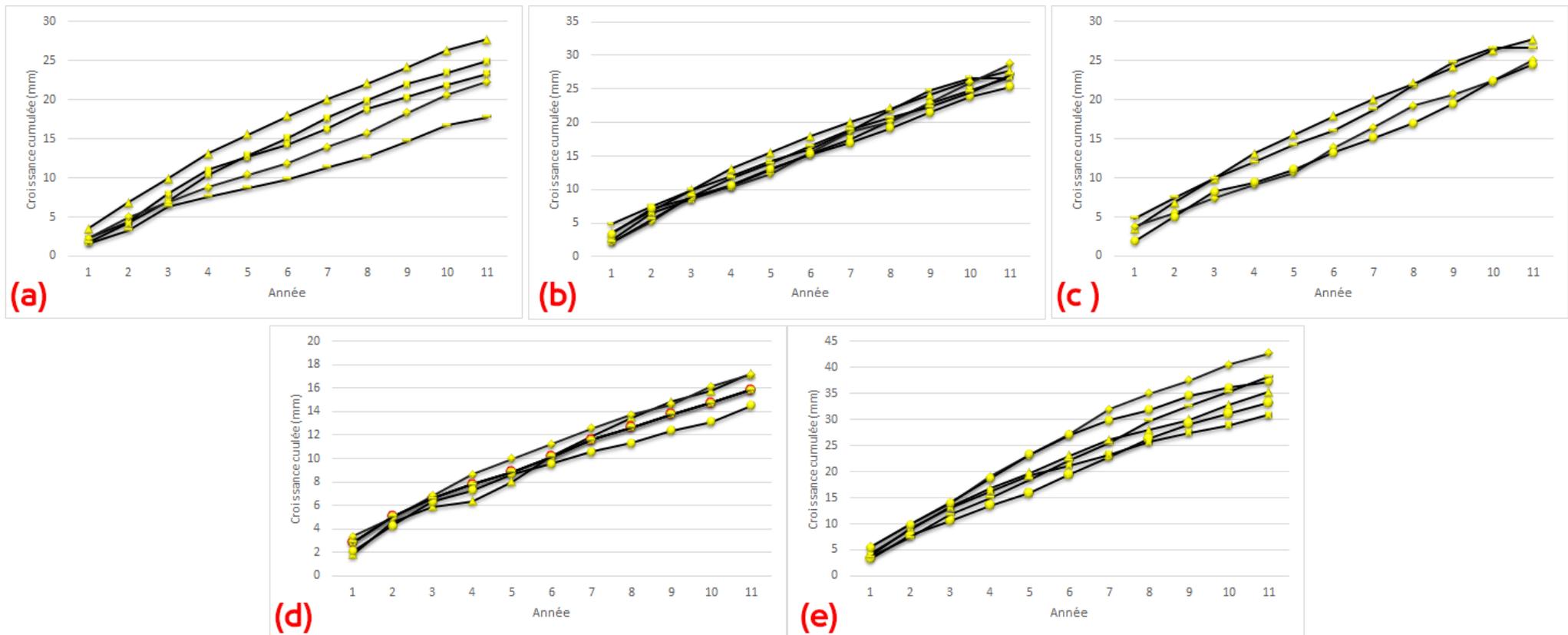


Figure 102 : Croissance cumulée de quelques échantillons de lièges présentés par groupes séparés (afin de faciliter la lecture)

4.5.6. Sensibilité moyenne

Les échantillons de liège de Theniet-El-Had présentent une sensibilité moyenne de 0.24, oscillant entre 0.08 et 0.46. Selon Fritts (1976), dès que ce coefficient est supérieur à 0.20, il détermine une population dite sensitive.

Ainsi, il en ressort que plus 75 % des échantillons de liège, à 11 accroissements complets, présentent un coefficient supérieur à 0.20. Ils sont par conséquent sensibles aux fluctuations climatiques et reflètent une bonne réactivité du liège aux variations interannuelles de l’environnement.

Il est à signaler que, les valeurs de sensibilité moyenne sont inférieures à 0.20 pour des chronologies supérieures à 15 accroissements complets (16 ans et plus). La croissance du liège se montre donc insensible aux variations interannuelles au-delà d’un certain âge.

L’analyse de la variance, à un seul facteur entre la sensibilité moyenne et les différents paramètres du milieu et dendrométriques montre l’effet de l’état de santé des arbres (Tableau 40). En effet, les peuplements en état de dépérissement sont plus sensibles (SM=0.32) aux variations climatiques que ceux sains (SM=0.19).

La validation de ces résultats nécessite des études plus approfondies car l’indice de sensibilité moyenne est souvent utilisé pour des chronologies plus longues (cas du bois).

Tableau 40 : Analyse de la variance de la sensibilité moyenne du liège à 11 accroissements en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%

Facteurs stationnels		F observé	Valeur de P
Facteurs du milieu	Exposition	0.75	0.64
	Pente du terrain	1.46	0.24
	Topographie	1.43	0.23
	Altitude	0.007	0.99
	Profondeur du sol	0.13	0.87
Variables dendrométriques	Surface terrière (m ² /ha)	0.13	0.71
	Circonférence dominante (m)	0.88	0.37
	Densité (pied/ha)	0.02	0.87
	Hauteur dominante (m)	1.29	0.26
	Indice de santé	2.02	0.04*

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

4.5.7. Variabilité de la croissance du liège en relation avec les facteurs du milieu

Les facteurs du milieu influencent le rythme de croissance du liège ou la rapidité de formation de liège traduit par les épaisseurs des anneaux ligneux annuels. Ils ont un effet aussi sur le diamètre des vaisseaux, la proportion des fibres et du parenchyme ligneux (Saccardy, 1938 ; Natividade, 1956).

Le tableau 41 présente les résultats de l'analyse de la variance de l'épaisseur de liège (calculée à partir de 6 accroissements complets (phase active) en rapport avec les facteurs du milieu. Alors que, le tableau 42 illustre les résultats de l'analyse pour le cycle complet (11 accroissements complets).

Les résultats montrent l'effet de l'exposition sur la croissance du liège durant la première phase la plus active du cycle. En fait, les sites les plus arrosés du Sud-Est ont une croissance en épaisseur du liège meilleure que les sites de Sud-Ouest.

En revanche, l'effet exposition disparaît au-delà de 6 ans (phase de décroissance). La croissance du liège devient indépendante du milieu et répond uniquement à l'aptitude individuelle des arbres. C'est l'effet individuel ou génétique. Une faible corrélation est enregistrée entre l'épaisseur du liège et la surface d'écorçage ($R^2 = 0.37$, $P = 0.34$).

Par ailleurs, on note la présence d'une relation inverse entre la croissance du liège et l'altitude. Les accroissements sont généralement plus larges en basses altitudes (2.48mm) qu'en hautes altitudes (2.10mm). Néanmoins, cette relation reste statistiquement non significative ($F_{obs} = - 1.87$, $P = 0.06$).

Tableau 41: Analyse de la variance de l'épaisseur du liège à partir de 6 accroissements complets en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%

	Facteurs stationnels	F observé	Valeur de P
Facteurs du milieu	Exposition	3.54	0.02*
	Pente du terrain	1.07	0.34
	Topographie	1.28	0.29
	Altitude	2.08	0.13
	Profondeur du sol	0.08	0.77
Variables dendrométriques	Surface terrière (m ² /ha)	0.03	0.79
	Circonférence dominante (m)	-0.08	0.56
	Densité (pied/ha)	-0.08	0.55
	Hauteur dominante (m)	-0.11	0.44
	Indice de santé	-0.08	0.54

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

Tableau 42 : Analyse de la variance de l'épaisseur du liège à partir de 11 accroissements complets en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%

Facteurs stationnels		F observé	Valeur de P
Facteurs du milieu	Exposition	2.85	0.06
	Pente du terrain	0.002	0.95
	Topographie	0.23	0.79
	Altitude	1.78	0.17
	Profondeur du sol	0.06	0.93
variables dendrométri	Surface terrière (m ² /ha)	0.01	0.90
	Circonférence dominante (m)	0.002	0.96
	Densité (pied/ha)	0.13	0.71
	Hauteur dominante (m)	0.09	0.76
	Indice de santé	0.06	0.94

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

4.6. Caractérisation du rendement et de la productivité du liège

4.6.1. Liège mâle ou naturel

Le liège mâle est un tissu dur, d'une densité moyenne élevée de 300 à 350 kg/m³. Il est sillonné de larges et profondes crevasses. Il a peu de valeur et est utilisé uniquement pour la fabrication des granulés et des agglomérés. Son extraction n'est pas souvent aisée et mérite une attention particulière (Saccardy, 1937 ; Pereira, 2007).

Les données statistiques descriptives des variables d'estimation de la surface d'écorçage du liège mâle sur pied sont illustrées dans le tableau 43. Un arbre moyen peut produire 1.26 à 1.84 m² de surface selon le coefficient d'écorçage appliqué (1.5 à 2).

Les différences de grosseurs et de hauteurs de tiges sont à l'origine d'une variabilité élevée dépassant 44%. De plus, les arbres peuvent être exploités à des hauteurs moyennes de 1.25 à 1.67 m.

Par ailleurs, un peuplement à chêne liège, d'une densité de 300 pieds/ha, peut produire une surface totale de liège mâle variant de 376 à 814 m²/ha (selon le coefficient d'écorçage appliqué).

Tableau 43 : Statistiques descriptives des variables d'estimation de la surface d'écorçage potentielle du liège mâle sur pied

Variables	Moyenne	Minimum	Maximum	Mode	Coefficient de variation (%)
Circonférence à 1.30m	0.83	0.70	2.55	0.74	44.40
Hauteur fût (m)	2.48	0.50	6.00	2	36.47
Hauteur d'écorçage (CE = 1.5)	1.25	0.90	3.82	1.11	44.40
Hauteur d'écorçage (CE = 2)	1.67	1.50	5.1	1.48	44.40
Surface d'écorçage (m ² /pied), CE = 1.5	1.26	0.45	9.57	0.82	102.32
Surface d'écorçage (m ² /pied), CE = 2	1.84	0.60	13.00	1.09	88.40
Surface totale d'écorçage (m ² /ha), CE = 1.5	376	182	725	/	40.80
Surface totale d'écorçage (m ² /ha), CE = 2	814	458	1417	/	34.25
Densité moyenne (pied/ha)	300	200	500	260	30.70

La distribution des fréquences relatives des classes de surface d'écorçage moyenne potentielle par pied (avec un coefficient d'écorçage de 1.5) présente une allure décroissante (Figure 103). Les classes de moins de 2 m²/pied, soit celles des faibles valeurs sont les plus représentées avec une fréquence relative de 80.87%.

De plus, quel que soit le coefficient d'écorçage appliqué, la quantité de liège mâle offerte par un arbre augmente positivement en rapport avec ses dimensions. En fait, un très gros bois (TGB) produit presque le double par rapport à un bois moyen (BM). La Figure 104 permet de visualiser cette situation.

La surface totale potentiellement écorcée, pour les peuplements à chêne liège mâle, présente une distribution variée (Figure 105). Elle est située entre 200 et 400 m²/ha pour 45% des peuplements (si le coefficient d'écorçage est de 1.5). Il est de 600 à 800 m²/ha pour 36% des peuplements (si le coefficient d'écorçage est de 2).

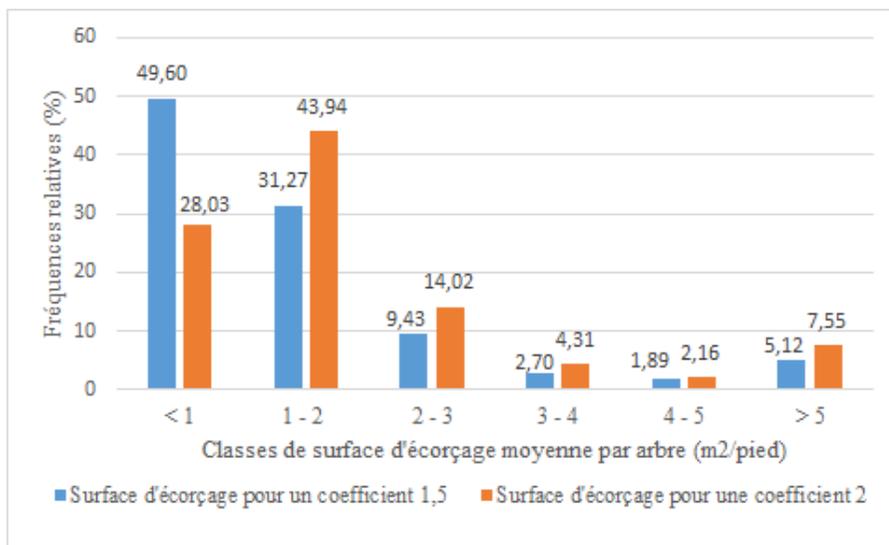


Figure 103 : Distribution des fréquences relatives de classes de surface d'écorçage moyenne de liège mâle par pied.

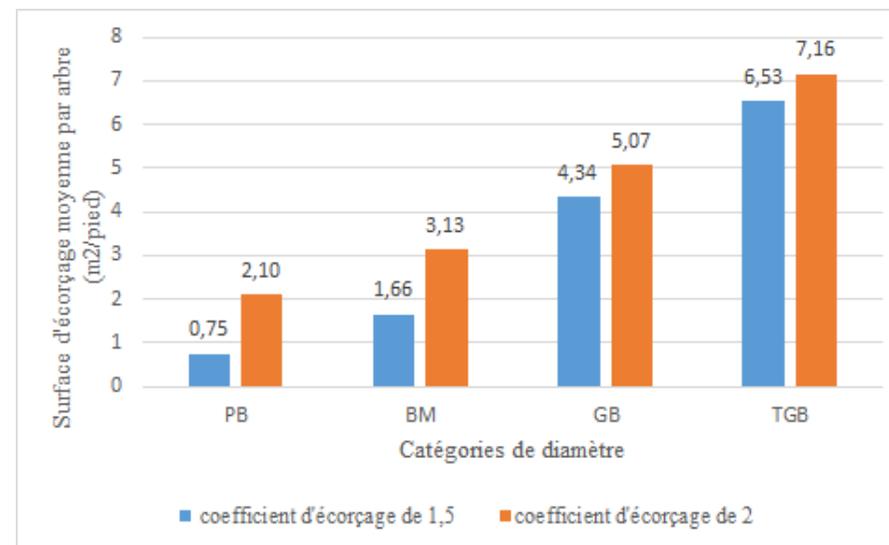


Figure 104 : Distribution des fréquences relatives de classes de surface d'écorçage moyenne de liège mâle par pied et par catégorie de bois.

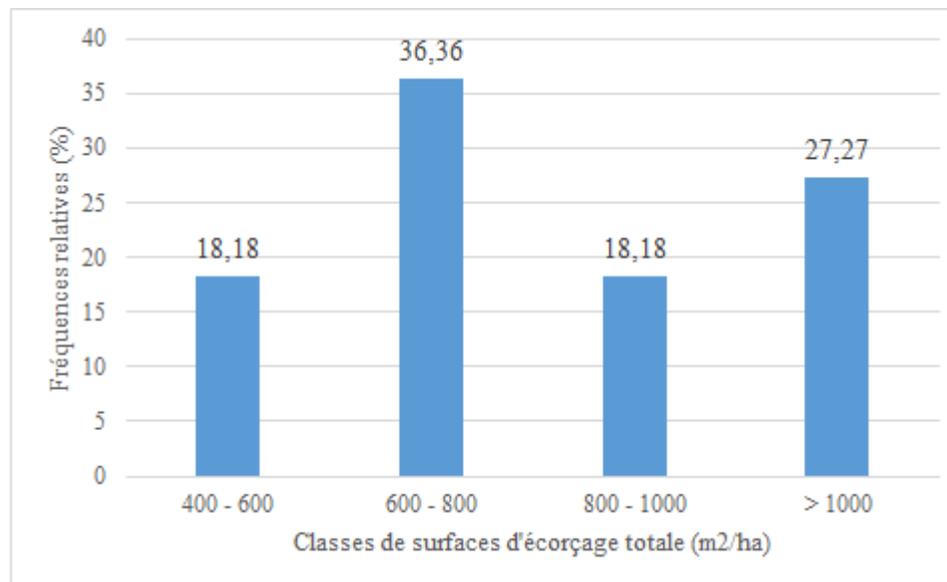
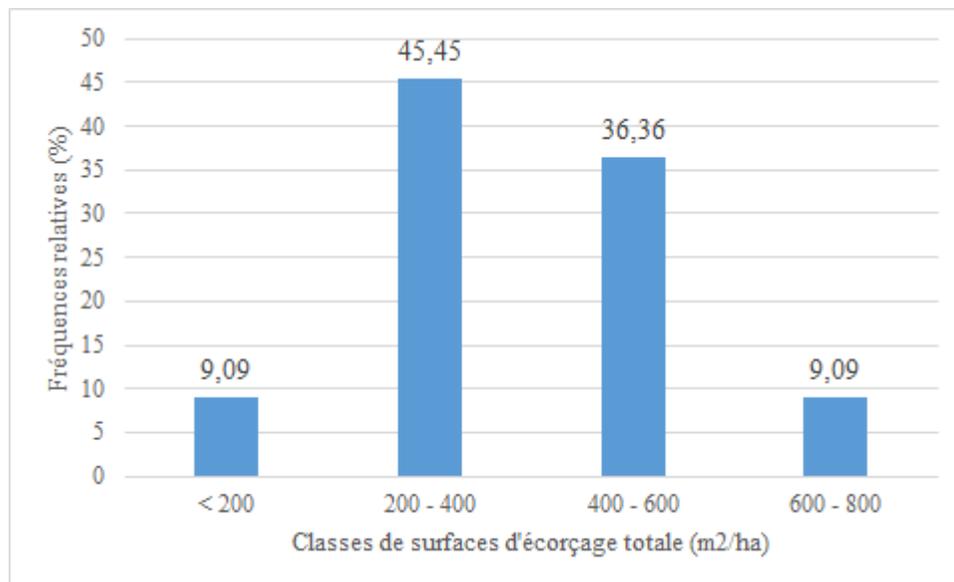


Figure 105 : Distribution des fréquences relatives des classes de surface écorçée totale pour un coefficient d'écorçage de 1.5 (à gauche) et de 2 (à droite)

4.6.2. Liège de reproduction

La production du liège sur pied varie fortement d'un arbre à l'autre (CV = 70.24%), s'intercalant entre 1.92 et 31.65 kg. Un arbre moyen peut produire 10.46 kg de liège sur pied sur une période de 12 ans.

De plus, le rendement moyen par an, d'un arbre moyen sur pied, est très variable dans la mesure où le coefficient de variation est de 70.24%. En effet, un arbre peut produire 0.95 kg/an de liège. La productivité des peuplements à chêne liège, par conséquent, est très variable (CV = 65.30%). Elle varie de 27.96 à 586.13 kg/an/ha soit une valeur moyenne de 240.12 kg/an/ha (pour 11 accroissements complets). Le tableau 44 présente les résultats statistiques du rendement moyen et de la productivité en liège des peuplements de Theniet-El-Had.

Tableau 44: Statistiques descriptives du rendement moyen en liège et de la productivité des peuplements à chêne liège

		Moyenne	Minimum	Maximum	SD	CV (%)
6 accroissements complets	Production de liège d'un arbre moyen (kg)	6.47	1.16	21.02	4.58	70.84
	Rendement d'un arbre moyen (kg/an)	1.07	0.19	3.50	0.76	70.84
	Productivité du peuplement (kg/an/ha)	274.65	31.02	712.73	186.73	67.98
11 accroissements complets	Production de liège d'un arbre moyen (kg)	10.46	1.92	31.65	7.35	70.24
	Rendement d'un arbre moyen (kg/an)	0.95	0.17	2.88	0.67	70.24
	Productivité du peuplement (kg/an/ha)	240.12	27.96	586.13	156.83	65.30

Par ailleurs, la distribution des classes de production de liège sur pied montre que 45% des arbres produisent près de 8 kg de liège. En revanche, la classe des fortes productions de (>25 kg) ne présente que 5% (Figure 106).

Quant au rendement annuel moyen des arbres, il présente un dynamisme décroissant (Figure 107). La classe de faibles rendements (< 1 kg/ha) est dominante avec une fréquence relative élevée de 69.81%.

A l'échelle des peuplements, on enregistre une productivité en liège faible (< 140 kg/an/ha) dans près de 34% des placettes. Par contre, une faible fraction de peuplements (13%) qui fournit une productivité élevée (>475 kg/an/ha). Globalement, toutes les classes de productivité sont représentées dans la subéraie (Figure 108). Cela est induit par la forte variabilité des dimensions, rendements moyens et la densité des peuplements.

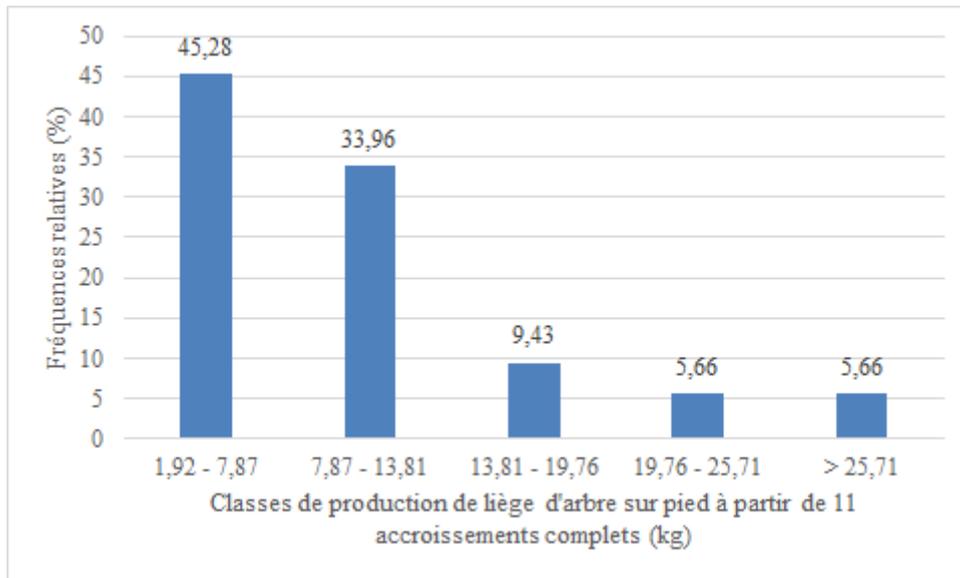


Figure 106 : Fréquences relatives des classes de production de liège d'un arbre moyen sur pied

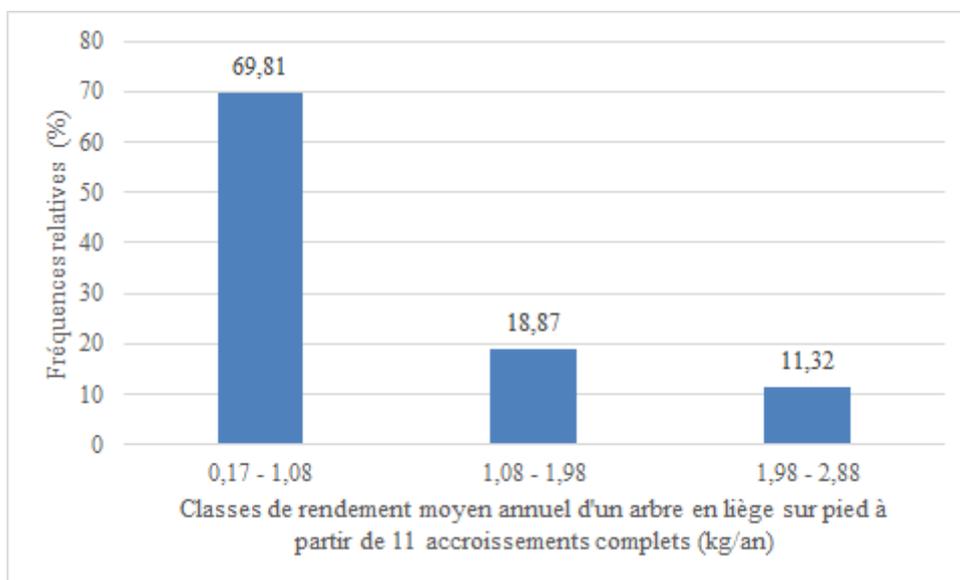


Figure 107 : Fréquences relatives des classes de rendement moyen annuel en liège (kg/an) d'un arbre sur pied

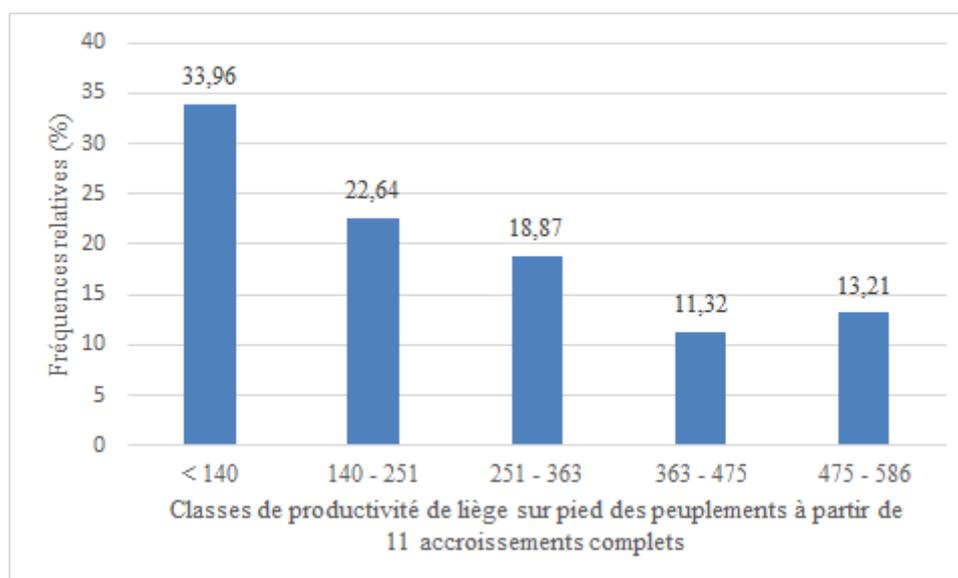


Figure 108 : Fréquences relatives des classes de productivité des peuplements en liège sur pied (kg/ha/an)

L'irrégularité des peuplements inventoriés a rendu l'estimation de la production de liège sur pied difficile. En fait, les différences de rendements par arbre moyen et de productivité d'un peuplement sont imposées par la variabilité de plusieurs paramètres dont : la densité du peuplement, la dimension des arbres, l'épaisseur du liège, la hauteur et le coefficient d'écorçages.

Une estimation du rendement moyen par arbre et la productivité par peuplements, pour qu'elle soit rationnelle, nécessite la catégorisation des peuplements inventoriés par classes d'épaisseur de liège et de diamètre. Ainsi, les tableaux 45, 46, 47, 48, 49 présentent les poids moyens de liège sur pied pour les tiges de différentes catégories de bois et d'épaisseurs de liège.

De plus le tableau 50 récapitule les valeurs de poids de liège sur pied des arbres inventoriés au sein de la subéraie de Theneit-El-Had. Ainsi, un arbre ayant un liège de type régulier peut produire de 8 à 31 kg selon sa catégorie de bois.

Tableau 42 : Poids moyen de liège flotte par catégories de bois

masse volumique 247 kg/m ³ et une masse de 4.5 kg/m ²					
	Poids moyen (kg)	C _{1.3} (m)	Hauteur d'exploitation moyenne (m)	Epaisseur moyenne (m)	Coefficient d'écorçage
PB	4.64	0.68	1.65	0.017	2.45
BM	8.41	1.08	1.81	0.016	1.69
GB	11.74	1.52	1.78	0.016	1.18
TGB	15.88	2.33	1.55	0.017	0.67

Tableau 43 : Poids moyen de liège mince par catégories de bois

masse volumique 225 kg/m ³ et une masse de 5.6 kg/m ²					
	Poids moyen (kg)	C _{1.3} (m)	Hauteur d'exploitation moyenne (m)	Epaisseur moyenne (m)	Coefficient d'écorçage
PB	5.95	0.71	1.66	0.025	2.37
BM	10.09	1.08	1.79	0.025	1.67
GB	15.19	1.72	1.67	0.025	0.99
TGB	24.56	2.67	1.7	0.025	0.64

Tableau 44 : Poids moyen de liège juste par catégories de bois

masse volumique 231 kg/m ³ et une masse de 6.6 kg/m ²					
	Poids moyen (kg)	C _{1.3} (m)	Hauteur d'exploitation moyenne (m)	Epaisseur moyenne (m)	Coefficient d'écorçage
PB	7.75	0.73	1.84	0.03	2.53
BM	11.49	1.09	1.74	0.03	1.62
GB	18.34	1.59	1.86	0.03	1.18
TGB	31.2	2.77	1.80	0.03	0.68

Tableau 45 : Poids moyen de liège régulier par catégories de bois

masse volumique 213 kg/m ³ et une masse de 7.6 kg/m ²					
	Poids moyen (kg)	C _{1.3} (m)	Hauteur d'exploitation moyenne (m)	Epaisseur moyenne (m)	Coefficient d'écorçage
PB	8.27	0.72	1.81	0.036	2.55
BM	13.53	1.14	1.74	0.036	1.56
GB	19.96	1.61	1.75	0.036	1.1
TGB	31.14	2.43	1.77	0.036	0.75

Tableau 46 : Poids moyen de liège épais par catégories de bois

masse volumique 187 kg/m ³ et une masse de 8.9 kg/m ²					
	Poids moyen (kg)	C _{1.3} (m)	Hauteur d'exploitation moyenne (m)	Epaisseur moyenne (m)	Coefficient d'écorçage
PB	/	/	/	/	/
BM	15.81	1.1	1.84	0.045	1.28
GB	24.07	1.64	1.82	0.047	1.12
TGB	37.44	2.44	1.85	0.050	0.78

Tableau 47 : Récapitulatif du poids moyen en lièges sur pied par catégories de bois

masse volumique 231 kg/m ³ et une masse de 6.6 kg/m ²					
	Flotte	Mince	Juste	Régulier	Epais
PB	4.64	5.95	7.75	8.27	/
BM	8.41	10.09	11.49	13.53	15.81
GB	11.74	15.19	18.34	19.96	24.07
TGB	15.88	24.56	31.2	31.14	37.44

A titre indicatif, le tableau ci-dessous (Tableau 51) compare les valeurs moyennes enregistrées pour le liège, d'une épaisseur moyenne de 27 mm de Theniet-El-Had, avec ceux représentés par Saccardy (1938) :

Tableau 51 : Comparaison de quantité de liège produite par arbre pour le chêne liège de Theniet-El-Had en rapport avec celle citée par Saccardy (1938)

Circonférence à 1.30 m sur- écorce (m)	Valeurs moyennes de Theniet-El-Had		Selon Saccardy (1938)	
	Hauteur d'écorçage (m)	Poids de liège/ arbre (kg)	Hauteur de planche (m)	Poids de liège/ arbre (kg)
0.80	1.30	05.90	1.40	06.40
0.90	1.30	06.00	1.60	07.30
1.00	1.83	10.41	1.80	10.50
1.10	2.20	12.55	2.00	13.00
1.20	2.00	13.27	2.20	15.70
1.30	2.20	15.00	2.40	18.00
1.40	2.00	17.72	2.60	22.00

La lecture de ce tableau montre que la production d'un arbre est croissante d'une récolte à l'autre suite à l'augmentation de la circonférence et de la hauteur d'écorçage.

D'une récolte à l'autre, la production de liège d'un arbre augmente. Cependant, lorsque ce dernier est soumis à des levées successives, le rendement offert par mètre carré de surface génératrice diminue souvent en quantité et en qualité (Saccardy, 1937).

Les tableaux fournis ci-avant, constitue un outil de base de gestion permettant une estimation plus précise de la quantité de liège produite par la subéraie.

Globalement, un peuplement de chêne liège de Theniet-El-Had, d'une densité moyenne de 162 pieds/ha, d'une circonférence moyenne sur-écorce de 1.38m et d'une hauteur d'exploitation moyenne de 1.77 m peut produire en moyenne 26 quintaux de liège par hectare, sachant que juste la moitié des peuplements inventoriés sont productifs.

Cette récolte potentielle est répartie comme suit :

- 1- Le liège de type flotte : 11.47%,
- 2- Le liège de type mince : 5.56%,
- 3- Le liège de type juste : 13.27%,
- 4- Le liège de type régulier : 41.10%,
- 5- Le liège de type épais : 28.60%.

La production totale des peuplements à chêne liège présente une grande variabilité dans la mesure où le coefficient de variation dépasse 57%, allant de 2 à 67 quintaux/ha. La répartition des classes de production ou de récolte potentielle de liège par hectare (Figure 109) montre que plus de 45 % des peuplements fournit une quantité de 20 à 40 quintaux de liège/ha.

Selon Saccardy (1937), la production d'un peuplement ne peut être stable. La quantité de liège augmente lors de la troisième, quatrième et cinquième récolte et semble décliner à partir de la sixième et septième, suite à une augmentation des rebuts. De ce fait, une régénération des peuplements doit être envisagée, lorsque l'accroissement en quantité ne compense plus la dépréciation de la qualité.

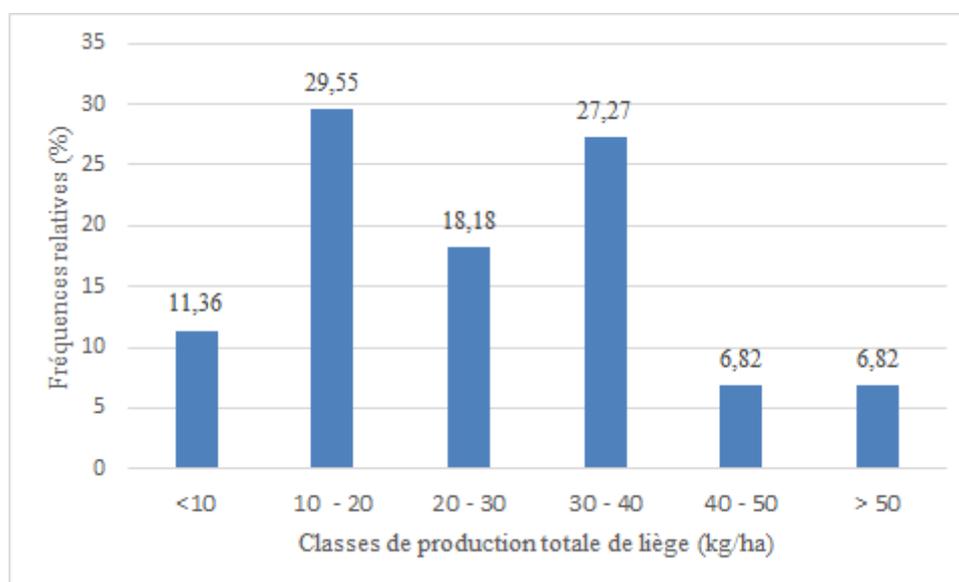


Figure 109 : Production totale potentielle de liège (kg/ha)

Dans le cas de la subéraie de Theniet-El-Had, le nombre de récoltes se limite à 2 ou 3 au maximum, et la quantité pouvant être offerte est supposée être satisfaisante. Cependant, il est primordial d'envisager une stratégie de régénération des peuplements. Cette dernière peut être inspirée des expériences menées dans les pays producteurs de liège tels que l'Espagne, le Portugal et le Maroc.

4.6.2.1. Variabilité du rendement et de la productivité en relation avec les facteurs du milieu

La production par unité de temps et de surface est très variable d'une subéraie à l'autre. Elle dépend de la fertilité du sol et des variations climatiques d'une année à l'autre

(Natividade, 1956). Les résultats de l'analyse de la variance à un seul facteur, au seuil de signification de 95%, du rendement et de la productivité pour 11 accroissements complets en rapport avec les facteurs du milieu sont illustrés dans le tableau ci-dessous (Tableau 52).

Tableau 52 : Analyse de la variance du rendement et de la productivité à partir de 11 accroissements complets en rapport avec les facteurs du milieu au seuil de signification de 95%

Facteurs stationnels		Rendement (kg)	Productivité (kg/an/ha)
Facteurs du milieu	Exposition	0,33 (0,96) ^{ns}	0,35 (0,70) ^{ns}
	Pente du terrain	3,36 (0,05) [*]	11,74 (<0,001) ***
	Topographie	2,20 (0,12) ^{ns}	3,67(0,03) [*]
	Altitude	4,62 (<0,001) **	3,79(0,03) [*]
	Profondeur du sol	2,56 (0,008) **	1,77 (0,17) ^{ns}
Variables dendrométriques	Surface terrière (m ² /ha)	0,69(< 0,001) ***	0,87 (<0,001) ***
	Circonférence dominante (m)	0,91 (<0,001) ***	0,82 (<0,001) ***
	Densité (pied/ha)	-0,09(0,49)	0,42(<0,001) ***
	Hauteur dominante (m)	0,56(<0,001) ***	0,60 (<0,001) ***
	Indice de santé	-0,24(0,05) [*]	-0,34 (0,010) **

Différence significative à * :5% ; ** :1% ; *** :0.1%

La lecture de ces résultats révèle que, l'exposition et la topographie n'ont aucun effet sur le rendement moyen en fin de cycle de production des arbres. Cependant, ce dernier varie significativement en rapport avec l'altitude, la profondeur du sol et la pente du terrain.

En fait, le rendement est supérieur en basses altitudes (12 kg) qu'en hautes altitudes (9 kg). De plus, la quantité de liège produite est largement meilleure chez les arbres installés en sols profonds où elle peut atteindre 26 kg en fin de cycle. En revanche, elle est de 9 kg seulement chez les arbres installés sur sols superficiels.

Il est à signaler qu'en basses altitudes (<1390m), les arbres portent souvent un liège de première ou deuxième reproduction, ils sont crevassés. Selon Natividade (1956), cela signifie que l'accroissement est actif et que les arbres bénéficient de conditions de croissances meilleurs. Cette petite dévalorisation peut être compensée par des productions abondantes dans l'avenir.

De même, le rendement est supérieur sur des terrains à inclinaison moyenne (de 10 à 20°) où les différences de croissance peuvent atteindre 4 kg par rapport aux autres sites.

En ce qui concerne la productivité des peuplements, un effet très hautement significatif de la pente est enregistré. En fait, elle est de 30 quintaux/ha en pente moyenne ($10 - 20^\circ$) contre 20 quintaux/ha seulement en forte pente ($> 20^\circ$).

De plus, la productivité est influencée par la topographie du terrain (Tableau 49). Elle est largement supérieure dans les situations hydriques très favorables (plus de 40 quintaux/ha). Il en est de même pour l'altitude ; dans les basses altitudes, la productivité des peuplements est élevée, de l'ordre de 48 quintaux/ha. En revanche, en hautes altitudes (plus de 1390 m), cette productivité est réduite plus de moitié (22 quintaux/ha).

Les tests de corrélations (Tableau 52) indiquent une relation positive, très hautement significative, entre le rendement et la dimension de l'arbre représentée par la hauteur dominante (Figure 110, a), la circonférence dominante (Figure 110, b) et la surface terrière (Figure 110, c). Cela est évident dans la mesure où la taille des tiges influence directement sur la quantité de liège produite. Par contre, l'état sanitaire des arbres influence négativement sur le rendement en liège (Tableau 50). En fait, un arbre sains moyen peut offrir 10 kg, en fin de cycle de production, contre 4.92 kg seulement chez les arbres en dépérissement ce qui représente une perte de croissance de plus de 50%.

Du même que le rendement, la productivité est corrélée positivement à la taille des arbres

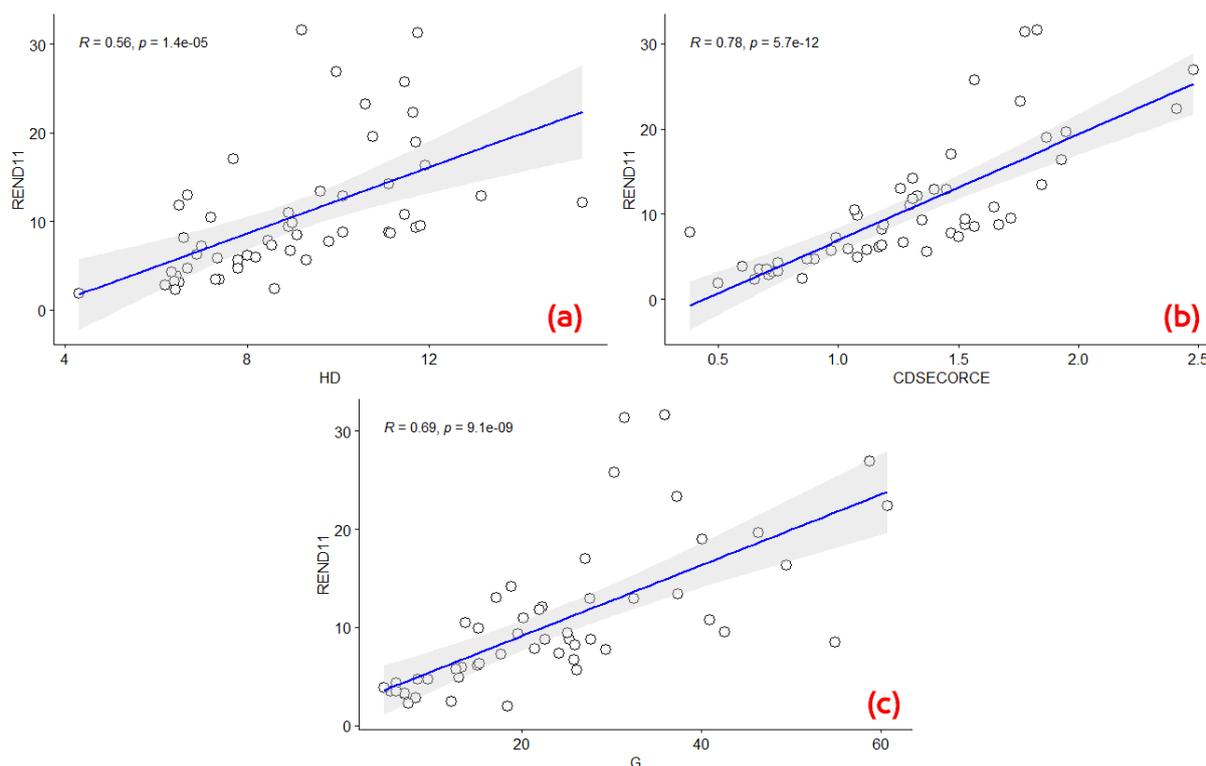


Figure 110 : Corrélations entre le rendement des arbres et la hauteur dominante (a), circonférence dominantes (b) et surface terrière totale (c)

4.7. Effet des facteurs du milieu sur les potentialités subéricoles et modélisation de croissance

4.7.1. Variables affectant la croissance en épaisseur du liège par une régression linéaire logistique

Les figures ci-dessous permettent de visualiser le traitement, sous R, de la variabilité de l'épaisseur du liège des tiges exploitables. Les paramètres ayant un effet non significatif sont éliminés graduellement du modèle (Figure 111). Par contre, ceux influençant la croissance du liège sont retenus, sans omettre à chaque étape, la décroissance du paramètre (AIC).

Ainsi, les variables explicatives de l'épaisseur du liège sont le déficit foliaire, la hauteur d'écorçage, le diamètre et l'exposition (Figure 112). Ce choix, pour qu'il soit rationnel, les variables sont soumises à un test de corrélation (Figure 113) et de colinéarité (Figure 114).

Le test de corrélation révèle la présence d'une relation inverse entre l'épaisseur du liège et le diamètre sous écorce des arbres dans la mesure où le coefficient de corrélation est de -0.32. Il en est de même pour la relation liant l'épaisseur du liège avec le déficit foliaire ($r = -0.36$) et avec une moindre importance l'altitude ($r = -0.25$) et la densité du peuplement ($r = -$

0.18). Ainsi, l'épaisseur du liège est meilleure chez les jeunes tiges dans les basses altitudes, en sols profonds et en peuplements moins denses (> 250 pied/ha).

```
> call:
  glm(formula = E11 ~ Hec + D + DF + P + Alt + PS + N + Expo,
      family = binomial, data = model-epai)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.3838 -0.6641  0.3639  0.7373  2.3405

Coefficients:
      Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) 14.475783  10.396354   1.392  0.16380
Hec          2.928034   1.169086   2.505  0.01226 *
D          -0.064537   0.019668  -3.281  0.00103 **
DF         -0.094550   0.022500  -4.202  2.64e-05 ***
P           0.064545   0.037116   1.739  0.08204 .
Alt        -0.010689   0.007264  -1.472  0.14115
PS         -0.002706   0.012132  -0.223  0.82347
N          -0.003938   0.002686  -1.466  0.14256
Expo        0.957160   0.411427   2.326  0.01999 *

---
signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 166.5  on 124  degrees of freedom
Residual deviance: 114.1  on 116  degrees of freedom
(3 observations deleted due to missingness)
AIC: 132.1
```

Variables non retenues

Figure 111 : Principaux paramètres affectant la croissance en épaisseur du liège.

(Où E11 : épaisseur du liège en fin de cycle ; Hec : hauteur d'écorçage (m) ; D : diamètre sous écorce ; DF : déficit foliaire ; P : pente du terrain (°) ; Alt : altitude ; PS : profondeur du sol ; N : densité ; Expo : exposition)

```

> Call:
  glm(formula = E11 ~ Hec + D + DF + Expo, family = binomial,
      data = model-epai)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.5039  -0.7253   0.3740   0.7903   2.0834

Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -0.618068   1.875136  -0.330  0.741693
Hec          3.093146   1.083850   2.854  0.004319 **
D           -0.066799   0.019450  -3.434  0.000594 ***
DF          -0.091624   0.021805  -4.202  2.65e-05 ***
Expo        1.047256   0.414169   2.529  0.011453 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 166.5 on 124 degrees of freedom
Residual deviance: 116.5 on 118 degrees of freedom

AIC: 130.5
BIC: 150.3031

```

Figure 112 : Paramètres maintenus dans le modèle définitif liés à l'épaisseur du liège.

(Où Hec : hauteur d'écorçage (m) ; D : diamètre sous écorce (m) ; DF : déficit foliaire (%) ;
Alt : altitude ; PS : profondeur du sol ; N : densité ; Expo : exposition)

Les résultats de l'analyse du modèle obtenus pour prédire la croissance du liège montrent que l'épaisseur du liège est significativement affectée par les variables individuelles de l'arbre que par celles du milieu physique ou forestier (Tableau 53). Parmi ces variables, nous citons l'état de santé et la grosseur des arbres qui présentent une relation inverse avec la vitesse de croissance du liège. En fait, les meilleurs accroissements annuels du liège sont enregistrés chez les arbres sains ayant une faible grosseur. Par contre les arbres affaiblis et de diamètres plus supérieurs, produisent des cernes plus étroits.

D'autres variables de second rang contribuent significativement dans la variabilité de la croissance du liège. Il s'agit en effet, de la hauteur d'écorçage et l'exposition de la placette. Elle augmente mais faiblement avec l'augmentation de la hauteur d'écorçage et en exposition sud à sud-ouest. Même toutes les coefficients de ces variables sont significatifs, les meilleures corrélations se vérifient entre la croissance du liège, l'état de santé de l'arbre ($r = -0.36$) et le diamètre ($r = -0.32$).

```

>

```

	E11	Hec	D	DF	P	Alt	PS	N	Expo
E11	1.00000000	0.08747197	-0.314973609	-0.364732540	0.05683089	-0.24859651	0.044440694	-0.17989370	0.138657400
Hec	0.08747197	1.00000000	0.165630589	<u>0.245190521</u>	0.16847552	-0.17595245	<u>0.320783396</u>	0.08764184	-0.122450697
D	<u>-0.31497361</u>	0.16563059	1.000000000	0.068208928	-0.05500725	0.11864066	0.002273862	0.02063988	-0.117062681
DF	<u>-0.36473254</u>	0.24519052	0.068208928	1.000000000	0.16286657	0.02462550	0.003328996	0.11485942	0.006226327
P	<u>0.05683089</u>	0.16847552	-0.055007247	0.162866573	1.000000000	0.09173320	-0.055183513	0.11753668	-0.182483219
Alt	<u>-0.24859651</u>	-0.17595245	0.118640659	0.024625498	0.09173320	1.000000000	0.067589782	0.26506238	-0.083019344
PS	0.04444069	<u>0.32078340</u>	0.002273862	0.003328996	-0.05518351	0.06758978	1.000000000	-0.04105903	-0.071511139
N	-0.17989370	0.08764184	0.020639880	0.114859421	0.11753668	<u>0.26506238</u>	-0.041059025	1.000000000	0.088888820
Expo	0.13865740	-0.12245070	-0.117062681	0.006226327	-0.18248322	<u>-0.08301934</u>	-0.071511139	0.08888882	1.000000000

Figure 113 : Matrice de corrélation entre variables candidates pour prédire la croissance en liège des tiges

```

> All Individual Multicollinearity Diagnostics Result

VIF    TOL    wi    Fi Leamer    CVIF Klein
Hec    1.4072 0.7106 6.8057 8.0078 0.8430 1.4454    0
D      1.0881 0.9190 1.4724 1.7325 0.9587 1.1177    0
DF     1.1003 0.9089 1.6760 1.9720 0.9533 1.1302    0
P      1.1344 0.8815 2.2463 2.6431 0.9389 1.1652    0
Alt    1.2257 0.8159 3.7725 4.4389 0.9032 1.2590    0
PS     1.1875 0.8421 3.1341 3.6878 0.9177 1.2198    0
N      1.1459 0.8727 2.4388 2.8696 0.9342 1.1770    0
Expo   1.0921 0.9157 1.5394 1.8113 0.9569 1.1218    0

1 --> COLLINEARITY is detected by the test
0 --> COLLINEARITY is not detected by the test

```

Figure 114 : Test de multi-colinéarité entre variables pour prédire la croissance en liège

(Où E11 : épaisseur du liège en fin de cycle (12 ans) ; Hec : hauteur d'écorçage ; D : diamètre des arbres ; DF déficit foliaire ; Pente du terrain (°) ; Alt : altitude (m) ; N : densité (pied/ha) ; Expo : exposition)

Bien que les coefficients obtenus par le modèle soient très faibles et les effets soient donc limités (Figure 112), nous pouvons dire que les deux premières variables (Etat de santé et grosseur du tronc) peuvent intervenir à elles seules pour déterminer la croissance du liège en fin de cycle que lorsqu'elle est déterminée en même temps par la hauteur d'écorçage et l'exposition du site. Pour le reste des variables (P, Alt, PS, Nt), les résultats d'analyse (Figure 114) ont montré un effet non significatif sur la croissance du liège mais aussi une indépendance linéaire (absence de toute multi-colinéarité entre les variables explicatives).

Tableau 53 : Régression linéaire logistique pour prédire l'épaisseur du liège en fin de cycle de production. Modèles basés sur 125 plaques échantillonnées.

Modèle	Variabiles	Coefficient \pm erreur standard	Z valeur	Pr ($> z $)
	β_0 (intercept)	-0.618 \pm 1.875	-	-
Facteur de croissance du liège	Déficit foliaire	-0.091 \pm 0.021	-4.202	0.000 ***
	Diamètre de l'arbre	-0.066 \pm 0.019	-3.434	0.000 ***
	Hauteur écorçage	3.093 \pm 1.875	2.854	0.004**
	Exposition	0.957 \pm 0.411	2.326	0.020*

Coefficients du modèle (\pm erreur standard): β_0 , intercept; le test du rapport de vraisemblance (Z valeur) et signification: 0 '***', 0.001 '**', 0.010 '*', 0.050 '.

Performances du modèle : R-carré multiple (0.341), AIC (130.5), BIC (150.3).

4.7.2. Variables affectant le rendement et la production en liège des arbres par modèle linéaire multiple

Parmi les variables testées pour expliquer la variabilité du rendement en liège des arbres (Figure 115), certaines n'ont aucun effet. Il s'agit en fait, de la densité, de l'exposition, de la profondeur du sol et de la pente du terrain. De plus, parmi les paramètres dendrométriques, la grosseur des arbres exerce un effet sur le rendement, mais elle est fortement corrélée à la hauteur totale des tiges et par conséquent elle a été éliminée du modèle final.

Ainsi, les paramètres retenus être directement liés au rendement en liège des arbres sont l'altitude, le déficit foliaire et la hauteur totale des arbres (Figure 116). Ces derniers ne présentent aucune colinéarité entre eux (Figure 117)

```

> Call:
lm(formula = R11 ~ P + Alt + PS + Expo + DF + N + Ht, data = Tab4)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-39.820  -5.641  -2.038   2.694  85.236

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 38.460884  15.798362   2.434  0.01519 *
P            -0.082729   0.078802  -1.050  0.29420
Alt          -0.029587   0.010820  -2.734  0.00643 **
PS           -0.007760   0.038793  -0.200  0.84152
Expo         -0.625285   0.621516  -1.006  0.31477
DF           -0.064172   0.024391  -2.631  0.00872 **
N            -0.002979   0.003824  -0.779  0.43634
Ht           2.746490   0.198000  13.871 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 11.16 on 627 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2967,    Adjusted R-squared:  0.2889
F-statistic: 37.79 on 7 and 627 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

Figure 115 : Principaux paramètres affectant la variabilité du rendement en liège des arbres.

(Où P : pente du terrain (°) ; Alt : altitude (m) ; PS : profondeur du sol (cm) ; Expo : exposition ; DF : déficit foliaire (%) ; N : densité (pied/ha) ; Ht : hauteur totale des tiges (m))

```
>
      R11      P      Alt      PS      Expo      DF      N      Ht
R11  1.00000000  0.06056621 -0.224157007  0.08680614  0.04939227 -0.104042936 -0.18815308  0.52003447
P    0.06056621  1.00000000 -0.016760975  0.17088920  0.11519648  0.104198883  0.30087404  0.24793957
Alt  -0.22415701 -0.01676098  1.000000000 -0.29208238 -0.10189424 -0.001559307  0.44998905 -0.21410371
PS   0.08680614  0.17088920 -0.292082376  1.00000000 -0.22594564  0.064477481 -0.13630571  0.12445089
Expo 0.04939227  0.11519648 -0.101894236 -0.22594564  1.00000000 -0.323986498 -0.01497914  0.09587600
DF   -0.10404294  0.10419888 -0.001559307  0.06447748 -0.32398650  1.000000000  0.05832937 -0.03063328
N    -0.18815308  0.30087404  0.449989048 -0.13630571 -0.01497914  0.058329375  1.00000000 -0.18102299
Ht   0.52003447  0.24793957 -0.214103715  0.12445089  0.09587600 -0.030633279 -0.18102299  1.00000000
```

Figure 116 : Matrice de corrélation entre variables candidates pour prédire le rendement des tiges

```
All Individual Multicollinearity Diagnostics Result

VIF    TOL    Wi    Fi Leamer    CVIF Klein
P      1.3471 0.7423 36.3317 43.6675 0.8616 1.5295 0
Alt    1.4186 0.7049 43.8159 52.6627 0.8396 1.6106 0
PS     1.2462 0.8025 25.7665 30.9691 0.8958 1.4148 0
Expo   1.2728 0.7856 28.5580 34.3241 0.8864 1.4451 0
DF     1.1511 0.8688 15.8121 19.0048 0.9321 1.3069 0
N      1.4921 0.6702 51.5046 61.9039 0.8187 1.6940 1
Ht     1.1710 0.8540 17.8943 21.5074 0.9241 1.3295 0

1 --> COLLINEARITY is detected by the test
0 --> COLLINEARITY is not detected by the test
```

Figure 117 : Test de multi-colinéarité entre variables pour prédire le rendement en liège des arbres

```
> Call:
lm(formula = R11 ~ P + Alt + PS + Expo + DF + N + Ht, data = Tab4)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-39.820  -5.641  -2.038   2.694  85.236

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 38.460884  15.798362   2.434  0.01519 *
Alt         -0.029587   0.010820  -2.734  0.00643 **
DF          -0.064172   0.024391  -2.631  0.00872 **
Ht           2.746490   0.198000  13.871 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 11.16 on 627 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2967,    Adjusted R-squared:  0.2889
F-statistic: 37.79 on 7 and 627 DF,  p-value: < 2.2e-16

AIC : 130.5049
BIC : 150.3031
```

Figure 118 : Paramètres maintenus dans le modèle définitif liés au rendement en liège des arbres.

(Où R11 : rendement en fin de cycle de 12 ans ; P : pente du terrain (°) ; Alt : altitude (m) ; PS : profondeur du sol (cm) ; Expo : exposition ; DF : déficit foliaire (%) ; N : densité (pied/ha) ; Ht : hauteur totale des tiges (m))

Globalement, les résultats de l'analyse des variables soumises au modèle montrent l'influence significative de certaines variables sur le rendement en liège des arbres (tableau 54). Parmi ces variables, nous trouvons la hauteur totale (Ht) qui contribue très significativement dans l'estimation du rendement. Ceci explique que les arbres les plus hauts sont généralement les plus productifs.

Le rendement des arbres est affecté aussi, mais avec un degré moindre, par leur état de santé et l'altitude. Ceci indique que les arbres vigoureux (Déficit Foliaire faible) se développant en altitude moins élevée sont plus rentables que les arbres en très haute altitude.

Enfin, le modèle considéré a montré que malgré les faibles valeurs des coefficients des trois variables (même toutes significatives) à effet réduit (tableau 54), la hauteur totale des arbres peut prévoir seule le rendement en liège car sa valeur de corrélation ($r = 0.52$) est proche à celle multiple ($R = 0.55$).

Les autres variables liées au milieu physique (P, PS et Expo) et forestier (Nt) sont restées non-significatives avec une présence d'une certaine colinéarité entre la densité du peuplement et l'altitude ($r = 0.450$).

Tableau 54 : Modèle linéaire multiple pour prédire le rendement de l'arbre. Modèle basé sur 634 arbres échantillonnés.

Modèle	Variables	Coefficient \pm erreur standard	t valeur	Pr ($> t $)
Facteurs de rendement de l'arbre	β_0 (intercept)	38.46 \pm 15.79	-	-
	Hauteur totale	2.75 \pm 0.20	13.87	0.000 ***
	Altitude	-0.03 \pm 0.01	-2.73	0.006 **
	Déficit foliaire	-0.06 \pm 0.02	-2.63	0.008 **

Coefficients du modèle (\pm erreur standard) : β_0 , intercept; le test du rapport de vraisemblance (t valeur) et Pr ($>|t|$) (signification : 0 '***', 0.001 '**', 0.010 '*', 0.050 '')

Performances du modèle : R-carré multiple (0.297), R-carré ajusté (0.289) ; test statistique ($F_{obs} : 37.79 ; 7, 627$ df, p-value < 0.000),

De plus, une analyse linéaire multiple, est appliquée afin de prédire la production (kg/ha) en liège des peuplements. Cette dernière est influencée par la hauteur dominante est l'indice sanitaire (Figure 119 et 121).

L'exposition, la pente, la profondeur du sol et l'altitude ne manifestent aucun lien statistiquement significatif avec la production en liège des peuplements. Les faibles valeurs enregistrées à travers la matrice de corrélation permettent de visualiser ce constat (Figure 120).

```

> call:
  lm(formula = P11 ~ IS + Expo + P + Alt + PS + Hd, data = Tab8)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2175.9  -806.1  -312.5   706.6  3143.0

Coefficients:
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -2037.8630 10409.9498  -0.196   0.8457
IS           -1081.8114   619.4636  -1.746   0.0874 *
Expo          213.7490   613.8278   0.348   0.7293
P             43.5511    29.2129   1.491   0.1428
Alt           0.9138     7.8317   0.117   0.9076
PS            11.0635    14.7463   0.750   0.4569
Hd           448.0121    91.9621   4.872 1.35e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1318 on 46 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4302,    Adjusted R-squared:  0.3559
F-statistic: 5.789 on 6 and 46 DF,  p-value: 0.000149

```

Figure 119 : Principaux paramètres affectant la variabilité de la production des peuplements.

(Où IS : indice de santé ; Expo : exposition ; P : pente du terrain (°) ; Alt : altitude (m) ; PS : profondeur du sol (cm) ; Hd: hauteur dominante (m))

```
>
```

	P11	IS	Expo	P	Alt	PS	Hd
P11	1.00000000	-0.2826903	-0.138520605	-0.04408902	-0.11741482	0.224340260	0.6106466
IS	-0.28269033	1.00000000	0.316237504	0.47021637	0.20326459	-0.133443134	-0.2656789
Expo	-0.13852061	0.3162375	1.000000000	0.19854854	0.81678852	0.009604273	-0.3260573
P	-0.04408902	0.4702164	0.198548544	1.000000000	0.04812548	-0.175433948	-0.2160752
Alt	-0.11741482	0.2032646	0.816788519	0.04812548	1.000000000	-0.011421762	-0.2676773
PS	0.22434026	-0.1334431	0.009604273	-0.17543395	-0.01142176	1.000000000	0.2326639
Hd	0.61064663	-0.2656789	-0.326057288	-0.21607523	-0.26767729	0.232663858	1.0000000

Figure 120 : Matrice de corrélation entre variables candidates pour prédire la production des peuplements en liège

```
> Call:
lm(formula = P11 ~ Hd+IS, data = Tab8)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2563.4  -818.8  -219.5   547.1  3753.5

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -1280.8      762.4  -1.680   0.0991 .
Hd             455.4       82.7   5.507 1.2e-06 ***
IS            -1081.8114  619.4636  -1.746  0.0874 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1318 on 46 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4302,    Adjusted R-squared:  0.3559
F-statistic: 5.789 on 6 and 46 DF,  p-value: 0.000149
```

Figure 121 : Les paramètres maintenus dans le modèle définitif liés à la production du liège

```
> All individual Multicollinearity Diagnostics Result

VIF    TOL    wi    Fi Leamer    CVIF Klein
IS    1.4001 0.7142  3.7611  4.8014 0.8451 1.7290    0
P     1.3648 0.7327  3.4291  4.3775 0.8560 1.6853    0
Alt   3.1511 0.3174 20.2199 25.8127 0.5633 3.8911    1
PS    1.0972 0.9114  0.9135  1.1662 0.9547 1.3549    0
Expo  3.4423 0.2905 22.9576 29.3076 0.5390 4.2508    1
Hd    1.2280 0.8143  2.1435  2.7364 0.9024 1.5165    0

1 --> COLLINEARITY is detected by the test
0 --> COLLINEARITY is not detected by the test
```

Figure 122 : Test de multi-colinéarité entre variables pour prédire la production en liège des peuplements

(Où P11 : production en fin de cycle de 12 ans (kg/ha) ; IS : indice sanitaire ; Expo : exposition ; P : pente du terrain (°) ; Alt : altitude (m) ; PS : profondeur du sol (cm) ; Hd : hauteur dominante (m))

Par conséquent, à l'échelle du peuplement, les résultats des analyses montrent l'interaction significative entre la production du liège du peuplement et la hauteur dominante et avec un degré moindre l'état de santé général (tableau 55). Ceci explique, que les peuplements les plus productifs sont ceux les plus hauts et en bonne santé.

Dans le modèle, seule la hauteur dominante peut prévoir la production du liège du peuplement avec une grande précision ($r = 0.610$; $R = 0.656$) sans recourir à son état sanitaire.

Les autres variables (Expo, P, Alt et PS) n'ont montré aucune influence significative sur la variable réponse. En outre, les tests de multi-colinéarité (Figure 122) ont montré que les deux variables à savoir l'exposition et l'altitude ne sont pas indépendantes l'une de l'autre car il existe entre elles une forte corrélation ($r = 0.816$).

Tableau 55 : Modèle linéaire multiple pour prédire la production (kg ha⁻¹) du peuplement des placettes (n=53).

Modèle	Variables	Coefficient ± erreur standard	t valeur	Pr (> t)
Facteur de Production	β_0 (intercept)	-2037.86 ± 10409.94	-	-
	Hauteur dominante	448.01 ± 91.96	4.87	0.000 ***
	Indice de santé	-1081.81 ± 619.46	-1.74	0.087*

Coefficients du modèle (± erreur standard): β_0 , intercept; le test du rapport de vraisemblance (t valeur) et Pr (>|t|) (signification : 0 '***', 0.001 '**', 0.010 '*', 0.050 '')

Performances du modèle : R-carré multiple (0.430), R-carré ajusté (0.356) ; test statistique ($F_{obs} : 5.789 ; 6 ; 46$ df, p-value < 0.000), AIC (915.501), BIC (921.412)

4.7.2. Variables affectant la croissance du liège et le rendement par un modèle linéaire mixte

Les résultats de l'analyse du modèle développé pour prédire la croissance du liège montrent que la vitesse de formation du liège est significativement affectée par les variables individuelles de l'arbre que par celles du milieu physique ou forestier (Tableau 56). Nous constatons que la vitesse de croissance du liège présente une relation inverse avec le déficit foliaire et le diamètre de l'arbre. Ces résultats sont similaires à ceux présentés par le modèle linéaire logistique, pour prédire l'épaisseur du liège en fin de cycle de production (Tableau 56). Cependant, l'effet exposition disparaît dans l'analyse linéaire mixte (Tableau 56)

En fait, les meilleurs accroissements annuels du liège ont été enregistrés chez les arbres sains ayant une faible grosseur. En fin de rotation, 72% des planches sont aptes au bouchonnage ($R_{11} = 27.73 \pm 1.35$ mm ; CV = 22%), et le liège est dominé par les types juste et régulier. Par contre les arbres affaiblis et de diamètres plus supérieurs, produisent des plaques de liège plus minces (24.75 ± 1.75 cm ; CV = 21.61%) dont 54% est destinée à la trituration. D'autres

variables de second rang contribuent significativement dans la variabilité de la croissance du liège. Il s’agit en effet, de la hauteur d’écorçage et l’altitude de la placette. Elle augmente mais faiblement avec l’augmentation de la hauteur d’écorçage et en l’altitude plus inférieure (<1390m). Le reste des variables restent sans effet sur la croissance du liège (P, Expo, Ps, Topo, Nt).

Tableau 56 : Modèles linéaires à effets mixtes pour prédire l’épaisseur du liège bouchonnable en fin de cycle de production. Modèles basés sur 125 plaques échantillonnées.

Modèle	Variables	Coefficient	ZValeur	P-value
Facteur de croissance du liège	β_0 (intercept)	3,720± 2,110	-	-
	Déficit foliaire	-1.940 ± 0.585	-3,318	***
	Diamètre de l'arbre	-0.073± 0.024	-3,014	**
	Hauteur écorçage	2.969 ± 1.247	2,392	*
	Altitude	-1.156 ± 0.561	-2,051	*

Coefficients du modèle (± erreur standard): β_0 , intercept; La variable Déficit foliaire est définie en trois catégories («1: sain», «2: affaibli», «3: dépérissant»), le test du rapport de vraisemblance (Zvaleur) et code de signification:0 ‘***’, 0.001 ‘**’, 0.01 ‘*’, 0.05 ‘.’. Performances du modèle: marginal R2 (0.403), R2 conditionnel (0.549), AIC (137.4), BIC (154.4).

Par ailleurs, l’application du modèle linéaire mixte pour prédire le rendement en liège montre que l’analyse des variables soumises au modèle montre l’influence significative de certaines variables sur le diamètre des arbres (Tableau 57). Parmi ces variables, nous trouvons la hauteur dominante (Hd) qui contribue très significativement sur la croissance des arbres et par conséquent sur leur rendement en liège. Ceci explique que les arbres les plus gros et les plus productifs sont généralement localisés dans les peuplements les plus hauts (Hd >10m, D : 0.40m, R₁₁ :17.42kg). Le diamètre et le rendement des arbres diminuent sensiblement avec la diminution de la hauteur dominante (Hd<8m ; D : 0.24m ; R₁₁ :6.88kg). La croissance des arbres est affectée aussi par leur état de santé, la densité totale du peuplement et le microrelief. Ceci indique que les gros arbres vigoureux se développent en peuplement moins dense et en position topographique très favorable (fond de vallée, terrain concave) assuré par le drainage du haut versant. A ce niveau (>1490m), l’altitude montre un effet négatif sur la croissance des arbres.

Enfin, le modèle considéré a montré en partie un effet synergie entre la topographie et l’altitude sur la croissance des arbres. Cette croissance est satisfaisante sur des terrains défavorables (pertes d’eau par drainage) de haute altitude ; mais déficitaire sur des terrains favorables de l’étage inférieur.

Tableau 57 : Modèles linéaires à effets mixtes pour prédire la croissance de l’arbre. Modèles basés sur 634 arbres échantillonnés.

Modèle	Variabes	Coefficient	df	t value	Pr(> t)
	β_0 (intercept)	0.406 ± 0.094	46.019	-	-
Facteur de croissance de l'arbre	Hauteur dominante	0.025 ± 0.004	46.113	5.695	***
	Topographie	-0.111 ± 0.041	45.482	-2.696	**
	Déficit foliaire	-0.030 ± 0.009	576.438	-3.184	**
	Densité totale	-0.040 ± 0.012	42.777	-3.225	**
	Altitude	-0.087 ± 0.033	37.319	-2.580	*
	Topographie*Altitude	0.054 ± 0.020	44.525	2.602	*

Performances du modèle : marginal R2 (0.198), R2 conditionnel (0.265), AIC (-638,68), BIC (-598,00)

4.8. Classification des subéraies en groupes homogènes selon le rendement et la productivité

Les résultats d’hiérarchisation des placettes selon le degré d’influence des différentes variables sur le rendement et la productivité en liège sont présentés dans la figure 123. Ce modèle statistique multi-varié fournit près de 64% de l’explication de la variabilité des données ce qui est très acceptable eu égard de fortes variabilités génétiques et aptitudes individuelles connues pour chêne liège (Natividade, 1956 ; Ferreira et al. 2000). Deux groupes de placettes se distinguent aux caractéristiques productives et sylvicoles résumées dans le tableau 58. Le premier groupe se caractérise par une bonne productivité subéreuse et une bonne fertilité du site forestier. Enfin de cycle de production, le rendement affiche une valeur de 17,29 kg par arbre et une production à l’hectare de 4700 kg. Le site est généralement situé en altitudes moyenne à inférieure (<1400m), à pente faible (replats et dépressions). Le sol est profond d’un apport en eau très favorable assuré par le drainage du haut versant. Le peuplement est vigoureux et assez dense ; les arbres dominants sont hauts et aux gros troncs.

A l’opposé, le second groupe dominant, se distingue par une qualité inférieure du site. Le rendement et la productivité ont perdu plus de la moitié de leur valeur. Ces peuplements se trouvent en altitude moyenne à supérieure (>1400m). Le terrain est plus incliné, la position topographique est plus drainante et le sol est à dominance superficielle Le peuplement est dense mais à croissance faible des arbres. L’état de santé est globalement satisfaisant, mais la majorité des peuplements jugés en déclin (Is >1.8) se trouvent dans ce groupe.

Il est à remarquer qu’au sein du même groupe, nous enregistrons une forte variabilité des deux paramètres de production et de certaines variables avec des coefficients de variation de la moyenne supérieure à 30 %.

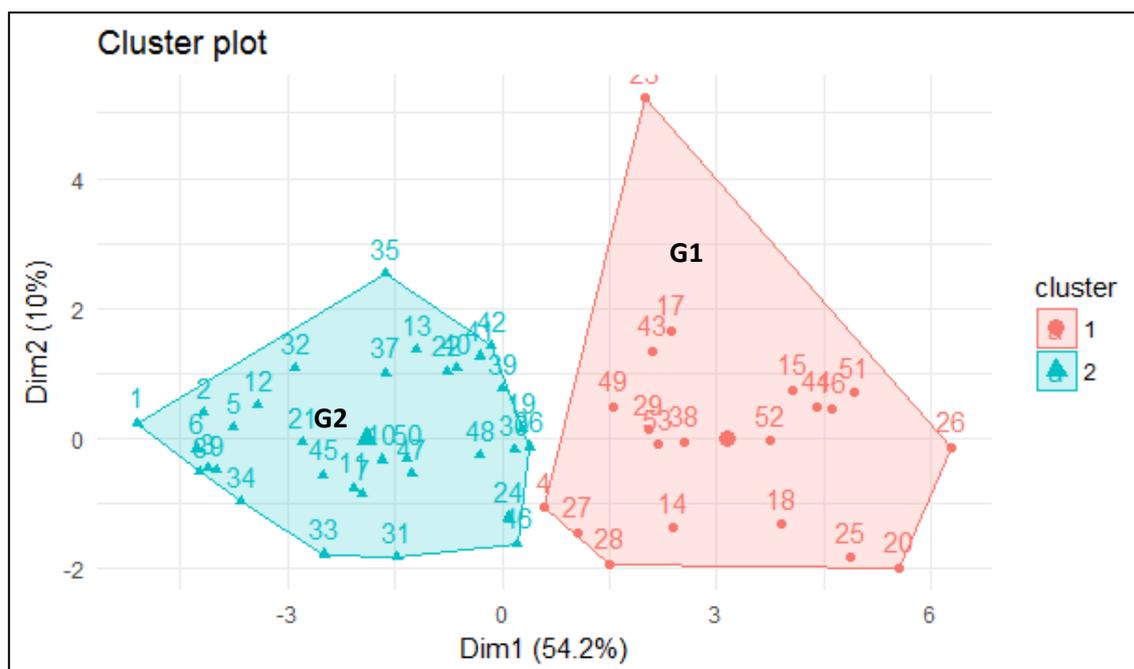


Figure 123 : Hiérarchisation des placettes selon l’effet des variables sur la production du chêne liège au cours d’un cycle complet de production.

Tableau 58 : Caractéristiques physiques, forestières des groupes de placettes selon leurs potentialités productives du liège

Variables /Groupes	Groupe 1	Groupe 2
Production du liège		
Épaisseur du liège atteinte à 6ans (mm)	18.55 (23,65)	15.93(21,57)
Rendement moyen à 6ans (kg/arbre)	13.09 (34.81)	4.73 (52.05)
Productivité moyenne à 6 ans (kg/an/ha)	560 (17,35)	200 (59.05)
Rendement moyen en fin de cycle (kg/arbre)	20.74 (37,37)	7.77 (51,88)
Productivité moyenne en fin de cycle (kg/an/ha)	480 (15,51)	180 (57.52)
Peuplement		
Hauteur dominante (m)	9,19 (18.79)	8,34 (26.27)
Circonférence sous écorce (m)	1,41 (15.86)	0,91 (26.34)
Densité (tiges/ha)	300 (53.57)	250 (30.52)
Etat de santé	1,47 (17.89)	1,61 (22.33)
Surface terrière (m2/ha)	47.91 (1.07)	17,70 (55.66)
Terrain		
Altitude (m)	1290-1526	1345-1500
Exposition	S-SE	S-SW
Pente (°)	<20	0-30
Profondeur du sol	Profond	Superficiel
Position topographique	Topo4	Topo2

Chapitre V

Discussion et recommandations de gestion

5. Discussion et recommandations de gestion

Le présent travail, réalisé dans la subéraie de Theniet-El-Had, révèle une diversité des conditions physiques du milieu combiné à une variabilité des caractéristiques dendrométriques et structurales, offrant des potentialités subéricoles assez diversifiées.

5.1. Caractérisation qualitative des tiges de chêne lièges

Les arbres de chêne liège présentent des formes assez diversifiées, issus de la régénération naturelle. Les peuplements ne sont pas soumis à un traitement sylvicole particulier. Dans le cas du chêne liège, un élagage dit de formation est primordial pour les jeunes tiges. Il permet d'empêcher une ramification basse du fût. Cette dernière est permise au-delà de 2m. En fait, le nombre de branches principales et leurs angles d'insertion posent, plus tard, des difficultés de récolte de liège en une seule planche.

Toutefois, il faut veiller à ne pas nuire à l'arbre par élimination excessive de la branchaison. La surface de déliègeage doit se maintenir dans des limites raisonnables (Natividade, 1956 ; Montoya, 1987 ; DGRF, 2005).

C'est dans ce contexte que, Mauriès et Seigue (1980) proposent pour les subéraies rajeunies par recépage, deux types d'éclaircies pour leur amélioration :

- * Eclaircie de forme : elle est précoce et se pratique dès que les rejets sont bien formés par sélection des arbres droits (sans basses branches ou chicots). Cette intervention facilite ainsi la récolte de bonnes planches ;
- * Eclaircie basée sur des critères de qualité et texture de liège : elle est faite lors de la première récolte ; elle sélectionne les sujets porteurs de liège de qualité. Cela offre des forêts à faible densité, composées de gros arbres porteurs de liège de qualité.

Le chêne liège, inséré en peuplements denses est forcé à une croissance en hauteur. La compétitivité imposée pour la lumière entrainera l'étirement des arbres et l'insertion des branches à des angles plus serrés. Cela conduit à l'interception du rayonnement (Montero et al., 1999 in Espirito, 2014).

De plus, les arbres présentent, en grande partie des houppiers déformés. Une telle déformation influe le diamètre moyen et la projection horizontale du couvert. En fait, la capacité de production en liège est liée au volume du houppier et par conséquent du potentiel photosynthétique de l'arbre. Selon Natividade (1956), en Algérie, suite à une densité élevée (donc houppier réduit), la quantité de liège offerte par planche, pour la même durée, est inférieure à celle Portugaise.

Par ailleurs, la suberaie de Theniet-El-Had est confrontée à un problème majeur de régénération par semis. En effet, la régénération des peuplements à partir de glands autoctones, plus adaptés aux contraintes climatiques locales, augmente le taux de réussite des plantations (Eriksson *et al.*, 2017).

Afin d'envisager une régénération naturelle, la parcelle mise en défens doit contenir 200 à 250 pieds mûres, dont 50 sujets sont fructifères et répartis sur une surface de 10 ha. Inversement, si la régénération naturelle n'est pas suffisante, une plantation est nécessaire. Sa réussite dépend du degré de développement des racines avant la transplantation, la réduction du pâturage et des conditions de mise en défens (Torres, 2003 ; Amandier, 2011; Eriksson *et al.*, 2017). Cette opération reste, à ce jour, défailante en Algérie car la majorité des plantations en chêne liège ainsi réalisées à partir de 2002 dans la cadre du programme national de reboisement (PNR) ont été échouées (Bouhraoua *et al.*, 2014).

5.2. Caractérisation dendrométrique des tiges de chêne lièges

Un arbre de chêne liège moyen présente une circonférence moyenne sous écorce de 0.98 m, une hauteur totale moyenne de 7m, une surface terrière moyenne de 0.098 m². Ces chiffres sont sensiblement supérieurs à ceux enregistrés par Chouahda (2016), pour les subéraies d'El Kala, situés à 0.24 m pour la grosseur et 7.88m pour la hauteur totale.

Il en est de même pour les subéraies de Tlemcen qui sont considérées dans un état de dégradation assez avancé; elles sont caractérisées par une circonférence moyenne de 0.65 m s'intercalant de 0.24 à 1.17 m et une hauteur totale de 6.35m (Letreuch-Belarouci *et al.*, 2013).

5.3. Structure, typologie et dynamique des peuplements

Les peuplements à chêne liège présentent une circonférence dominante de 1.28 m, une hauteur dominante de 8.95 m, une densité moyenne de près de 291 pieds/ha et une surface terrière totale de 27.20 m²/ha. Comparés aux subéraies d'El Kala, cette dernière présente une surface terrière totale inférieure de l'ordre de 14.70 m²/ha et une densité du peuplement plus importante de près de 500 pied/ha (Chouahda, 2016). Ceci explique que les subéraies d'El Kala sont plus jeunes que ceux de Theniet-El-Had.

La densité enregistrée pour les subéraies de Theniet-El-Had, est supérieure comparée à celle de la forêt de M'Sila (Oran) qui varie de 80 à 250 pieds/ha (Ghefar et Dehane, 2018).

Par ailleurs, ces valeurs moyennes sont encore supérieures à celles de Tlemcen. En effet, Letreuch-Belarouci et *al.* (2013) ont signalé une hauteur dominante de 7.97 m, une surface terrière totale moyenne de 19.26 m²/ha et une densité moyenne de 250 pieds/ha. Cela est le corollaire, selon ces mêmes auteurs, d'un épuisement de ces subéraies par l'exploitation de liège et la récurrence des feux.

La croissance en grosseur est favorisée là où l'alimentation en eau est abondante et les sols sont profonds. L'effet de la profondeur du sol, de son humidité et de son contenu en sodium et potassium a été signalé par Vasquez et *al.* (2008). Ces auteurs ont considéré que ces facteurs ont une influence sur la croissance diamétrale du chêne liège. De plus, la température de l'air (moyenne, minimale et maximale) et l'humidité du sol, influencent significativement la croissance journalière en diamètre du tronc de chêne liège (Vasquez et *al.*, 2007). Ces paramètres sont encore liés à la croissance du liège et de sa qualité. En fait, Courtois et Masson (1999) signalent que la présence du potassium dans le liège pourrait être influencée par l'alimentation hydrique dans le sol et la transpiration de l'arbre.

L'analyse des structures élémentaires formant les subéraies de Theniet-El-Had présentent un aspect global irrégulier avec des peuplements élémentaires composés de groupes d'arbres à structure plus ou moins régulière. Selon Letreuch-Belarouci et *al.* (2013), les variations dendrométriques cachent une réelle structure verticale au sein des peuplements naturels.

La projection des placettes d'étude montre une diversité des peuplements élémentaires. Les peuplements à structure dominées par les vieux sujets au dépend des jeunes, sont souvent considérés en déclin. Inversement, ceux dominés par les jeunes sujets à production abondante de glands, sont considérés sains et d'un potentiel d'expansion élevé (Halpin et Lormier, 2017). Selon Bedel et Tomassini (2002), l'évolution possible des peuplements, en absence de traitements sylvicoles et de plans d'aménagement se présente comme suit :

- * Les subéraies à petits bois présentent plusieurs possibilités et peuvent présenter une dynamique vers les peuplements à PB-BM, BM et BM-GB ;
- * Les subéraies à petits bois et bois moyen évoluent souvent vers le type IR (peuplements irréguliers) ;
- * Les subéraies à petit et gros bois évoluent vers BM-GB ;
- * Les subéraies à bois moyen évoluent vers BM-GB ou GB ;

- * Les subéraies à bois moyen et gros bois s'orientent vers type GB, ou elles restent dans le type initial suite à un ralentissement de croissance ;
- * Dans le cas des subéraies irrégulières (IR), plusieurs possibilités se présentent en fonction de la structure initiale.
- * Peuplements à gros bois reste dans le type de départ.

Bedel et Tomasini (2002), estiment que l'amplitude des changements naturels de structures peut varier de 4 à 36%, sur le triangle des structures pour une durée de 20 ans pour les feuillus irréguliers. L'application des coupes (amélioration, préparation, martelage...etc.) rend cette amplitude supérieure et accélère la conversion.

Ainsi, le sens et la vitesse d'évolution dépend de la structure de départ, des potentialités d'accroissement, du recrutement dans les jeunes tiges et des conditions stationnelles. La gestion sylvicole influe la physionomie des peuplements en accélérant l'évolution des parcelles dans le même sens que la dynamique naturelle, ou s'efforce de la freiner (Bedel et Tomasini, 2002).

L'analyse des évolutions et les coupes possibles révèlent l'importance de la nature des prélèvements et leurs répartitions dans les différentes catégories de diamètre, sans pour autant fixer la coupe idéale pour virer d'un type à l'autre. En fait, la réalité est plus complexe et est dépendante du pouvoir analytique des dynamiques naturelles en fonction des divers contextes. De plus, la durée de la rotation influe les fluctuations et les taux de prélèvement (Bedel et Tomasini, 2002).

Par ailleurs, l'utilisation de l'ACP a fait ressortir quatre grands types dont la composition en catégories de diamètre permet la différenciation. Un seul groupe est celui où le chêne liège se mélange aux autres essences forestières et représente moins de 40% des mélanges. Cette structure globale diffère de celle proposée par Letreuch-Belarouci (2010) pour les subéraies de Tlemcen qui sont composée de cinq grands groupes tels que: (i) subéraies purs à diverses dimensions, (ii) la yeuseaie, (iii) la zéenaie, (iv) les subéraies mixtes (Genévrier) et (v) les subéraies mélangées (pin d'Alep, genévrier et chêne vert). En fait, il semble que la composition et l'état des subéraies de Theniet-El-Had est meilleure que celle de Tlemcen. Ces derniers sont considérés dégradés et en état sanitaire médiocre (Bouhraoua et Villemant, 2005, Letreuch-Belarouci, 2010).

De plus, la classification hiérarchique ascendante révèle la présence de quatre groupes dont la dynamique possible peut se présenter comme suit :

Type 1 : Subéraies irrégulières à bois moyen, gros et très gros bois

Dynamique possible ou évolution naturelle :

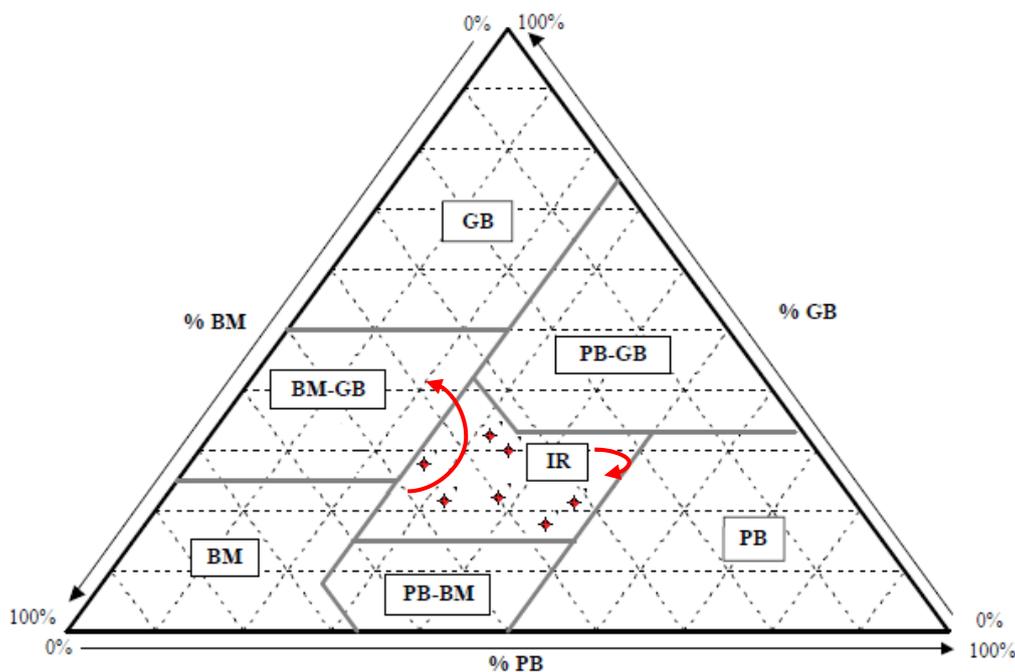


Figure 124 : Dynamique naturelle possible du type 1

Orientation et actions d'amélioration

Ce type de peuplement peut évoluer vers des catégories de bois à grosseur supérieure (Figure 124), soit celle des bois moyen et gros bois. La conservation de la même composition est possible suite à un ralentissement de croissance apparente des tiges âgées. La quantité de liège produite augmentera, mais sensiblement suite aux accroissements faible en grosseurs.

Selon Bedel et Tomasini (2002) et Lombardini *et al.* (2005), le sylviculteur peut choisir de conserver le type irrégulier (IR) en appliquant une coupe assez bien répartie dans les catégories de diamètre. Quoiqu'un peu plus forte dans la catégorie GB et même TGB, cette coupe permet de rester dans une structure assez proche de celle initiale. Cependant, s'il désire faire évoluer la structure BM-GB, une coupe plus forte dans la catégorie PB et faible pour les GB, suffit pour orienter les peuplements vers la composition voulue.

Le mode de traitement adopté, dans le cadre d'un Parc National visant à sauvegarder une structure mosaïque et riche, doit valoriser tout peuplement par une amélioration de son état de point de vu composition, qualité, consistance et pérennité. L'intervention doit se faire dans les

différentes catégories de grosseur sans viser l'obtention d'une structure de référence à moyen ou long terme (Beal., 2007).

L'unité de gestion peut subir un traitement combiné (récolte, amélioration, renouvellement). La non-référence à un peuplement idéal nécessite le recours à des critères offrant des indicateurs adéquats issus d'inventaires périodiques. La pertinence des orientations et des interventions proposées est obtenue par comparaison d'état initial et final de l'unité de gestion (Beal., 2007).

Une autre alternative peut avoir lieu, dans le cas de ces subéraies est celle de faire évoluer la structure vers PB-GB. Pour cela une coupe est appliquée dans les grosses tiges, essentiellement TGB. Les catégories BM et GB, vigoureuses, peuvent servir à la régénération des peuplements (semenciers). En cas de défaut de régénération naturelle, l'intervention artificielle est nécessaire.

Le renouvellement nécessite une ouverture régulière de trouées permettant d'obtenir la succession des régénérations offrant des petits bois et bois moyen d'avenir. Cela permettra de compenser les pertes d'exploitabilité. A cela s'ajoute, le crochetage du sol (favoriser l'apparition des drageons), la mise en défens lorsque la régénération est acquise et l'élimination des semenciers improductifs (Chollet et Kuus, 1998 ; Louvet et Tambolini, 2001).

Type 2 : Subéraies mixtes

Dynamique possible ou évolution naturelle :

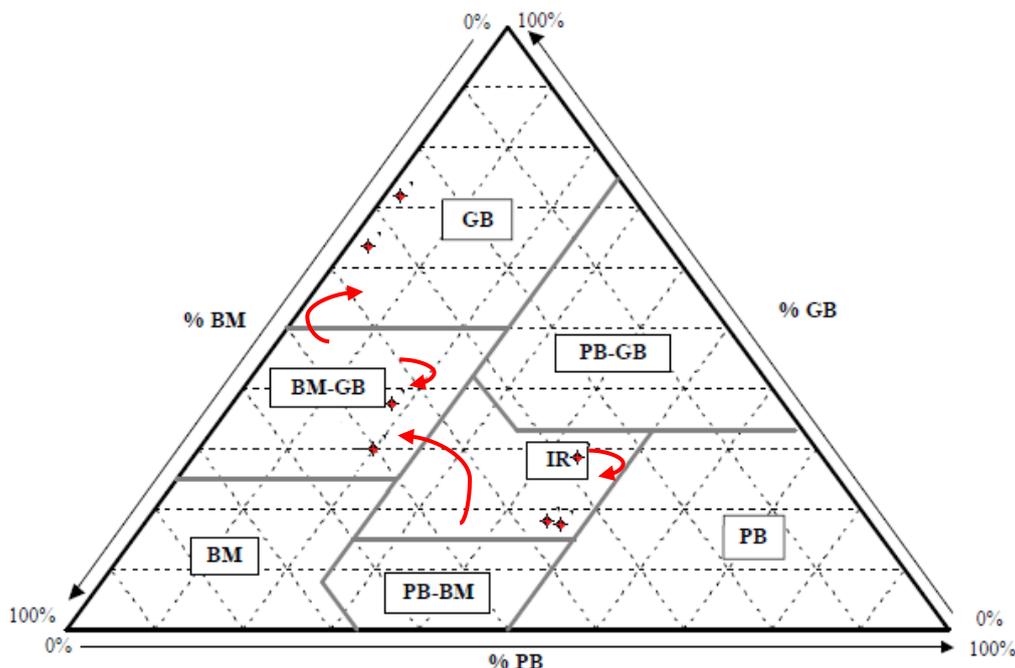


Figure 125 : Dynamique naturelle possible du type 2

Orientation et actions d'amélioration

Le chêne liège, à l'intérieur de ces peuplements (Figure 125), présentent des catégories de diamètre BM, GB et TGB. Donc, il peut présenter une évolution proche de celle proposée pour le type '1'. L'avantage pour ces subéraies mixtes, est leur état sanitaire vigoureux et leurs capacités compétitives pour les ressources et la lumière (Naggar et Bouhraoua, 2017).

Un prélèvement de 22% dans les PB et 10% dans BM et GB, permet de garder une structure BM-GB, par le biais d'une éclaircie par le bas (Bedel et Tomasini, 2002). En fait, cela permet une capitalisation des tiges dans cette structure, offrant une production de liège satisfaisante. Par contre, si le sylviculteur cherche à revenir d'une structure BM-GB vers la structure irrégulière, une coupe plus accentuée dans les GB et très faible dans les PB (éviter le problème de renouvellement) serait plus propice (Bedel et Tomasini, 2002).

Les coupes appliquées pour ces peuplements sont censées conserver la structure initiale, mais favorisant la présence du chêne liège à l'intérieur des mélanges. La programmation d'une régénération naturelle ou artificielle est une nécessité majeure.

La stratégie de renouvellement peut avoir lieu par crochetage du sol, éclaircies sanitaires et de régénération, préservation des régénérations repérées et tailles et éclaircie légère d'amélioration. La régénération ne peut être immédiate mais graduelle. En fait, il faut éviter une ouverture brusque des peuplements. Mais l'ouverture des trouées permettent un renouvellement par bouquets (Chollet et Kuus, 1998 ; Lombardini et *al.*, 2005 ; Piazzetta, 2009).

Type 3 : Subéraies à gaules et perches

Dynamique possible ou évolution naturelle :

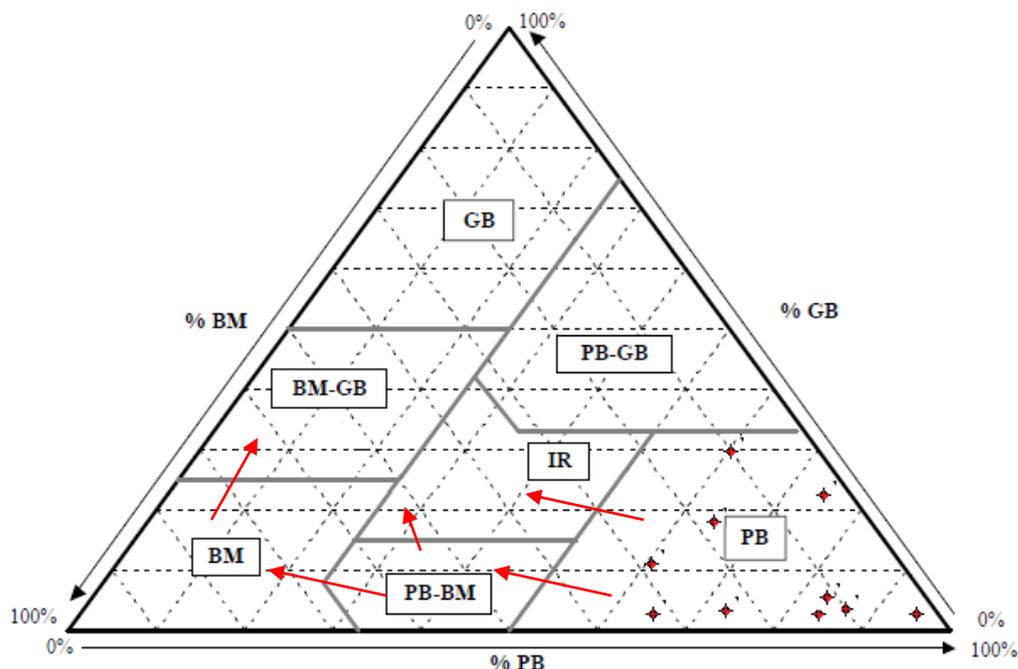


Figure 126 : Dynamique naturelle possible du type 2

Orientation et actions d'amélioration

Ce type de peuplement est supposé évoluer vers PB-BM, BM, BM-GB ou devenir irrégulier (Figure 126). En fait, le type composé essentiellement de PB, évolue vers la catégorie de diamètre suivante, soit celle de bois moyen. Suite aux différences de croissance, la nouvelle structure est composée exclusivement de bois moyen ou mélangé aux petits bois. Une coupe d'amélioration légère permet l'obtention de cette structure. Lors d'une deuxième rotation, les peuplements peuvent être orientés vers BM, puis vers BM-GB (Bedel et Tomasini, 2002).

Par ailleurs, afin de permettre une évolution vers le type irrégulier, une coupe plus forte est exercée dans la catégorie des petits bois (Bedel et Tomasini, 2002).

La tendance d'évolution que peut enregistrer ce type de peuplement permet une capitalisation, à long terme dans la catégorie des GB. Cela permettra une augmentation de la production en liège et une amélioration du rendement offert par pied.

Par ailleurs, ces subéraies se caractérisent encore par la présence de taillis, parfois fortement dégradés. La conversion en futaie permettra une amélioration des potentialités

subéricoles. Piazzetta (2009), propose des éclaircies à la faveur des sujets d'avenir et des tailles de formation.

Lors du passage à la futaie, il serait satisfaisant de faire une sélection de la qualité dans le jeune âge. Les facteurs pouvant influencer le passage, surtout dans le cas des taillis sous futaie, sont ceux liés au peuplement (capital sur pied et densité), à la station (exposition ; altitude...) et à la vigueur des taillis (Louvet et Tambolini, 2001 ; Bedel et Tomasini, 2002).

Parmi ces peuplements, ceux présentant un couvert ouvert, présentent un sous-bois dense. Un débroussaillage est nécessaire combiné à des éclaircies permettent une bonne extension diamétrale des houppiers d'arbres d'avenir. Un espace vital suffisant aux arbres réduit la compétition induite et leur permet de surmonter les situations de sécheresse extrêmes (Louvet et Tambolini, 2001 ; Demangeat, 2007 ; Piazzetta, 2009 ; Ruiz-Benito et *al.*, 2013 ; Naggar et Bouhraoua, 2017).

Ces subéraies peuvent être considérés en phase de grossissement ou proche de cet état. Selon (Bastien, 2001), les peuplements marqués par la présence des perchis se caractérisent par un début de passage dans l'étage dominant des arbres les plus forts. L'écart entre les arbres dominants et dominés s'accroît. Le sylviculteur peut se servir de ces écarts pour le choix des arbres d'avenir dans le cadre des coupes d'amélioration.

Type 4 : Subéraies irrégulières à perchis, petit bois et bois moyen

Dynamique possible ou évolution naturelle :

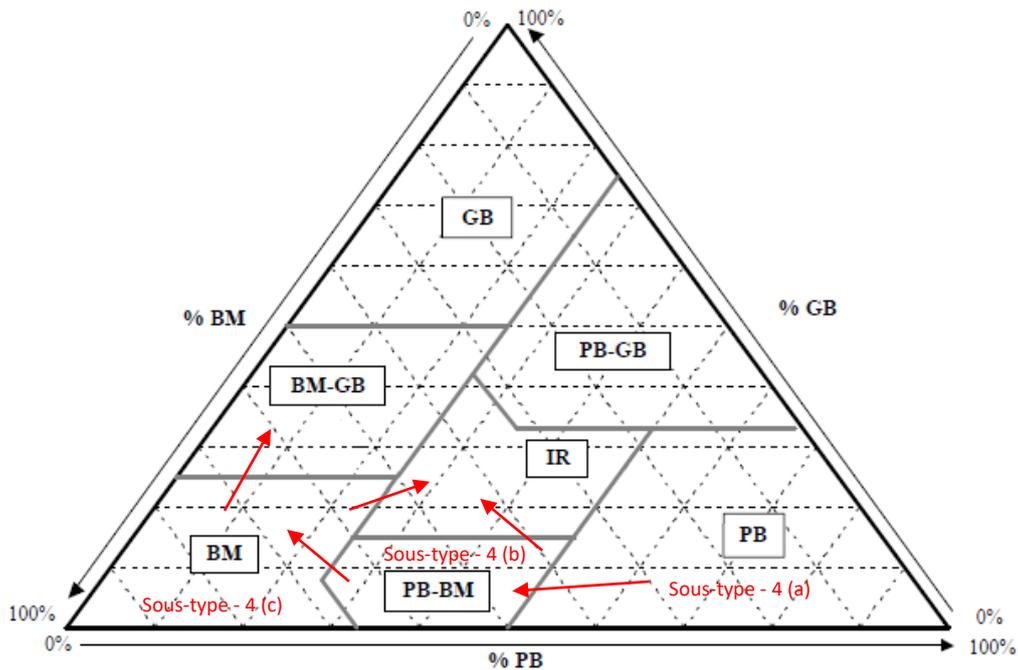


Figure 127 : Dynamique naturelle possible du type 2

Orientation et actions d'amélioration

Les sous-types considérés pour ces subéraies, permettent une gestion plus aisée. Chaque sous-type peut suivre une évolution vers des catégories de diamètre supérieures (Figure 127). Les coupes utilisées sont semblables à ceux appliquées au type 3.

L'évolution du type PB-BM vers le type BM semble avoir une tendance naturelle ; elle nécessite un prélèvement dans la catégorie des gros bois. La préservation des pieds à bois moyen forcera l'évolution vers le type BM. Par contre, une évolution vers le type irrégulier (IR) nécessite des coupes dans les différentes catégories de bois. Toutefois, il faut que le peuplement présente un accroissement assez fort pour que les BM remplacent les GB (Bedel et Tomasini, 2002).

De plus, l'évolution du type BM vers le type BM-GB demande une coupe centrée sur les PB, qui accentue l'évolution naturelle d'une parcelle de structure initiale BM vers le pôle des GB. Il à signaler, que le prélèvement dans les BM doit être modéré (environ 12%). L'application d'une telle coupe d'amélioration par le bas, entraîne une capitalisation dans les GB, lors d'une conversion en futaie régulière (Bedel et Tomasini, 2002).

5.4. Etat sanitaire des subéraies de Theniet-El-Had

Le déficit foliaire est un indicateur principal de l'altération sanitaire des arbres ; il est lié à des facteurs climatiques (gel d'hiver, sécheresse estivale) et biotiques comme les insectes ravageurs ou les champignons phyto-pathogènes (Galiano et *al.*, 2012).

Les subéraies de Theniet-El-Had présentent un indice sanitaire moyen de 1.56, reflétant une situation sanitaire satisfaisante. Les peuplements, les plus vigoureux sont situés en expositions lumineuses (Sud-Ouest) et même Sud-Est, sur des sols profonds profitant d'une bonne accumulation d'eau bien drainée (effet de pente).

L'absence de la pression d'exploitation et le nombre d'écorçage a contribué à la stabilité de l'état sanitaire favorable de cette subéraie. Il en est pas de même, pour une grande partie des subéraies du Nord-Ouest Algérien telles que celles Tlemcen (Hafir et Zariéffet) et Mascara (Nesmoth) et du littoral d'Oran (M'Sila) (Bouhraoua et *al.*, 2002 ; Bouhraoua et Villemant, 2005). Mais une part non négligeable de ces subéraies sont en début de dépérissement et caractérisées par des indices sanitaires supérieurs à 1.60. La perte de vigueur des arbres n'est pas associée systématiquement à un insecte comme le xylophage *Platypus cylindrus* (Belhoucine et Bouhraoua, 2012) ou à un pathogène tel que *Cryphonectria naterciae* (Smahi et *al.*, 2018), mais due surtout à des conditions stationnelles défavorables (tassement du sol, incendies récurrents, stress et déséquilibre physiologique...etc.) (Bouhraoua et Villemant, 2005, Dehane et *al.*, 2014). Les sujets affaiblis ayant subi six opérations d'écorçage ne sont pas rares (Dehane, 2012).

De plus, l'indice sanitaire s'améliore chez les peuplements en terrain à faible ou moyenne pente où les ruissellements sont faibles. Cela corrobore avec signalé par Bouhraoua (2003), pour les subéraies Oranaises. Dans ces dernières, les sols les plus superficiels entravent le développement racinaire entraînant une détérioration sanitaire des peuplements.

De plus, les subéraies de Theniet-El-Had sont installées sur des sols de texture argilo-sablonneuse (Sarmoum et *al.*, 2013). Cette texture dominée par les éléments fins, provoque en sols dégradés et dénudés, le phénomène de battance (formation d'une croûte compacte), qui favorise le ruissèlement surtout en terrains accidentés (Durand et *al.*, 1983). Cette constatation est encore soulevée par Bouharoua (2003) pour la subéraie de Nesmoth, dont la dégradation du couvert végétal sous effet d'un surpâturage, réduit considérablement les réserves en eau et met en péril l'état de santé des arbres du chêne liège.

Par ailleurs, les subéraies mixtes présentent un bon état sanitaire. En fait, les mélanges à l'intérieur des peuplements optimisent les cycles biogéochimiques, améliore le fonctionnement de l'écosystème et sa fertilité. Donc, une meilleure stabilité permettant une cicatrisation plus rapide et régénération aisée. De plus, la mixture à l'intérieur des peuplements procure une adaptabilité meilleure suite à la diversité génétique des espèces présentes et leurs amplitudes écologiques différentes (Rameau, 1999).

5.5. Caractérisation du liège de Theniet-El-Had

L'ensemble des échantillons de liège présentent un poids moyen par unité de surface de 6.58 kg/m^2 , et un poids volumique moyen de 230.35 kg/m^3 pour une humidité moyenne de 6.49%. Ces valeurs moyennes corroborent parfaitement avec ceux présentés par Saccardy (1938) pour le liège Algérien. Cet auteur a signalé qu'un arbre moyen de densité moyenne de liège de 230 kg/m^3 offre 6.50 kg/m^2 . Par ailleurs, le poids moyen par unité de surface enregistré est inférieur à celui donnée pour liège du Portugal., situé entre 7.5 kg/m^2 et 8.8 kg/m^2 (Natividade, 1956 ; Ferreira et al., 2000), ou celui Espagnol, de l'ordre de 7.2 kg/m^2 à 8.8 kg/m^2 (González-Adrados, 1993 ; Garriga, 2008).

Pour le liège algérien, Chorana et al (2019), ont obtenu une productivité moyenne de 5.91 kg/m^2 , valeur variant entre la tranche de $[6.22-6.92 \text{ kg/m}^2]$ pour les lièges provenant de plusieurs sites (Tlemcen, Oran, et Tiaret) et $[5.30-5.86 \text{ kg/m}^2]$ pour les lièges de Chlef, Relizane et Tlemcen littoral. Par contre, Ghalem (2017) a donné des valeurs supérieures de l'ordre de 7.13 kg/m^2 pour liège de Tlemcen (Hafir et Zariéffet) et 7.70 kg/m^2 pour le liège de M'Sila (Oran).

De plus, une valeur moyenne de 6.58 kg/m^2 pour le liège de haute montagne de Theniet-El-Had (plus de 1400 m), est inférieure à celle enregistrée par Dehane et Ghefar (2017) pour différentes provenances de liège Algérien. En fait, celui de Tizi Ouzou offre 8.91 kg/m^2 pour un chêne liège d'altitude moyenne de 800 m, de Bejaia avec 8.95 kg/m^2 (600 m d'altitude). Ces mêmes auteurs ont signalé une productivité élevée de 9.52 kg/m^2 pour un liège de Jijel situé à 410m d'altitude. A cela s'ajoute, le liège de Skikda caractérisé par un rendement de 8.62 kg/m^2 (400 m d'altitude), contre 9.49 kg/m^2 à Mila (à 460m d'altitude). Dans la région d'El Taref, le chêne liège est le plus productif avec une valeur moyenne de 10.35 kg/m^2 pour une altitude de 400 m.

En ce qui concerne la densité du liège de Theniet-El-Had ; les résultats ont montré une valeur faible, très proche de celle enregistrée par Ghalem (2017) pour le liège de M'Sila à

Oran (232 kg/m^3) et même de celui de Tlemcen (Hafir et Zarieffet) avec 215 kg/m^3 . Dehane et *al* (2015) ont obtenu des valeurs variant entre 207.77 kg/m^3 et 318.02 kg/m^3 selon les provenances. Les valeurs sont proches à Tlemcen (207.77 kg/m^3), Oran (241.10 kg/m^3) et Tizi Ouzou (238.01 kg/m^3) et relativement plus élevées à Jijel (279.32 kg/m^3), Mila (284.94 kg/m^3) et Guelma (318.02 kg/m^3).

Comparativement avec le liège étranger, la densité du liège de la zone d'étude est inférieure à celle enregistrée par Ferreira et *al.* (2000), pour le liège Portugais (Alcacer do Sal) située à 266 kg/m^3 ou même de celle de l'Espagne, de l'ordre de 240 kg/m^3 (Garriga, 2008).

La croûte, d'une valeur moyenne de 1.18 mm représente 3.40% de l'épaisseur totale du liège. Elle est inférieure à celle enregistrée par Taco et *al.* (2003) pour le liège portugais, située à 9.6% de l'épaisseur totale de la planche.

Une présence excessive de la croûte engendre énormément de déchets lors de la production de bouchons. La qualité, de point de vue mécanique, est moins appréciée suite à la perte d'élasticité (IML, 2005b ; Costa et Pereira, 2010 ; Ghalem, 2017).

5.6. Accroissement moyen des échantillons de liège

Le liège de Theniet-El-Had présente un accroissement moyen de 2.38 mm/an, et dont le coefficient de variation de 22%. Ces valeurs sont inférieures à celles enregistrées par Ferreira et *al.* (2000) pour le liège Portugais, variant de 2.2 à 4.8 mm/an. Il en est de même pour ceux présentés par Caritat et *al.* (2000) pour le liège Espagnol, s'intercalant de 1.85 à 5.25 mm/an.

Il est à signaler que, l'accroissement le plus important, soit 3mm/an, est enregistré au cours des deux premières années après l'écorçage. Néanmoins, il reste inférieur à celui enregistré par Ghalem et *al.* (2018), pour la subéraie de Tlemcen (4.8 mm/an), à celui de Benavente (Portugal), de l'ordre de 4.6 mm/an Ghalem et *al.* (2018). Dans les subéraies de plaine (Alcacer do Sal., Portugal), Ferreira et *al.* (2000) ont enregistré un accroissement moyen plus supérieur situé à 5.38 mm/an.

La quantité de liège produite annuellement devient, par la suite, décroissante, soit 1mm seulement en fin de cycle de production. Cette tendance est similaire pour le liège, quel que soit sa provenance (Lamey, 1893 ; Saccardy, 1937, Natividade, 1956 ; Perreira et *al.*, 2000 ; Pereira, 2007 ; Dehane et *al.*, 2011 ; Ghalem et *al.* ; 2018).

En revanche le cerne le plus mince est de 1.70 mm/an enregistré peu avant la fin du cycle de production. Ghalem et *al* (2018), donne pour la même année d'accroissement un cerne mince de 1.90 mm/an à Tlemcen, contre 1.6 mm/an seulement pour celle de Benavente (Portugal), et ce à partir de la huitième année d'accroissement. Par contre, il est plus élevé de l'ordre de 2.19 mm/an, pour les subéraies espagnoles de plaine (Ferreira et *al.*,2000).

Les accroissements faibles, dans les régions montagneuses, peut-être dû au type, profondeur du sol et pente du terrain. Ces derniers constituent des facteurs limitant la disponibilité en eau et entravent l'accès des racines aux eaux souterraines profondes. De plus, la faible croissance est proportionnelle au taux de respiration des arbres pendant la période du stress hydrique. Par conséquent, la quantité de carbone détournée à la croissance du liège est moindre (Costa et *al.*, 2016).

Par ailleurs, l'accroissement moyen enregistré dans la subéraie de Theniet-El-Had (2.38 mm/an) est inférieur à celui présenté par Dehane et Ghefar (2017) pour les subéraies de la région Est du pays (El Taref, Jijel, Skikda, Guelma et Mila), soit 3.14 mm/an ou même celles du centre du pays (Tizi Ouzou et Bejaia) de l'ordre de 3.19 mm/an calculé à partir de 8 accroissements complets. De plus, il en est de même pour le liège de Zarieffet et Hafir de l'ordre de 2.96 et 2.79 mm/an respectivement et celui de M'Sila situé à 3.21 mm/an, et ce à partir de 9 accroissements complets (Ghalem, 2017). Quant aux valeurs d'accroissement annuel moyen durant cette même durée, Guarchi et Sghair (2002) ont signalé des valeurs oscillant de 2.58 à 2.75 mm/an pour le liège tunisien (forêt de Thébébia).

La variabilité d'épaisseur des couches subéreuses est influencée par des facteurs d'ordre climatique. En fait, l'accroissement est meilleur durant les années pluvieuses à températures modérées (Caritat et *al.*, 2000 ; Ghalem et *al.*, 2018). De plus, les arbres produisent à un âge avancé des cernes moins épais et leur production en liège devient moins rentable à partir de la 10^{ème} récolte (Natividade, 1956).

Selon cet auteur, la réduction des accroissements est due à la pression progressive exercée, sur le phellogène, par les couches subéreuses installées d'une année à l'autre. Par ailleurs, Saccardy (1937) rattache le processus de réduction des accroissements au processus de formation de liège. En fait, l'excitation première provoquée par la levée de liège se ralentit progressivement. Les accroissements subéreux suivent la même loi pour devenir identiques, au bout d'un certain nombre d'années, aux accroissements du liège mâle.

Un cycle de production de 12 ans semble être adéquat à cette subéraie de montagne. Le liège de Theniet-El-Had peut atteindre 60% de l'épaisseur totale (soit 26.20 mm) à la sixième année. Il présente, par conséquent, un rythme moins accéléré qu'à celui du Portugal (Alcacer do Sal). Dans cette région, le liège peut atteindre la moitié du total du cycle en trois ans seulement (Ferreira et *al.*, 2000).

Le liège de Theniet-El-Had a tendance d'avoir des accroissements similaires au-delà de six ans. L'arbre excité par la levée de liège, produit des accroissements importants durant les trois à quatre premières années (Saccardy, 1938 ; Ferreira et *al.*, 2000 ; Pereira, 2007).

Au sein des peuplements, il est courant d'avoir des sujets très voisins, donnant du liège de propriétés différentes. Cela est souvent attribué à des aptitudes individuelles de chaque arbre. En revanche, il est encore possible d'avoir de petites collections locales qui, indépendamment du milieu, offrent une écorce de nature à peu près constante. L'application du greffage sur souche sera intéressante pour multiplication de producteurs de liège de caractères exceptionnels (Saccardy, 1937 ; Ferreira et *al.*, 2000 ; Pereira, 2007).

La tendance à la baisse de largeur des cernes le long du cycle de production de liège, est conforme aux courbes ajustées pour le liège Portugais, Espagnol ou même Algérien. Les variations du rythme de croissance dépendent de la capacité de récupération de l'arbre après la levée de liège. L'influence dépressive sur l'accroissement est plus intense lorsque la surface mise à nu est plus grande, ou que, chez les jeunes tiges, le rapport entre la surface foliaire et la surface démasclée est moindre. De plus, les accroissements annuels sont influencés par l'irrégularité climatique d'une année à l'autre (pluviosité et durée de chaleur estivale). Par ailleurs, un élagage intense durant l'hiver qui suit le démasclage, réduisant considérablement le branchage, cause une réduction importante des accroissements (Natividade, 1956, Ferreira et *al.*, 2000 ; Caritat et *al.*, 2000 ; Oliveira et *al.*, 2002 ; Dehane, 2012 ; Costa et *al.*, 2016).

Le taux de perte de production subéreuse enregistré pour la subéraie de Theniet-El-Had est inférieur à celui présenté par Ghalem (2017) pour les subéraies d'extrême Ouest Algérien. En fait, la perte de production durant les 8 premières années, est de - 46% dans la subéraie de Zarieffet contre - 32% pour celle de Hafir. Ainsi, il semble que le liège de Tlemcen, quoique caractérisé par un accroissement moyen plus élevé, présente un rythme de décroissance des épaisseurs des couches subéreuses plus accentué qu'à celui de Theniet-El-Had.

Donc, le chêne liège de Theniet-El-Had arrive à maintenir un rythme de décroissance plus ou moins régulier durant le cycle de production. Cela est dû, probablement à l'ancienneté et la

rareté des opérations d'écorçage, au coefficient d'écorçage faible et à l'état sanitaire globalement satisfaisant et stable, et ce, contrairement aux subéraies de Tlemcen.

Seule l'exposition a un effet sur la croissance du liège durant la phase active de formation du liège. En fait, la strate la plus arrosée est celle de Sud-Est, où la croissance en épaisseur du liège est la meilleure. Selon Leal et *al.* (2008), l'eau stockée dans le sol pendant les saisons d'automne et d'hiver avant la saison de croissance a un effet primordial sur la croissance du liège de la saison donnée. De plus, Selon Mendes et *al.* (2016), une disponibilité en eau dans le sol assure une continuité de croissance du liège pendant la période sèche. En fait, l'indice de croissance liège diminue (plus de 40%) immédiatement après une sécheresse accrue. Cela est encore confirmé par Leal et *al.* (2008), indiquant que l'eau stockée dans le sol pendant les mois d'automne et d'hiver avant la saison de croissance a un effet primordial sur la croissance de la saison donnée. La présence de nappe phréatique peu profonde atténue les fluctuations saisonnières. Des résultats similaires ont été révélés par Vasquez (2002 *in* Calzado, 2011) indiquant la présence de corrélations positives entre les variables reflétant la disponibilité en eau et le calibre du liège.

Une faible corrélation est enregistrée entre l'épaisseur du liège et la surface d'écorçage ($R^2 = 0.37$, $P = 0.34$). Cela corrobore avec les résultats présentés par Montes et *al.* (2005), situé à 0.43, indiquant l'implication d'autres facteurs dans la production du liège tels que les facteurs génétiques et physiologiques de l'arbre, les conditions socio-économiques déterminant l'intensité d'écorçage et le mode de gestion des peuplements.

5.7. Caractérisation du rendement et de la productivité du liège

Un arbre moyen peut produire 1.26 à 1.84 m², de surface de liège mâle, selon le coefficient d'écorçage appliqué (1.5 à 2). Ces valeurs moyennes sont proches de celles données par Saccardy (1938). En fait, un arbre de circonférence moyenne de 0.80 et d'une hauteur de planche de 1.60 m offre une surface de 1.28 m². De plus, Montoya (1987) estime une surface de 1.36 m² de liège mâle (ou naturel), chez les sujets de 1.66 m de circonférence relevant des subéraies de Mamora (Maroc).

Le rendement moyen, par arbre, en liège de reproduction est situé, pour les subéraies de Theniet-El-Had, à 10.94 kg/pied. Ce dernier est inférieur à celui enregistré pour les subéraies de plaines de l'Ouest Algérien en l'occurrence la forêt de M'Sila (Oran). En fait, selon Ghifar et Dehane (2018), le rendement de cette subéraie est de l'ordre de 44 kg/arbre, et cela à partir d'un arbre de 1.72m de tour, 10.14 m de hauteur totale et un liège de 28.30mm. Par contre un

arbre de mauvaise production offre un rendement de 16.82 kg/arbre pour une circonférence moyenne de 1.07m, une hauteur de 12.79m et un liège de 26.51mm.

Par ailleurs, un peuplement de chêne liège de Theniet-El-Had, de densité moyenne de 162 pieds/ha, d'une circonférence moyenne sur-écorce de 1.38m et d'une hauteur d'exploitation moyenne de 1.77m peut produire en moyenne 26 quintaux/ha de liège, sachant que près de la moitié des peuplements inventoriés sont productifs. Saccardy (1938) donne une récolte de 45 quintaux/ha pour un peuplement de densité moyenne de 240 pieds/ha et de 1.30 m de circonférence moyenne.

La production des subéraies de Tlemcen, de 251 pieds/ha de densité, est située à 63.27 quintaux/ha (Letreuch-Belarouci et *al.*, 2013). De plus, Natividade (1956), donne pour le Portugal., une production de 20 à 40 quintaux/ha pour une subéraie en plein production, d'une densité moyenne de 100 pieds/ha. Garriga (2008), donne pour les subéraies Espagnoles, une production de 30 quintaux/ha pour un peuplement de densité moyenne de 100 pieds/ha, composé d'arbres de circonférence moyenne de 1.40 m. De plus, Montoya (1987) signale pour la subéraie de Mamora (Maroc), une récolte de 37 quintaux/ha pour un peuplement à densité moyenne de 100 pieds/ha et circonférence moyenne de 1.20 m.

Dans le cas de subéraie de Theniet-El-Had, le nombre de récoltes se limite à 2 ou 3 au maximum et la quantité pouvant être offerte est supposée être satisfaisante. Cependant, il est primordial d'envisager une stratégie de régénération des peuplements. Cette dernière peut être inspirée des expériences menées dans les pays producteurs de liège tel que l'Espagne, Portugal et le Maroc.

En fait, l'application du système agro-sylvo-pastoral., connu sous le nom de '*dehesa*' en Espagne ou '*Montado*' en Portugal., a prouvé son efficacité en matière de gestion et de maintien de plus de trois millions d'hectares des subéraies (Lawson et *al.*, 2005 ; Eriksson et *al.*, 2017). Ce système constitue une forme mature d'agriculture en zones sèches dont la densité des peuplements varie de 50 à 300 pieds/ha. Il permet l'espacement des chênes lièges par des fourrages ou céréales, source d'aliments pour le bétail, et donc, un contrôle plus efficace du pâturage. Les semis développés sous canopées tolèrent l'ombre, mais présentent un développement médiocre, et sont, par conséquent éliminés (Montero et Canellas, 2003 ; Odile, 2004 ; Lawson et *al.*, 2005 ; Liagre, 2006 ; Eriksson et *al.*, 2017).

Ainsi, au Maroc, la culture d'orge empêche l'invasion du sous-bois et constitue donc une lutte contre les incendies de forêts. Cette culture permet un taux de réussite plus élevé des

reboisements à chêne liège. Donc une meilleure rentabilité et productivité des forêts ont été obtenue sans investissement car aucun entretien n'a été fait au cours des deux premières années, sauf la mise en défens des parcelles. De plus, pendant les 18 ans de mise en défens, la culture d'orge a été pratiquée tous les 6 ans, et le réensemencement du chêne liège a eu lieu lors de la deuxième culture d'orge. D'autre part, les coupes sanitaires, d'amélioration et de débroussaillage, ont permis de : (i) produire du bois de feu, (ii) améliorer la production et l'utilisation des parcours, (iii) améliorer la production du liège, (iv) prévenir les incendies de forêt, (v) fournir des emplois surtout pendant l'hiver, (vi) mobiliser les réserves fourragères et améliorer les conditions de surveillance et de gardiennage du bétail pendant le pâturage (Montoya, 1987).

Par ailleurs, le rendement et la productivité sont supérieurs en basses altitudes. La quantité de liège produite est largement meilleure chez les arbres installés en sols profonds où elle peut atteindre 26 kg en fin de cycle. En revanche, elle est de 9 kg seulement chez les arbres implantés sur les sols superficiels. Selon Torres (1995 *in* Clazado, 2011), les sols en basses altitudes sont plus évolués, avec une plus grande capacité de rétention en eau, permettant une production en liège plus importante.

Le rendement en liège, est lié à l'état sanitaire des peuplements dans la mesure où, ceux les plus déficients, sont les moins rentables. Cela corrobore avec les résultats présentés par Costa *et al.* (2004), qui ont indiqué une réduction de croissance de liège chez les sujets affaiblis, suite à une perte de 16% de l'épaisseur totale. De plus, Dehane *et al.* (2013b), ont signalé que la productivité des arbres est affectée par la vitalité des arbres, montrant des valeurs comprises entre $5,96 \pm 7,1$ kg/m² pour les arbres affaiblis contre $8,13 \pm 0,45$ kg/m² pour les arbres sains.

De plus, la productivité est influencée par la topographie du terrain. Elle est largement supérieure dans les situations hydriques très favorables (plus de 40 quintaux/ha). Il est à signaler que, ces stations sont caractérisées par la présence du chêne zeen, indicateur d'humidité du milieu. A cela s'ajoute des espèces herbacées vivaces ou annuelles telles que *Erodium cicutarium ssp bipinnatum*, *Lamium amplexicaule*, *Smyrniium perfoliatum*, *Veronica cymbalaria* et *Vicia sativa* (Latrous, 2017). De plus Torres (2001 et 2011) révèle que, la production en liège, quoique statistiquement non significative, est plus abondante au sein des peuplements denses, à sous-bois ombrophile et mésophile. Par contre, elle est inférieure en peuplements clairs où la végétation est souvent xérophile et héliophile. Ce même auteur, indique qu'il n'existe pas une relation nette entre la qualité du liège et la composition du sous-

bois. Néanmoins, les plantes caractéristiques des milieux productifs sont *Satureja calamintha*, *Phyllirea latifolia*, *Phlomis purpurea*, *Quercus canariensis*, *Calycotom euvillosa*, et *Cistus salvifolius*.

5.8. Effet des facteurs du milieu sur les potentialités subéricoles et modélisation de croissance

5.8.1. Variables affectant la croissance en épaisseur du liège

Les échantillons de liège présentent, pour un même âge, des accroissements assez différents. Selon Pereira et *al.* (1992), les différences du calibre résultent des variations dans l'épaisseur des cernes annuels, composés de cellules dont le nombre et les dimensions sont variables. Ainsi, un liège de petits calibres est composé de 50 cellules dans une rangée d'un anneau de croissance annuel, ayant une hauteur moyenne de prisme de 32.6 μm . Cependant, un liège à anneau large est composé de 150 cellules dont la hauteur moyenne de chacune est de 39.8 μm .

L'épaisseur du liège semble moins affectée par les facteurs du milieu. Ceci semble être dû à l'apport génétique qui tend à maintenir ce type de croissance dans cette zone d'altitude indépendamment des conditions écologiques (Saccardy, 1937 ; Corona et *al.*, 2005). Mais l'existence d'une catégorie d'arbres voisins évoluant dans des conditions identiques du site et fournissant des lièges de couches très variables (allant du mince à l'épais) est attribuée aux aptitudes individuelles de chaque arbre à réagir favorablement ou défavorablement aux facteurs liés au microsite (Saccardy, 1937 ; Natividade, 1956). Ce type de réponse des arbres est similaire à celui déjà signalé dans certaines forêts espagnoles (Torres et *al.*, 1997 ; Sánchez-González et *al.*, 2007a) et italiennes (Corona et *al.*, 2005).

La régression logistique pour prédire l'épaisseur du liège en fin de cycle de production est réalisée a révélé que plusieurs facteurs pouvaient produire une variation de l'épaisseur du liège, en l'occurrence l'état sanitaire et le diamètre des arbres, mais aussi la hauteur d'écorçage de l'arbre et l'exposition du terrain.

En ce qui concerne l'état de santé des arbres, une perte de croissance subéreuse annuelle de 11.01% est enregistrée entre arbres sains et ceux en état de dépérissement grave. Ces résultats sont conformes aux travaux de Dehane et *al.* (2013b) qui ont signalé que l'altération sanitaire des arbres réduit près de 10% des accroissements annuels du liège. Par contre les travaux de Dehane et Bouhraoua (2010) ont signalé que la croissance du liège perd environ 46% de sa vitesse chez les arbres dépérissants par rapport aux arbres sains. C'est ainsi que les

accroissements annuels ont passé de 1.86mm/an pour les arbres sains à 1.01 mm/an pour les arbres affaiblis à Zariéffet (Tlemcen ; montagne) et de 2.42mm/an à 1.87mm/an à M'Sila (Oran : Littoral). En plus, une forte corrélation négative est obtenue entre l'Indice de santé et l'indice d'accroissement du liège pour un peuplement affaibli dominé par les arbres des classes de dépérissement (Dehane et *al.*, 2014).

En ce qui concerne le diamètre de l'arbre, les résultats ont montré que les jeunes arbres ont tendance à avoir une épaisseur du liège plus importante que les arbres plus âgés. En fait, les jeunes arbres présentent une capacité de croissance radiale plus élevée à celle des vieux sujets. Cette capacité est plus marquée chez les sujets ayant subi une première opération de démasclage (Fritts, 1976 ; Caritat et *al.*, 1991 ; Oliveira et *al.*, 1994). Selon Natividade (1956), la régénération du liège est plus rapide après le premier démasclage qu'après les enlèvements de liège ultérieurs, et la couche de liège régénérée est plutôt épaisse et poreuse.

De plus, Natividade (1956) signale que, la croissance du liège est en relation avec le cycle de vie de l'arbre où le déclin de l'épaisseur du liège commence à se manifester dès l'âge de 70 ans et devient plus prononcé après 120 ans (Natividade, 1956). Mais en pleine phase de production des arbres, de légères augmentations de l'épaisseur sont enregistrées avec le diamètre (Sánchez-González et *al.* 2007a ; Costa et *al.*, 2003)

Par ailleurs, les expositions favorables aux pluies, peuvent améliorer la croissance du chêne liège par rapport aux expositions plus sèches (Nadezhdina et *al.*, 2008 ; Ghalem et *al.*, 2018)

La densité du peuplement reste toujours sans aucun effet sur la formation du liège, ce qui est conforme avec les travaux de Torres et *al.* (1997) et Sánchez-González et *al.* (2007a). Nombreux auteurs ont signalé d'autres facteurs pouvant intervenir dans l'épaisseur du liège. Il s'agit de la hauteur d'écorçage (Natividade, 1955), l'intensité de la récolte du liège (Costa et Oliveira, 2001), les caractéristiques du peuplement (Paulo et *al.*, 2016) et la qualité du site (Corona et *al.*, 2005).

Dans le modèle linéaire mixte permettant de prédire l'épaisseur du liège bouchonnable, un effet altitude est ajouté dans le modèle, en plus des variables déjà signalées dans le modèle linéaire logistique (déficit foliaire, diamètre de l'arbre, hauteur d'écorçage). En fait, les meilleurs accroissements sont enregistrés en basses altitudes (Saccardy, 1937 ; Natividade, 1956).

5.8.2. Variables affectant le rendement en liège des arbres et la production des peuplements

La prédiction du rendement et de la production en liège, en fin du cycle de production, réalisée par les analyses linéaires multiple et mixte a mis en évidence les paramètres de croissance et de l'état de santé des arbres mais aussi physiques.

Dans le cas du rendement des arbres, le modèle développé a montré une prédilection pour la hauteur totale, le déficit foliaire et l'altitude. Par contre le deuxième modèle a montré une prédilection non seulement pour ces deux facteurs mais aussi pour l'altitude et la topographie du site. En effet, les arbres les plus rentables sont généralement vigoureux et de grandes tailles se développant en étage inférieur.

À l'échelle du peuplement, les résultats ont montré que la source de la variabilité de la production du liège réside essentiellement dans la qualité des sites indiquée par la croissance en hauteur dominante. En fait, en dépit de la faible densité enregistrée, la variabilité de production s'explique par une surdensité locale exercée sur les arbres. À l'intérieur des peuplements, la croissance d'un arbre est largement conditionnée par la proximité et la dimension de ses voisins, et donc par l'espace vital disponible (Gaudin, 1997a). Dans le cas de la subéraie naturelle de Theniet-El-Had non soumise aux traitements sylvicoles adéquats, la compétition locale entre les arbres est accrue, engendrant des différences de croissance.

Ce résultat est en contradiction avec ceux signalés par plusieurs auteurs indiquant une absence de relation entre la hauteur dominante et la croissance du liège. La gestion et la conduite sylvicole des subéraies Portugaises et Espagnoles, permettant un bon dosage de la densité, est probablement à l'origine de l'absence de cet effet. En fait, la hauteur dominante est désignée comme étant un excellent indicateur qui a prouvé son efficacité dans la prédiction de la croissance des arbres et de leur rendement en bois (Montero et al., 2001). Par contre, il reste peu efficace dans la prédiction de la production forestière non ligneuse comme le liège (Sánchez-González et al., 2007b). Dans les forêts de chêne liège, ce paramètre est utilisé pour définir des indices de croissance des peuplements lorsque l'âge de référence choisi est connu (Richard, 1988, Sánchez-González et al., 2005 ; 2010). Mais l'âge n'est pas souvent un déterminant principal de la croissance des arbres surtout dans les peuplements irréguliers (Tomé et al., 2006) comme les notre.

Conclusion générale

Conclusion générale

La présente étude est menée dans la subéraie montagnaise localisée au sein du Parc National de Theniet-El-Had. Cette zone jouit d'un bioclimat de type subhumide à hivers froid. Au total 973 tiges de différentes essences sont inventoriées à travers 77 unités d'échantillonnage dont 833 tiges sont représentées par du chêne lièges (*Quercus suber*).

Les peuplements de cette essence présentent des grandeurs moyennes (grosueur et hauteur) très variable reflétant une structure globale jardinée, organisée par bouquets à la fois irrégulières et régulières dominées par deux ou trois catégories de bois.

Cette subéraie présente un état sanitaire global satisfaisant résultant de l'absence des feux récurrents, l'absence des mauvaises récoltes du liège et de production excessive. Mais les terrains accidentés, la faible profondeur du sol et la mauvaise alimentation en eau sont des facteurs ayant affecté défavorablement l'état sanitaire des arbres. Les rares peuplements en état de dépérissement sont plus sensibles aux variations climatiques que ceux sains. De plus, les arbres les plus vigoureux sont ceux ayant des dimensions plus importantes (grosueur et hauteur) pouvant donc surmonter la concurrence pour les ressources. Ils sont les mieux placés en peuplements (statut social favorable dominant ou co-dominant).

Le liège de Theniet-El-Had présente un poids moyen par unité de surface de 6.58 kg/m², et un poids volumique moyen de 230.35 kg/m³ pour une humidité moyenne de 6.49%. Le poids du liège par unité de surface varie positivement en relation avec son épaisseur. En fait, un liège flotte présente un poids faible de 5.6 kg/m², alors que celui épais présente une valeur moyenne plus élevée de 8.9 kg/m². Inversement, le poids volumique du liège décroît en rapport avec l'épaisseur. Il est de 247 kg/m³ pour les échantillons flottes et de 187 kg/m³ seulement pour ceux épais.

A partir de 95 échantillons extraits des 53 placettes d'étude destinées à la caractérisation du rendement et la production du liège, les résultats montrent que sur la base de 11 premiers accroissements complets, les accroissements moyens annuels sont lents de l'ordre de 2.38mm. Ces cernes varient de 0.94 mm à 3.62 mm/an avec un coefficient de variation relativement faible de l'ordre 22%.

La production du liège sur pied varie fortement d'un arbre à l'autre. Mais un arbre moyen peut produire 10.46 kg de liège sur pied sur une période de 12 ans. La productivité des peuplements est par contre très variable ($CV = 65.30\%$). Elle varie de 27.96 à 586.13 kg/an/ha soit une valeur moyenne de 240.12 kg/an/ha.

Les modèles développés nous ont permis d'acquérir les premières connaissances sur le mode de production du liège d'une subéraie naturelle non gérée ou longtemps livrée à elle-même. Les résultats montrent que la croissance en épaisseur du liège dépend surtout de l'aptitude génétique individuelle des arbres. Les meilleurs accroissements sont enregistrés chez les jeunes individus, vigoureux, poussant dans les stations fraîches. Par ailleurs, la hauteur totale contribue à la variabilité du rendement des arbres. Ce dernier est aussi affecté, mais dans un degré moindre, par l'état de santé. De plus, à l'échelle des peuplements, la production de liège se montre fortement liée à la hauteur dominante. Cette dernière, incluse dans le modèle avec d'autres facteurs, nous a permis de regrouper les sites d'étude en deux grands groupes de qualité à partir des facteurs qui ont une influence sur la production. Beaucoup d'autres qualités de site intermédiaires peuvent être dégagées, ce qui signifie que le terrain est très hétérogène et que les peuplements étudiés présentent une grande variabilité. Ces modèles devraient être améliorés dans le futur afin de mettre en évidence d'autres sources de variabilité encore non identifiées (au niveau du microsite, de l'arbre ou de la placette) de la production du liège. Ces modèles nous aident à proposer un plan de gestion durable et équilibré de la forêt basé sur la qualité des sites (bonne ou mauvaise production).

Au terme de cette étude, la préservation des subéraies contre les risques naturels est au cœur de l'aménagement à réaliser, ayant un double objectif (i) protection et maintien de la stabilité de l'écosystème, (ii) production équitable et durable en liège. Pour cela plusieurs actions peuvent être entreprises :

1. Cartographie, délimitation et découpage de la subéraie en séries de production, protection et même de recherche. Cette opération est soutenue par une bonne connaissance de la structure des peuplements (typologie), rendant la gestion aisée aux forestiers
2. Dans les séries de protection, le maintien des subéraies nécessite une amélioration de la régénération, par création de trouées et débroussailllements du sous-bois. A cela s'ajoute un dégagement des rejets d'avenir, complétés par les réensemencements naturels ou même artificiel, mise en valeur des sujets ayant atteint le diamètre d'exploitabilité et lutte contre le pâturage. La simple exploitation des subéraies n'est qu'une solution précaire et incomplète. A cela s'ajoute, des mesures de protection contre les risques d'incendies par

débroussaillage, multiplication des postes vigies et intervention rapide en cas de déclenchements de foyers de feux. De plus la mise en défens permet une conservation des régénérations et de la diversité floristique, partie intégrante de l'équilibre de l'écosystème. En parallèle, il faut bien veiller à améliorer les techniques d'élevage des plants au sein de la pépinière du parc, et ce à partir de glands autochtones.

3. Dans le cas des séries de production, pour une rotation de 12 ans (levée de liège), une attention particulière est tirée aux sujets producteurs de liège : élagage de forme pour les jeunes sujets, éclaircies raisonnées permettant un bon dosage de la densité, offrant une meilleure croissance diamétrale et en hauteur. Cela augmentera le rendement, en liège, par arbre et par peuplement. Dans le cas des peuplements mixtes, le dosage doit être fait au profit des sujets de chêne liège, soit au moins 50% des mélanges pour ne pas entraver l'équilibre écologique.

Dans le cas d'arbres d'avenir, l'application de coupes d'amélioration permettra une amélioration de forme et un suivi sanitaire judicieux.

Deux ou trois interventions par série semblent être suffisant (un passage tous les quatre ans). Une connaissance du rythme de croissance des arbres (accroissement), au sein de cette subéraie, est nécessaire pour pouvoir déterminer soigneusement le nombre d'interventions. L'intégration de la population locale dans l'aménagement de ces subéraies est une nécessité majeure (offre d'emploi saisonnier, lutte contre exploitation illicite et protection).

La levée de liège est une opération délicate, qui doit être appliquée soigneusement pour ne pas entraver la pérennité et la vigueur des arbres producteurs.

4. Les séries de recherches doivent être consacrées à l'amélioration des connaissances relatives au chêne liège (croissance, régénération, plantation, état sanitaire...)

Dans le Parc national de Theniet-El-Had, le chêne liège présente une bonne adaptation au milieu de haute montagne. Il produit un liège à croissance lente, plus homogène, et d'une qualité très recherchée par l'industrie des bouchons. Nous estimons, à travers cette étude, avoir pu illuminer quelques aspects de cette subéraie montagnaise qui a fait l'objet de rares travaux de recherche. Une recherche plus approfondie et pluridisciplinaire permettra une meilleure vision et gestion future, durable plus adéquate et mieux adaptée.

Références bibliographiques

- * **Abbas M, 2013.** Impact économique des feux de forêts sur les suberaies algérienne. Journées d'Etude sur La Réhabilitation des Subéraies Incendrées et Reboisements. Tlemcen.
- * **AdC. 2012.** Analyse du secteur et de la filière liège au Portugal. Rapport de l'Autorité de la Concurrence sur le secteur du liège, 114p (en Portugais)
- * **Adjami Y., Daas H., Ghanem R., Ouakid ML et Pujade-Villar J. 2013.** Effets des attaques d'insectes sur les glands de chêne-liège : Impact sur le pouvoir germinatif. *Geo-Eco-Trop*, n°37, pp : 201-210.
- * **Almeida H., Patricio S., Gaspar J., Varela C., Rodrigues A., Correia A., Monteiro L. 2011.** L'origine du matériel de reproduction et des pratiques sylvicoles outils pour durabilité des subéraies. 2^{ème} rencontre méditerranéenne Chercheurs-Gestionnaire-Industriels sur la gestion des subéraies et la qualité du liège. Jijel le 20 et 21 Octobre.
- * **Amandier L., Normand S., Nouals D. 2003.** Etiologie des attaques de *Platypus cylindrus* dans les subéraies varoises. CRPF-PACA, 57p.
- * **Amandier L. 2011.** Les subéraies des Maures : passé, présent, avenir. CRPF-PACA, 37p
- * **Amandier L. 2013.** Après l'incendie : la subéraie. Journées d'étude sur la réhabilitation des subéraies incendiées et reboisements, Tlemcen 16-17 janvier 2013.
- * **Aouadi A., Khaznadar M., Aouadi H. 2010.** La relance du chêne liège dans le plan national de reboisement en Algérie : leçon tirée des résultats du terrain. *forêt méditerranéenne*, t XXXI, n°1, pp :45-54
- * **APCOR. 2015.** Anuário Estatístico. APCOR/CORK, 112p.
- * **APCOR. 2018.** Anuário Estatístico. APCOR/CORK, 59p.
- * **Arbouche F. 1995.** Contribution à l'étude d'un facteur limitant le fonctionnement de la phytocénose : cas du pâturage dans la cédraie du Belezma (Aurès). Thèse magister, INA, Alger, 132p.
- * **Aronson J., pereira JS., Pausas JG. 2012.** Cork Oak Woodlands on the Edge: Ecology, Adaptive Management, and Restoration. Island Press, USA, 352 p
- * **Asmani A., Saci M., Said M. 2011.** Caractérisation de la typologie structural et indice de compétition entre stations de la forêt de Mizrana (wilaya de Tizi Ouzou- Algérie). 2^{ème} rencontre méditerranéenne Chercheurs-Gestionnaire-Industriels sur la gestion des subéraies et la qualité du liège. Jijel le 20 et 21 Octobre.
- * **Baix PH., Dethloux M., Rondeux J. 2002.** Pour une production ligneuse de qualité : impératifs écologiques et sylvicoles. Les cahiers forestiers de Gembloux, n°02, 21p
- * **Bastien Y. 2001.** Futaie régulière. ENGREF, 27p

- * **Bates D., Mächler M., Bolker B., Walker S. 2015.** Fitting linear mixed-effects models using lme4. Journal Statistiques Software arXiv preprint arXiv:1406.5823.
- * **Beal G. 2007.** Typologie des peuplements résineux auvergnats. CRPF Auvergne, 74p
- * **Bedel F., Tomasini J. 2002.** Dynamique des peuplements feuillus irréguliers. ONF, CRPF, ENGREF, LIFE, France, 50p
- * **Bekdouche F. 2010.** Evolution après feu de l'écosystème subéraie de Kabylie (Nord Algérien). Thèse Doctorat en Foresterie, Univ Mouloud Maameri, Tizi-Ouzou, 147p.
- * **Becker M. 1987.** Bilan de santé actuel et rétrospectif du Sapin (*Abies alba Mill.*) dans les Vosges. Etude écologique et dendrochronologiques. *Ann. Sci. for.*, 44 (4) : 379-402.
- * **Becker M., Goff N. 1988.** Diagnostic stationnel et potentiel de productions. R.F.F, XL, n°sp, pp : 29-43.
- * **Beira J., Prades C., Santiago R. 2014.** New tools to extract cork from *Quercus suber* L.: increasing productivity and reducing damage. *Forest Systems* 23(1): 22-35.
- * **Belhoucine L., et Bouhraoua R. T. 2012.** Evolution spatio-temporelle des attaques de *Platypus cylindrus* (Coleoptera, Platypodidae) dans un jeune peuplement de chêne-liège après démasclage : cas de la subéraie de M'Sila (Nord-Ouest Algérie). *Integrated Protection in Oak Forests, IOBC/wprs Bull.* 76, 201-204.
- * **Belottiere J. 1930.** Les productions Algériennes. Cahiers du centenaire de l'Algérie n° IX, comité national métropolitain du centenaire d'Algérie, 95p.
- * **Benzyane M. 1997.** Improvement strategy of forest tree species in Morocco: the case of cork oak. Report of third and fourth meetings *Quercus suber* network. European Forest Genetic Resources Programme. 98p.
- * **Bertrand MM. 2015.** Régression linéaire multiple. IRMA université de Strasbourg, 60 p
- * **Bethemont J. 2003.** Géographie de la méditerranée. Armand colin, Paris, 313p.
- * **Bonneval. 1930.** L'Algérie touristique, cahiers du centenaire de l'Algérie, n° VII. Publications du Comité National Métropolitain du Centenaire d'Algérie.
- * **Borges JG., Oliveira AC., Costa MA. 1997.** A quantitative approach to cork oak forest management. *Forest Ecology Management* (97): 223 – 229.
- * **Bouazza K. 2011.** Etude eco-pédologique du dépérissement de *cedrus atlantica* Manetti dans le parc National de Theniet-El-Had (W. Tiisemsilt). Magister, Univ-Sidi-Belabbes, 85p+annexes

- * **Bouazza K., Dellal A., Mehdadi Z., Zedek M., Kharitonov M. 2018.** Site variability and dieback of Atlas cedar in the Cedar Forest of Theniet El Had (west of Algeria). *Agriculture and Forestry*, 64 (3): 89-99.
- * **Bouazza K. 2019.** La biodiversité végétale et le dépérissement du Cèdre de l'Atlas dans le Parc National de Theniet-El-Had. DOC, Univ-Sidi-Belabbes, 173p
- * **Boucharlat A. 1997.** Savoie. La fontaine de Silœ, 319p
- * **Boudon F., Moguédec G. 2007.** Déformation asymétrique de houppiers pour la génération de représentations paysagères
Revue Electronique d'Informatique Graphique (REFIG), volume 1, n1, pp : 9-19
- * **Boudru M. 1989.** Forêt et sylviculture : traitement des forêts. Les presses agronomiques du Gembloux, gembloux (Belgique), 356p
- * **Boudy P. 1950.** Economie forestière nord- africaine. Tome 02. Monographies et traitements des essences forestières. Fasc 02. Larose, Paris, 878p.
- * **Boudy P. 1952.** Guide du forestier en Afrique du nord. Ed. La maison rustique, Paris, 505p.
- * **Boudy P. 1955.** Economie forestière nord- africaine. Tome 04 : description forestière de l'Algérie et de la Tunisie. Ed. La maison rustique, Paris, 478p.
- * **Bouhraoua RT., Villemant C., Khelil MA et Bouchaour S. 2002.** Situation sanitaire de quelques subéraies de l'ouest algérien ». *Integrated Protection in Oak Forests, IOBC/wprs Bull.* 25 (5), 85 – 92.
- * **Bouhraoua RT. 2003.** Situation sanitaire de quelques forêts de chêne liège de l'Ouest algérien : étude particulière des problèmes posés par les insectes. Thèse.Doc.Ing. Univ.Abou-Bakr-Belkaid, Tlemcen, 290p
- * **Bouhraoua R.T., Villemant C. 2005.** Mécanismes généraux de l'altération sanitaire des peuplements du chêne-liège de l'Algérie nord occidental., *Integrated Protection in Oak Forests. IOBC/wprs Bull.* 28 (8) : 1-8.
- * **Bouhraoua RT., Bouzaoui A., Dehane B., Belhoucine L., Gheffar. 2014.** Effet de la récurrence des feux sur la dégradation paysagère, l'altération sanitaire et la réduction de la production du liège de la subéraie du massif forestier de Haffir-Zarieffet (Tlemcen, Algérie). *Integrated Protection in Oak Forests IOBC-WPRS Bulletin* Vol. 10. pp : 15-23
- * **Bouhraoua RT., Roula S., Catry F. 2019.** Facteurs de vulnérabilité des subéraies algériennes aux incendies de forêts dans le contexte du changement climatique. *forêt méditerranéenne t.XL*, n°4, pp :391-400
- * **Bourorga A. 2016.** Etude de la phytodiversité dans quelques sites choisis dans les Monts de l'Ouarsenis. Magister en Biodiversité et gestion intégrée des écosystèmes, Univ Abou-Bakr-Belkaid, Tlemcen, 148 p.

- * **Bravo F., Álvarez JG., Del Rio. 2012.** Growth and yield models in Spain: Historical overview, contemporary examples and perspectives. Instituto Universitario de investigación en Gestión Forestal sostenible (Universidad de Valladolid-inia) and Unidad de Gestión Forestal sostenible (Universidad de Santiago de Compostela), 72p
- * **Burrows GE., and Chisnall, LK. 2016.** Buds buried in bark: the reason why *Quercus suber* (cork oak) is an excellent post-fire epicormics reporter. *Trees*, **30**(1): 241–254.
- * **Calama R., Tomé M., Sánchez-González., Miina J., Spanos K., Palahi M. 2010.** Modelling non-wood forest products in Europe: a review. *Forest Systems* 19(SI), 69-85
- * **Calzado A. 2011.** Análisis de las distribuciones dimétricas y modelización geo-estadística de las variables relacionadas con la producción de corcho en los alcornoques del macizo del aljibe (Cádiz y Málaga). Tesis doctoral., Universidad de Huelva, España, 155p
- * **Cañellas I., Montero G. 2002.** The influence of cork oak pruning on the yield and growth of cork. *Annals of Forest Science*, Springer Verlag/EDP Sciences, 59 (7), pp.753-760.
- * **Caritat A., Molinas ML., Oliva M. 1991.** Structure and growth of six stands of cork oak in the Girona region (in Spanish). *Stud Oecol* 8: 159-170.
- * **Caritat A., Molinas M., Gutierrez E. 1996.** Annual cork ring width variability of *Quercus suber L* in relation to temperature and precipitation. *For.Ecol.Manag* (86):113-120
- * **Caritat A., Gutierrez E., Molinas M. 2000.** Influence of weather on cork-ring width. *Tree physiology*, 20, 893-900
- * **Carrero AJ. 2015.** Los aprovechamientos del monte en el Suroeste Peninsular: el corcho. Memoria presentada para la obtención del grado de doctor. Universidad Huelva, España, 329p.
- * **Castro L., Jiménez P., Diaz-Fernandez PM., Aranda Iglesias S., Gil L. 2003.** Review of the activities related to the Mediterranean Oaks conservation in Spain. Mediterranean Oaks Network, Report of the second meeting. International Plant Genetic Resources Institute, Italy, 60p
- * **Catry FX., Moreira F., Pausas JG., Fernandes P.M., Rego F., Cardillo E., and Curt T. 2012.** Cork oak vulnerability to fire: the role of bark harvesting, tree characteristics and abiotic factors. *PLoS One*, **7**(6): e39810.
- * **Chenel P. 1951.** Le liège en Algérie : importance et répartition. *Annales de Géographie*, 60^e Année, n° 321, pp : 296-299
- * **Chollet F., Kuus L. 1998.** La typologie des hêtraies pyrénéennes. *Revue forestière française*, 2 : 112-123.
- * **Chollet F., Desplanches PH., Kuus L., Meerleer P. 2000.** Technique et forêt : Typologie des sapinières pyrénéennes. *Revue forestière française* LII (4) : 325-338.

- * **Chorana A., Dehane B., Beltran RS. 2019.** Characterization of the cork growth and quality of cork oak woodlands, North-West Algeria. *International Journal of Environmental Studies*.1-16.
- * **Chouahda S. 2016.** Résiliences des écosystèmes forestiers du nord-est algérien après incendie : Cas des subéraies. Thèse de doctorat L.M.D. en écologie animale. Univ.Badji Mokhtar. Annaba, Algérie. 115p.
- * **Claissens H., Thibout A., Rondeux J. 2002.** Facteurs écologiques de production du frêne (*Fraxinus exelsior*. L) en Condroz et productivité des stations potentielles. Les cahiers forestiers de Gembloux n°11, 21p
- * **Corona P., Dettori S., Filigheddu MR., Maetzke F., Scotti, R. 2005.** Site quality evaluation by classification tree: an application to cork quality in Sardinia. *Eur J Forest Res* (124): 37-46.
- * **Colas G. 1956.** Guide de l'entomologiste. Boubées, Paris, 309 p
- * **Costa A., Oliveira A.C. 2001.**Variation in cork production of the cork oak between two consecutive cork harvests. *Forestry*, vol.74 (4): 337-346.
- * **Costa A., Pereira H., Olivera A. 2002.** Influence of climate on seasonality of radial growth of cork oak during a cork production cycle. *Ann.For.Sci* (59): 429-437
- * **Costa A., Pereira H., Oliveira A. 2003.** Variability of radial growth in cork oak mature trees under cork production, *For. Ecol. Manage.*
- * **Costa A., Pereira H., Oliveira A. 2004.** The effect of cork-stripping damage on diameter growth of *Quercus suber* L. Institute of Chartered Foresters, *Forestry*, Vol 77, n°1:01-08
- * **Costa A et Pereira H. 2010.** Influence of cutting direction of cork planks on the quality and porosity characteristics of natural cork stoppers. *Forest System*, 19, pp:51-60
- * **Costa A., Barbosa I., Roussado C., Garça J., spiecker H. 2016.** Climate response of cork growth in the Mediterranean oak (*Quercus suber* L.) woodlands of southwestern Portugal. *Dendrochronologia* 38 : 72–81
- * **Courtois M et Masson P.1999.** Relations entre la qualité du liège, sa composition minérale et la composition minérale des feuilles du chêne liège (*Quercus suber* L.). *Ann. For. Sci* (56) : 521-527.
- * **Cuevas JM. 1996.** Ecuaciones de cubicación para el alcornoque del este de Argelia. *Invest.Agr.Sist.Recur.For*.Vol 4(1):120-126.
- * **Curt T., Adra W., Borgniet L. 2009.** Fire-driven oak regeneration in French Mediterranean ecosystems. *Forest Ecology and management*, 258 (9): 2127-2135.

- * **CRPFC. 2015.** Etude sur la sensibilité du chêne liège au changement climatique. CRPF de Corse. 100p
- * **Dagnelie P., Palm R., Rondeux J., Thill A. 1988.** Tables de cubage des arbres et des peuplements forestiers. Les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, 148p
- * **Dahmani M. 1997.** Le chêne vert en Algérie, syntaxonomie, phytoécologie et dynamique des peuplements. Thèse de Doctorat. USTHB, 384 p
- * **Dajoz R. 1978.** Précis d'écologie. Bordas, Paris, 549p
- * **Decourt N. 1973.** Protocole d'installation et de mesure des placettes de production semi permanentes. INRA, France, 25p
- * **Dehane B. 2012.** Incidence de l'état sanitaire des arbres du chêne liège sur les accroissements annuels et la qualité du liège de deux subéraies Oranaises : M'sila (W. Oran) et Zariéffet (W. Tlemcen). Thèse.Doc, Univ-Tlemcen, 293p
- * **Dehane B., et Bouhraoua RT. 2010.** Influence du dépérissement sur les accroissements annuels du liège de quelques subéraies du nord-ouest algérien. *Integrated Protection in Oak Forests*, IOBC/wprs Bull. 57, 41-44.
- * **Dehane B., Bouhraoua R.T., Gonzalez-Adrados J.R. et Belhoucine L. 2011.** Caractérisation de la qualité du liège selon l'état sanitaire des arbres par la méthode d'analyse d'image Cas des forêts de M'Sila et de Zariéffet (Nord-Ouest de l'Algérie). *forêt méditerranéenne* t. XXXII, n° 1, 39-50.
- * **Dehane B., Bouhraoua RT., Belhoucine L., Hamani FZ. 2013a.** la filière liège algérienne, entre passé et présent. *forêt méditerranéenne*, t XXXIV, n°2, pp : 143-152
- * **Dehane B., Bouhraoua RT., Garcia de Ceca JL., Gonzalez-Adrados JR., 2013b.** Effect of the health status on the cork production characteristics of Western Algeria cork oak stands. *Forest Systems*. 22(1): 138-146.
- * **Dehane B., Bouhraoua RT., Belhoucine L. 2014.** Relation entre indice de santé et indice d'accroissement du liège: cas de deux subéraies oranaises (Algérie): M'Sila (W. Oran) et Zariéffet (W. Tlemcen). *Integrated Protection in Oak Forests IOBC-WPRS Bulletin Vol. 101, 2014 pp. 59-67*
- * **Dehane B., Madrigal J., Hernando A., Bouhraoua RT. 2015.** New bench-scale protocols for characterizing bark flammability and fire resistance in trees: application to Algerian cork. *Journal of Fire Sciences*, 1-16
- * **Dehane B et Ghefar M. 2017.** Etude de la variabilité de croissance du liège dans le Nord Algérien. *Geo-Eco-Trop*, 41, 1 : 39-54

- * **Deleuse C. 1996.** Pour une dendrométrie fonctionnelle : essai sur l'intégration de connaissance ecophysiologique dans les modèles de production lignreuse. Thèse doc. Univer. Claude Bernard, Lyon, 305p
- * **Demarteau M. 2006.** Réponse de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs. Thèse licence en géologie, univer liège, faculté des sciences, Belgique, 60p
- * **Deportes E. 2004.** Utilisation d'une typologie de peuplements en subéraies brulées. VIVEEXPO, 6p. Office national des forêts, Agence des Pyrénées Orientales. 51p
- * **Demangeat P. 2007.** Projet d'élaboration d'un manuel de gestion des Pineraies à crochets. ONF, ANGREF, 102p
- * **DGF. 2007.** Politique forestière nationale et stratégie d'aménagement et de développement durable des ressources forestières et alfatières. DGF, Alger, 37p
- * **DGF. 2016.** Statistiques sur la Production annuelles du liège en Algérie, Direction Générale des Forêts, Alger. pp. 5.
- * **DGRF. 2005.** Code international des pratiques subéricoles. Project subernova, 12p.
- * **DNARPA. 1995.** Réseau National de surveillance de l'état de santé des forêts au Canada : Guide d'établissement et de surveillance des parcelles (version revue). Institut forestier National de Petawawa, Ontario (Canada), 99p.
- * **Duplat, P., G. Perrotte, and O. N. des F. France, 1981, Inventaire et estimation de l'accroissement des peuplements forestiers: Office national des forêts.**
- * **Durand P., Gelpe J., Lemoine B., Riom J., Timbal J. 1983.** Le dépérissement du chêne pédonculé dans les Pyrénées-Atlantiques. Revue Forestière Française, numéro xxxv 5, pp : 357 – 368.
- * **D.S.F., 1991.** Réseaux de surveillance de l'état sanitaire des forêts (réseau CEE et réseau Bleu) : Protocole pour les observations. D.E.R.F, Min. Agri. For., 27 p.
- * **Eriksson G., Varela MC., Lumaret R., Gil L. 2017.** Genetic conservation and management of *Quercus suber*. Technical bulletin. European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN), Biodiversity International., Rome, Italy, 43 p.
- * **Espirito MF. 2014.** Utilização de imagens de alta resolução de Detecção Remota na gestão do montado de sobro. Universidade de Lisboa, Grau de Mestre em Engenharia Agronómica, 119p
- * **Esteves AC., Fernandes I., Devreese B., Alves A., Correia A. 2016.** Diplodia corticola como agente causal do declínio do Montado em Portugal. In: El alcornocal y el negocio corchero: Una perspectiva histórica e interdisciplinar / O Montado de sobro e o setor corticeiro: uma perspetiva histórica e transdisciplinar. Diputación de Badajoz 362p
- * **EUFORGEN. 2009.** Distribution map of cork oak (*Quercus suber*). www.euforgen.org

- * **Evora et Merida. 2005.** Code international des pratiques subéricoles. Projet SUBERNOVA, 12p.
- * **Faias S., Paulo., Tomé M. 2019.** Inter-tree competition analysis in undebarked cork oak plantations as a support tool for management in Portugal. *New Forests*, 20p.
- * **FAO. 2013.** Etat des forêts méditerranéennes. FAO, 205p.
- * **Faussillon E. 1984.** Sauver le liège du Var. forêt méditerranéenne, t.VI, n°1, pp : 43-46
- * **Ferreira MC., Oliveira AMC. 1991.** Modelling cork oak production in Portugal. *Agroforestry Systems* 16: 41 – 54.
- * **Ferreira A., Lopes F., Pereira H. 2000.**Caractérisation de la croissance et de la qualité du liège dans une région de production. *Annals of Forest Science*, Springer Verglas/EDP Sciences, **57**(2) :187-193.
- * **Ficher E., Bernard A. 1902.** Les régions naturelles de l'Algérie. *Annales de géographie*, v11, n58, France : 339-365
- * **Fonseca T., Parresol BR. 2001.** A new model for cork weight estimation in Northern Portugal with methodology for construction of confidence intervals. *For Ecol Manage* 152, 131-139
- * **FOSA. 2000.** L'étude prospective du secteur forestier en Afrique : Algérie. FOSA, 60p
- * **Foucart T. 2006.** Colinéarité et régression linéaire. *Math. et Sci. hum. ~ Mathematics and Social Sciences* (44e année, n° 173, (1), p. 5-25
- * **Frédéric A. 2003.** L'étagement de la végétation en montagne : un modèle à revisiter. In: *L'information géographique*, volume 67, n°1 : 45-59
- * **Fritts HC. 1976.** Tree rings and climate. Academic press, London, 545p.
- * **Galiano L., Martínez-Vilalta J., Sabaté S., Lloret F. 2012.** Determinants of drought effects on crown condition and their relationship with depletion of carbon reserves in a Mediterranean holm oak forest. *Tree Physiol* 32:478–489.
- * **Gassin F. 1988.** Liège: vers des produits nouveaux. *forêt méditerranéenne*, t. X, n°1, pp : 177-178
- * **Gaudart J., Giorgi R., Thalabard JC., Thiam D., Whegang S. 2010a.** Initiation R (séance 02) : Quelques éléments d'analyse descriptive. Atelier précongrès ADEL-EPITER, faculté de Médecine, Marseille, 10p

- * **Gaudart J., Giorgi R., Thalabard JC., Thiam D., Whegang S. 2010b.** Initiation R (séance 03) : Modèles linéaires à effet mixte. Atelier précongrès ADELFF-EPITER, faculté de Médecine, Marseille, 11p
- * **Gaudin S. 1996.** Dendrométrie des peuplements. BTSA gestion forestière, Besançon, 64p
- * **Gaudin S. 1997a.** Quelques éléments d'écologie utiles au forestier. BTSA gestion forestière, Module D41, 88p
- * **Gaudin S. 1997b.** L'approche typologique et son utilité en foresterie. BTSA gestion forestière, Module D42, 20p
- * **Gaudin S. 2015.** La typologie des peuplements : un outil pour mieux connaître l'état des chênaies à l'échelle régionale. Forêt.Nature, n°35 : 32-39.
- * **Gaudin S., Jenner X. 2001.** Thème4 : Modélisation et cartographie des peuplements et des paysages : Typologie des feuillus et IFN. Rev. For. Fr. L III 3-4 : 459- 467.
- * **Gaudin S., Theisen P. 2005.** Mieux connaître sa forêt grâce à la typologie des peuplements. CRPF, 24p.
- * **Garrec JP., Laitat E., Richardin I., Rose C. 1991.** Dépérissement forestier et perturbations minérales aux niveaux histologiques et cellulaire dans les aiguilles de *Picea abies* L. étude par microanalyse X. Ann. Rech. For, n°48, pp: 321-332.
- * **Garriga JM. 2008.** Propuesta de modelo silvícola para alcornocales privados (*Quercus suber*). In: Modelos silvícolas en montes privados mediterráneos, colección_ Documentos trabajos, serie_ territorio 5, Diputació Barcelona xarxa municipis: 25-42.
- * **Ghalem A. 2006.** Etude typologique, stratégie de réhabilitation et réaction du milieu après incendie : cas des subéraies de Tlemcen. Mémoire Ing., Univ. Tlemcen. 94 p
- * **Ghalem A., Barbosa I., Bouhraoua TR., Costa A. 2016.** Comparing cork quality from Hafir-Zarieffet mountain forest (Tlemcen, Algeria) vs. Tagus basin Montado (Benavente, Portugal). Cogent Biology, 2:1236431.
- * **Ghalem A. 2017.** Caractérisation qualitative et technologique du liège de reproduction de quelques subéraies d'Algérie. Thèse Doctorat en foresterie, Univ Abou Bekr Belkaid, Tlemcen. 180p
- * **Ghalem A., Barbosa I., Bouhraoua TR., Costa A. 2018.** Climate signal in cork-ring chronologies: case studies in Southwestern Portugal and Northwestern Algeria. Tree-Ring research, Vol. 74(1), pp:15-27.
- * **Ghefar M et Dehane B. 2018.** Etude des paramètres réglant la production du liège dans la subéraie de M'Sila (Oran, Algérie). *Agric. For. J.*, 2(1): 48-58.

- * **Guarchi S et Sghair T. 2002.** Effet de l'intensité de démasclage sur la formation du liège. *Ann.Rech.For.Maroc.* T35, pp: 85-95.
- * **González-Adrados JR., Montero G., Muela C. 1993.** Caracterización productiva de los alcornocales Catalanes. *Investig. Agrar., Sist. Recur. For.* Vol 2(1): 55-69
- * **González-Adrados JR., González-Hernandez R., Calvo-Haro R. 2000.** La predicción del calibre de corcho al final del turno y su aplicación al muestreo de la producción. *Investig. Agrar., Sist. Recur. For.* 9 : 363-373.
- * **Gil L. 1995.** Present state of *Quercus suber* in Spain: proposals for the conservation of marginal populations. Report of the first two meetings. European Forest Genetic Resources Programme, Italy, 46p.
- * **Gil L., Jiménez MP., Diaz-Fernandez. 1997.** Characterization of marginal populations of *Quercus suber* in Spain. Repport of the third and fourth meetings: *Quercus suber* meetings. European Forest Genetic resources Programme, 98p.
- * **Gounot M. 1969.** Méthode d'étude quantitative de la végétation. Masson, Paris, 314p.
- * **Guerreiro M. 1951.** Previsão de peso de cortiça explorável de um montado. Publicações da DGSFA, Vol.XVIII, Tomo I, Lisboa
- * **Guibourt N. 2014.** Histoire naturelle des drogues simples. Cambridge University press, 568 p.
- * **Guillaume C. 2006.** Elaboration d'une typologie forestière adaptée à la forêt boréale irrégulière. MSc, faculté de foresterie et de géomatique, Univ. Laval., Québec, 80p
- * **Halpin CR et Lorimer CG. 2017.** A demographic approach to evaluating tree population sustainability. *Forests*, 8, 46.
- * **Hammache B., Dadou C., Bala B. 1994.** Instruments forestiers : description et utilité. CFAPF, Alger, 49p
- * **Houston Durrant T., De Rigo D., Caudullo G. 2016.** *Quercus suber* in Europe: Distribution, habitat, usage and threats. In: European Atlas of Forest Tree Species. Publ.Off.EU, Luxembourg. pp : 164-165p
- * **Imdadullah M., Aslam M., Altaf S. 2016.** mctest An R Package for Detection of Collinearity among Regressors. *The R Journal.*, 8 (2):495-505
- * **IML. 2005a.** Les premières années du chêne liège, synthèse des résultats des 6 à 8 premières années de vie de 7 placettes de chêne liège dans les Pyrénées-Orientales. IML et Centre régional de la propriété forestière du Languedoc-roussillon. 108p
- * **IML. 2005b.** la levée du liège. Ce qu'il faut savoir sur l'exploitation du chêne liège. Guide technique et de vulgarisation. IML, Vivés, 23p.

- * **IML. 2006.** Plan stratégique liège pour les Pyrénées-Orientales. IML, Vivès, 76p
- * **IML. 2013.** Note sur la filière liège française. IML, 4p
- * **INRF. 2012.** L'état des ressources génétiques forestières Mondiales : Rapport National Algérie. Rapport préparé pour contribuer à la publication FAO : L'état des ressources génétiques forestières Mondiales. 62p
- * **Kellati N., El-Bouardi A., Ajzoul A., Ezbakhe H. 2007.** Etude de propriétés thermo-physiques et acoustiques du liège compacte et granulé. Revue des énergies renouvelables CER ' (7), Oujda, pp : 241-244.
- * **Kenstavicius J., Markevicius A., Kairiukstis L. 2005.** Les forêts et les produits forestiers. United nations publications, Genève, 221p.
- * **Lamey A. 1893.** Le chêne-liège sa culture et son exploitation. Nancy, Paris, 289p
- * **Landmann G. 1994.** Concepts, définitions et caractéristiques générales des dépérissements forestiers. Revue forestière française, XLVI, numéro spécial « dépérissements d'arbres forestiers : causes connues et inconnues, pp : 405-415.
- * **Landsac AR., Zaballos JP., Martin A. 1994.** Seasonal water potential changes and proline accumulation in Mediterranean shrubland species. Vegetatio, 113: 141-154
- * **Larouche S. 2014.** Typologie structurale des peuplements mélangés en forêt boréale de l'Ouest du Québec. Mémoire de maîtrise en Biologie, Univ du Québec du Montréal : 122p.
- * **Latrous A. 2017.** Etude de la végétation accompagnatrice du chêne liège comme indicateur de croissance et de la qualité de liège dans la subéraie du Parc National de Theniet-El-Had. Master en foresterie, Univ Abou Bekr Blekaid, Tlemcen, 60p + annexes.
- * **Lawson G., Burgess P., Herzog F., Mantzanas K., Mayus M., Maureno G., Paris P., Schuman F., Sibbald A. 2005.** L'agroforesterie dans les pays Européens. Farm woodland forum, Paris, 26p.
- * **Leal S., Nunes E., Pereira H. 2008.** Cork oak (*Quercus suber* L.) wood growth and vessel characteristics variations in relation to climate and cork harvesting. Eur J Forest Res 127:33–41
- * **Leclerc D. 2001.** Typologie de la structure des peuplements- outils adaptés à la multifonctionnalité et à la dynamique : cas des peuplements irréguliers en forêt de montagne. Schweiz. Z. Forstwes. 152 (4) : 117–122
- * **Lecomte H., Rondeux J. 2002.** Les inventaires forestiers nationaux en Europe – tentative de synthèse. Les cahiers forestiers de Gembloux, n°05, 29p

- * **Letreuch-Belarouci A., Letreuch-Belarouci N., Benabdeli K., Medjahdi B. 2009.** Impact des incendies sur la structure des peuplements de chêne liège et sur le liège : le cas de la subéraie de Tlemcen (Algérie). *forêt méditerranéenne* t xxx n°3, pp :231-238
- * **Letreuch-Belarouci A. 2010.** Caractérisation structurale des subéraies du Parc National de Tlemcen, régénération naturelle et gestion durable. Thèse-Doc, Univ Abou-Bekr-Belkaid, Tlemcen, 212p.
- * **Letreuch-Belarouci A., Medjahdi B., Souidi Z. 2013.** La typologie des peuplements forestiers un outil de gestion durable et multifonctionnelle (nord-ouest Algérien). *Annales de l'INRGREF*, (no spécial : 18) p. 77-92, 1737-0515.
- * **Letreuch-Belarouci A., Medjahdi B., Letreuch-Belarouci N. 2019.** Vulnerability of cork oak forests to climate change, Algeria. In: *Environment and Ecology in the Mediterranean Region II*, Publisher: Cambridge Scholars Publishing, pp.235-253
- * **Liagre F. 2006.** Les haies rurales : rôles, création, entretien. France Agricole Editions, 319p
- * **Lobo A., Tomé JL., Navarro F., Sánchez T., Cantón Y., Olivar J. 2017.** Estimación de la producción de corcho a partir de datos LIDAR. 7º Congreso Forestal Nacional., At Plasencia, Cáceres, Extremadura, Volume: 7CFE01-093: 12p
- * **Lombardero B., Montero G. 1980.** Estudio comparativo de la producción de corcho con turnos de descorche de 9 y 10 años. *INIA n°4* : 166 – 171.
- * **Lombardini F., Amandier L., Cabannes B., Deportes E. 2005.** La typologie des subéraies Varoises : un outil pour la rénovation forestière raisonnée. CRPF et ONF, France, 15p
- * **Louvet J et Tambolini F. 2001.** Guide de subériculture des Pyrénées-Orientales. IML et BRL, 37p
- * **Marques de Sá JP. 2007.** Applied Statistics Using SPSS, STATISTICA, MATLAB and R. Springer, 505p
- * **Massenet JY. 2005.** Cours de dendrométrie. Lycée forestier, Mesnières, 38p
- * **Massenet JY. 2009.** Chapitre I : Grosseur des arbres. Lycée forestier, Mesnières, 13p.
- * **Massenet JY. 2010.** Chapitre III : Forme et âge d'un arbre, épaisseur de l'écorce. Lycée forestier, Mesnières, 13p.
- * **Massenet JY. 2011.** Chapitre II : Hauteur des arbres. Lycée forestier, Mesnières, 20p.
- * **Masson G. 2005a.** Autécologie des essences forestières. Comment installer chaque essence à sa place. Autécologie '1'. Ed. TEC et DOC. France, 306 p.
- * **Masson G. 2005b.** Autécologie des essences forestières. Comment installer chaque essence à sa place. Autécologie '2'. Ed. TEC et DOC. France, 345 p.

- * **Matias L., Abdelaziz M., Godoy O, Gomez-Aparicio L. 2019.** Disentangling the climatic and biotic factors driving changes in the dynamics of *Quercus suber* populations across the species' latitudinal range. *Diversity and distributions*, 25, pp: 524-535.
- * **Mauriès P et Seigue A. 1980.** Peut-on relancer la production du liège en France. *forêt méditerranéenne*, t II, n°2, pp : 177-181
- * **Mcelhaw.2001.** Inventaire terrain du potentiel acéricole des forêts privées de MRC de Mékinac. CLD, Mékinac, 26p
- * **Meddour-Sahar O., Derridj A. 2012.** Bilan des feux de forêts en Algérie : Analyse spacio-temporelle et cartographie des risques. *Sécheresse*, 23 (2) : 133-141
- * **Mendes MP., Ribeiro L., David TS., Costa A. 2016.** How dependent are cork oak (*Quercus suber* L.) woodlands on groundwater? A case study in southwestern Portugal. *Forest Ecology and Management* 378: 122–130
- * **Meynier G. 1981.** L'Algérie révélée. Librairie Droz, 793p
- * **Michelot A., Guachet S., Legay M., Landmann. 2013.** L'autécologie des essences forestières et son intégration dans un outil d'aide à la décision synthèse et évaluation. Etude menée dans le cadre du projet TRAITAUT (traits fonctionnels et autécologie des essences forestières. ECOFOR, 44p.
- * **Moinuddin et Imas P.2007.** Evaluation of potassium compared to other osmolytes in relation to osmotic adjustment and drought tolerance of chickpea under water deficit environments. *J. Plant Nutrition* 30: 517-535.
- * **Montero G., Grau JM. 1989.** Producción de un alcornocal en Santa Coloma de Farners (Girona). *SCIENTIA gerundensis*, 15:131-139
- * **Montero G., Zulueta J., González-Adrados. 1989.** Alcornoques Españoles. Conocimientos de su silvicultura y temas de necesaria investigación. *Scientia gerundensis* 15: 63 - 84
- * **Montero G., San miguel A., Alia R. 1990.** Estructura y producción de los alcornoques (*Q. suber* L.) del sur de España. XIX, I.U.F.R.O. World Congress, Canada: 69-74.
- * **Montero G., Currás R. 1991.** La poda del alcornocal (*Quercus suber* L.). Cuantificación de sus productos, num. 18-19/90 HD. Ministerio de Agricultura, Servicio de Extensión Agraria.
- * **Montero G., Vallejo R. 1992.** Variación del calibre del corcho medido a distintas alturas. *Invest. agrar. Sist. recur. for.* Vol 1(2): 181-188.
- * **Montero G., Torres E., Suarez MA., Ortega C. 1993.** Influencia de la densidad de la masa en la calidad y producción de corcho en los alcornoques de Cortes de la Frontera (Malaga). Congreso Forestal Español – *Lourizán*. Ponencias y comunicaciones. Tomo II: 563 – 568.
- * **Montero G., Torres E., Cañellas I., Ortega C. 1996.** Modelos para la estimación de la producción de corcho en alcornoques. *Invest.Agr.: Sist.Recur.For.* Vol. 5(1).

- * **Montero G., Canellas I., et Ruis-Peinado R. 2001.** Growth and yield models for *Pinus halepensis* Mill., Invest. Agr. Sist. Recur. For. Vol. 10 (1): 179-201.
- * **Montero G., Canellas I. 2003.** Selvicultura de los alcornoques en España. *Silva Lusitana, EFN*, Lisboa, Portugal 11(1): 1 - 19
- * **Montero G., Lopez E. 2008.** Selvicultura de *Quercus suber* L. Compendio de Selvicultura Aplicada en España, 780 – 829
- * **Montero G., Pasalodos M., López-Senespleda E., Ruiz-Peinado R., Bravo-Oviedo A., Madrigal G., Onrubia R. 2015.** Modelos de selvicultura y producción de madera, frutos fijación de carbono de los sistemas forestales de Andalucía. En: *Economía y selviculturas de los montes de Andalucía* (Campos P., Díaz-Balteiro L., eds). Memorias científicas de RECAMAN. Volumen 1. Memoria 1.2. Editorial CSIC, Madrid.396p
- * **Montes F., Hernandez MJ., Canellas I. 2005.** A geostatistical approach to cork production sampling estimation in *Quercus suber* forests. *Can J For Res* 35, 2787-2796
- * **Montoya JM. 1987.** Aménagement sylvopastoral de la subéraie de la Mamora (Maroc). *forêt méditerranéenne*, t IX, n°1, pp : 35-40.
- * **Moreira F., Duarte I., Catry F., Acacio V. 2007.** Cork extraction as a key factor determining post-fire cork oak survival in a mountain region of southern Portugal. *Forest ecology and management*. 253: 30-37.
- * **Nadezhdina N., Ferreira MI., Silva R., Pacheco CA. 2008.** Seasonal variation of water uptake of a *Quercus suber* tree in Central Portugal. *Plant Soil* 305 : 105-119
- * **Nageleisen LM. 2002.** Suivi des écosystèmes forestiers et évaluation des contraintes environnementales. Les cahiers du DSF, 1.2002 (La santé des forêts. [France] en 2000-2001). Min.Agri.Alim.Pêche Aff.rur (DERF), Paris, pp : 70-84
- * **Naggar O. 2011.** Etude symptomatique du dépérissement du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le Parc National de Theniet-El-Had (W.Tissemsilt). Magister, Univ, Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 155p
- * **Naggar O., Bouhraoua TR. 2017.** Etude de la structure du chêne-liège du Parc National de Theniet El Had (Nord-Ouest d'Algérie) *Integrated Protection in Oak Forests IOBC-WPRS Bulletin*, 127, 219-223.ISBN : 978-92-9067-282-1
- * **Neggaz B. 2006.** Contribution à l'inventaire de l'entomofaune du chêne liège (*Quercus suber*) dans le Parc National de Theniet-El-Had. Univ-Ibn Khaldoun-Tiaret, 66p
- * **Natividade JV. 1956.** Subericulture. Nancy, Paris. 303p
- * **Navarro-Cerrillo RM., Sarmoum M., Gazolo A., Abdoun F., Camarero. 2019.** The decline of Algerian *Cedrus atlantica* forests is driven by a climate shift towards drier conditions. *Dendrochronologia* 55 : 60–70

- * **Oliveira G., Correia O., Martins-Loucao MA., Catarino FM. 1994.** Phenological and growth patterns of the Mediterranean oak *Quercus suber* L. *Trees* (9):41-46
- * **Oliveira G., Martins-Loução MA., Correia O. 2002.** The relative importance of cork harvesting and climate for stem radial growth of *Quercus suber* L. *Ann. For. Sci.*59, 439–443.
- * **Oliveira G., Costa A., 2012.** How resilient is *Quercus suber* L. to cork harvesting? A review and identification of knowledge gaps. *For. Ecol. Manage.* 270: 257–272
- * **ODARC. 2002.** Guide technique pour la gestion des forêts de chêne liège en Corse. ODARC, 48p
- * **ODARC. 2008.** Guide technique pour la gestion des forêts de chêne liège en Corse du Sud. ODARC, 40p
- * **Odile M. 2004.** Le défi du paysage : un projet pour l’agriculture. Editions Champ Vallon, 313p
- * **ONF. 2004.** Peuplements forestiers des plateaux clairs de Lorraine : Typologie et Sylviculture. ONF, 53p
- * **Ozenda P. 1982.** Les végétaux dans la biosphère. Doin éditeur, paris, 431p
- * **Palm R. 1977.** Dendrométrie. INA, Alger, 112p.
- * **Pardé J et Bouchon. 1988.** dendrométrie. ENGREF, Nancy, 328p
- * **Pasalodos M., Alberdi I., Cañellas I., Sánchez-González M. 2018a.** Towards assessment of cork production through National Forest Inventories. *Forestry*, 91:110 – 120.
- * **Pasalodos M., Pukkala T., Cañellas I., Sánchez-González M. 2018b.** Optimizing the debarking and cutting schedule of cork oak stands. *Annals of Forest Science* (2018) 75:61
- * **Paulo JA., Tomé M. 2009.** An Individual Tree Growth Model for Juvenile Cork Oak Stands in Southern Portugal. *Silva Lusitana* 17(1): 27 - 38
- * **Paulo JA et Tomé M. 2010.** Predicting mature cork biomass with t years of growth from one measurement taken at any other age. *For Ecol Manage* 259, 1993-2005
- * **Paulo JA., Tomé J et Tomé M. 2011.** Non linear fixed and random generalized height–diameter models for Portuguese cork oak stands. *Annals of Forest Science* 68:295–309.
- * **Paulo JA et Tomé M. 2014.** Estimativa das produções de cortica virgem resultantes das operações de desbastes e desboia em montados de sobro em fase. *Silva Lusitana* 22 (1), *UEISSAFSV, INIAV, Oeiras, Portugal*:29-42.

- * **Paulo JA., Palma JH., Gomes A., Faias S., Tomé J., Tomé M. 2014.** Predicting site index from climate and soil variables for cork oak (*Quercus suber* L.) stands in Portugal. *New Forests*, 15p
- * **Paulo JA., Faias SP., Ventura-Giroux C., Tomé M. 2015.** Estimation of stand crown cover using a generalized crown diameter model: application for the analysis of Portuguese cork oak stands stocking evolution. *iForest* 9: 437-444.
- * **Paulo JA., Pereira H., Tomé M. 2016.** Analysis of variables influencing tree cork caliper in two consecutive cork extractions using cork growth index modeling. *Agroforest Syst.*
- * **Paulo JA., Tomé M. 2017.** Using the SUBER model for assessing the impact of cork debarking rotation on equivalent annual annuity in Portuguese stands. *Forest Systems* 26 (1):1-11.
- * **Pausas JG. 1997.** Resprouting of *Quercus suber* in NE Spain after fire. *J. Veg. Sci.* 8: 703–706.
- * **Pausas JG. 2015.** Bark thickness and fire regime. *Funct. Ecol.* 29: 317–327.
- * **Penteado M., Braga R., Aguiar P. 2015.** Silvicultura de Precisão: Avaliação da variabilidade espacial e utilização de imagens aéreas de alta resolução na gestão do montado de sobro. In: El alcornocal y el negocio corchero: Una perspectiva histórica e interdisciplinar / O Montado de sobro e o setor corticeiro: uma perspetiva histórica e transdisciplinar. Diputación de Badajoz 362p
- * **Pereira H., Graça J et Baptista C. 1992.** The effect of growth rate on the structure and compressive properties of cork. *IAWA Bulletin n.s., Vol 13(4):* 389-396.
- * **Pereira H., Melo B., Pinto R. 1994.** Yield and quality in the production of cork stoppers. *Holz als Roh-und Werkstoff* 52: 211 – 214.
- * **Pereira H., Lopes F., Graça J. 1996.** The evaluation of the quality of cork planks by image analysis. *Holzforschung*, 50: 111-115.
- * **Pereira H., 2007.** *Cork: Biology, Production and Uses.* Elsevier, Amsterdam, 346p
- * **Pereira H., 2011.** *Cork: Biology, Production and Uses.* Elsevier, Amsterdam, nouvelle édition, 346p
- * **Piazzetta R. 2005.** Etat des lieux de la filière liège française. Institut méditerranéen du liège, vivès, 11p.
- * **Piazzetta R. 2009.** Typologie des subéraies : les exemples des Pyrénées-Orientales et du Var. IML. Séminaire sur la gestion des subéraies et de la qualité du liège 19-20 Octobre 2009, Tlemcen. 20p

- * **Piazzetta R., Bouhraoua TR. 2014.** Les reboisements en chêne liège en Algérie, entre contraintes écologiques et exigences techniques. *forêt méditerranéenne*, t XXXV, n°2, pp :01 - 08
- * **Picard N., Saint-André L., Henry M. 2012.** Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles. Del trabajo de campo a la predicción. Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura y el Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Rome, Montpellier, 223 págs.
- * **Pinheiro JC., Bates DM. 2000.** Mixed-effects models in S and S-Plus. In: Stat. And Comput. Series. Springer, New York, 528 pp.
- * **Pinheiro J., Bates D., DebRoy S., Sarkar D., Team RC. 2016.** nlme: Linear and nonlinear mixed effects models (R package version 3.1-128).
- * **Pizzurro G., Maetzke F., La Mela Veca DS. 2010.** Differences of raw cork quality in productive cork oak woods in Sicily in relation to stand density. *Forest Ecology and Management* 260 (2010) 923–929
- * **P.N.T.E.H. 2006.** Atlas des parcs nationaux algériens. Alger : ED-DIWAN, 98p.
- * **P.N.T.E.H, 2007.** Plan de gestion 2002/2007. 115p.
- * **P.N.T.E.H, 2012.** Plan de gestion 2008/2012. 65p.
- * **P.N.T.E.H, 2013.** Evaluation des plans de gestion I-II-III. Elaboration du plan de gestion IV. 58p.
- * **P.N.T.E.H, 2014.** Plan de gestion 2010/2014. 64p.
- * **P.N.T.E.H, 2018.** Plan de gestion 2015/2019. 135p.
- * **Poulet D. 2006.** Current situation, state of knowledge and action to take. AIFM, 12p
- * **Puyo JY. 2010.** Les subéraies d’aquitaine : entre enjeux patrimoniaux et relance économique. *Sud-Ouest européen*, 30 : 53- 66
- * **Puyo JY. 2013.** Grandeurs et vicissitudes de l’aménagement des subéraies Algériennes durant la période coloniale Française (1830-1962). *forêt méditerranéenne* t XXX IV, n° 02, pp : 129-142.
- * **Prades C., Garcia-Olmo., Romero-Prieto T., Garcia de ceca JL., Lopez-Luque R. 2010.** Methodology for cork plank characterization (*Quercus suber* L.) by near-infrared spectroscopy and image analysis. *Meas.Sci.Technol.*21 – 065602 :11p
- * **Prevosto B. 1999.** Analyse fonctionnelle des boisements spontanés et modélisation de leur développement. Application aux peuplements de *Betula pendula* (ROTH) et *pinussylvestris* (L)

en montagne volcanique (la chaîne des pays, massif central). Thèse, doc, univ. de droit, d'économie et des sciences d'aix Marseille (aix-MarseilleIII), 201p

- * **Quezel P., Santa S. 1962.** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionale, Vol 1-2, CNRS, Paris, 1170p
- * **Quezel P. 2000.** Réflexion sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Ibis Press, Paris, 117p
- * **Rakotomalala R. 2015.** Pratique de la régression linéaire multiple : diagnostic et sélection des variables v2.1. Université Lumière, Lyon 2, 182p
- * **Rakotomalala R. 2017.** Pratique de la régression logistique : régression logistique binaire et polytome, V20. Université Lumière, Lyon 2, 274p
- * **Ramade F. 1981.** Ecologie des ressources naturelles. MASSON, Paris, 571p.
- * **Ramade F. 2003.** Elément d'écologie. Ecologie fondamentale. DUOD, paris, 690p
- * **Rameau JC. 1999.** Aménagement forestier, importance de l'écologie, prise en compte de la biodiversité. Revue Forestière Française, numéro spécial., pp : 87-101.
- * **Ribeiro F., Tomé M. 2002.** Cork weight prediction at tree level. For.Ecol.Manage.Vol 171(3):231-241.
- * **Ribeiro N., Surový P., Olivera A. 2006.** Modeling cork oak production in Portugal. In : Sustainable forest management, Growth models for Europe. Springer 285-313
- * **Ribeiro N., Surový P. 2011.** Growth Modeling in Complex Forest Systems: CORKFITS a Tree Spatial Growth Model for Cork Oak Woodlands. FORMATH Vol. 10: 263–278
- * **Richard P. 1988.** La croissance du chêne liège. *Forêt méditerranéenne*, t.X, n°1, juillet 1988, 169-171.
- * **Richter F. 2001.** L'inventaire forestier de la wilaya de Guidimakha : méthodologie et instruction de l'inventaire. GTZ/ECO.IRAM, Mauritanie, 18p
- * **Rondeux J. 1999.** La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Les presses agronomiques de Gembloux, Belgique, 251p
- * **Rondeux J. 2002a.** Inventaire forestier et biodiversité. Les cahiers forestiers de Gembloux n°28, 17p
- * **Rondeux J. 2002b.** Ressources naturelles et inventaires intégrés ; la logique possible. Les cahiers forestiers de Gembloux n°12, 16p

- * **Ruiz-Benito P., Lines ER., Gomez-Aparicio., Zaval MA., Coomes DA. 2013.** Patterns and drivers of tree mortality in Iberian forests: climatic effects are modified by competition. *Plos One*, 8, issu2, 10p
- * **Saccardy L., 1937.** Notes sur le chêne-liège et le liège en Algérie. *Bull.Stat.Rech.Forest. Nord Afr.*, T.II, fasc.3, septembre 1937, 271-374.
- * **Saccardy L. 1938.** Le chêne liège et le liège en Algérie (suite et fin). *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*, volume 18, n 204, pp : 574 – 593
- * **Salazar Sampaio J. 1988.** Production du liège : situation, évolution en France et dans le monde. La subéraie et la production mondiale de liège. forêt méditerranéenne, t X, n°01, pp :156-159.
- * **Sánchez-González M, Tomé M, Montero G., 2005.** Modelling height and diameter growth of dominant cork oak trees in Spain. *Ann. For. Sci.* 62 : 633–643.
- * **Sánchez-González M., Río M., Cañellas I., Montero G. 2006.** Distance independent tree diameter growth model for cork oak stands. *Forest Ecology and Management* 225 : 262–270
- * **Sánchez-González M., Calama R., Cañellas I., Montero G. 2007a.** Variables influencing cork thickness in Spanish cork oak forests: A modelling approach. *Ann. For. Sci.* 64: 301–312.
- * **Sánchez-González M., Sánchez Martínez M., Cañellas I. 2007b.** Modelo de predicción del calibre de bornizo mediante funciones de perfil del tronco. *Cuad Soc Esp Cienc For* 23, 239-243.
- * **Sánchez-González M., Canellas I., Montero G. 2008.** Base-age invariant cork growth model for Spanish cork oak forests. *Eur J For Res* 127: 173 – 182
- * **Sánchez-González M., Stiti B., Chaar H, Cañellas I. 2010.** Dynamic dominant height growth model for Spanish and Tunisian cork oak (*Quercus suber*L.) forests. *Forest Systems* 19(3), 285-298.
- * **Sardans J and Penñelas Uelas J. 2007.** Drought changes phosphorus and potassium accumulation patterns in an evergreen Mediterranean forest. *Funct. Ecol.* 21: 191-201.
- * **Sari D. 1977.** L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie). SNED, Alger, 628p.
- * **Sarmoum M. 2008.** Impact du climat sur le dépérissement du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) diagnostic dendroécologique et climatique de la cédraie de Theniet el Had (Wilaya de Tissemsilt). Magister, Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, Alger, 114p
- * **Sarmoum M., Feddag F., Masloub A., Belkaid B. 2013.** Diagnostic de l'état actuel de la subéraie du Parc National de Theniet-El-Had (W.Tissemsilt). Journées d'étude sur la

réhabilitation des subéraies incendiées et reboisements (JERSIR). Tlemcen le 17 et 18 Janvier 2013.

- * **Sarmoum M., Navarro R., Guibal F. 2019.** Bilan actuel et rétrospectif du dépérissement du Cèdre de l'Atlas dans le Parc National de Theniet-El-Had. Bois et forêts des tropiques, 342 :29-40
- * **Schaffhauser A., Curt T., Véla E., Tatoni T. 2012.** Recurrent fires and environment shape the vegetation in *Quercus suber* L. woodlands maquis. Comptes Rendus Biologies 335: 424-434.
- * **Schutz JP, 1990.** Sylviculture 1 : principe d'éducation des forêts. Presses phytotechniques et universitaires Romandes, Suisse, 243p
- * **SCPID. 2002.** l'hydraulique au service de la protection des forêts contre l'incendie. Rapport d'étude. Ministère de l'agriculture et de la pêche, France, 63p
- * **Sebei H., Albouchi A., Rapp M., El Aouni M-H.2004.** Productivité en biomasse du chêne liège dans une séquence de dégradation de la subéraie à Cytise de Kroumirie (Tunisie). INRA, EDP Sciences, Ann. For. Sci. 61. 347–361.
- * **Seltzer, R. 1946.** Le climat de l'Algérie. Alger : Imp.Latypo et jules carbone. Réunion, 220p.
- * **Silva JS., Catry F. 2006.** Forest fires in cork oak (*Quercus suber*.L) stands in Portugal. International Journal of Environment Studies, 63 (3): 235-257
- * **Smahi H., Belhoucine L., Bouhraoua R., Franceschini A., & Linaldeddu B-T-T. 2018.** First report of branch canker and dieback caused by *Cryphonectria naterciae* on *Quercus suber* in Algeria. Plant Disease, Volume 102 (1), Page 251,
- * **Stiti B., Chaar H., khaldi A., Henchi B. 2019.** Analyse et modélisation de la production du liège en vue d'une gestion optimale : cas de la forêt de Ain Snoussi, Nord-Ouest de la Tunisie. Journal of new sciences 65 (4) :4088 - 4095
- * **Taco C., Lopes F., Pereira H. 2003.** La variation dans l'arbre de l'épaisseur du liège et du dos des planches de liège en pleine production. Centro de Estudos Florestais. Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, Portugal:210 – 221.
- * **Tatar H. 2012.** Production forestière, exploitation et valorisation en Algérie. *forêt méditerranéenne*, t.XXXIII, n°4 : 361-368
- * **Thavaud P. 1982.** Note sur le liège. *forêt méditerranéenne*, [Rencontres d'Avignon «les nouvelles données de la gestion de la forêt méditerranéenne»](#). Mai 1981, Avignon, Produits de la forêt méditerranéenne. t. IV, n°2, pp : 165-167
- * **Thiault M. 1982.** Esquisse d'un bilan sur les recherches sylvo-pastorales en région méditerranéenne. *forêt méditerranéenne*, [Rencontres d'Avignon «les nouvelles données de la gestion de la forêt méditerranéenne»](#). Mai 1981, Avignon, Pâturage. t. IV, n°2, pp : 191-193

- * **Thibaut A., Classens S., Rondeux J. 2002.** Etablissement de courbes de productivité pour les peuplements de frêne (*Fraxinus excelsior* L) en région limono-calcaire du Candroz et de l'entre-Sambre-meuse. Les cahiers forestiers de Gembloux n°07, 18p
- * **Tomé M. 2004.** Modelo de crescimento e produção para a gestão do montado de sobro em Portugal. Projecto POCTI/AGR/35172/99. Relatório Final – Relatório de Execução Material (Volume I). Publicações GIMREF RFP 1/2004. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Agronomia. Centro de Estudos Florestais. Lisboa. 89 pp.
- * **Tomé J., Tomé M., Barreiro S., Paulo JA. 2006.** Age-independent difference equations for modelling tree and stand growth. CJFR (36) 7: 1621-1630
- * **Torres E., Montero G., Suarez MA. 1997.** Relación entre la densidad de la masa y la producción de corcho en montes alcornoques del sur de España, Puertas F., Rivas M. (Eds), II Congreso Forestal Nacional., Tomo IV : 529–534.
- * **Torres E. 2001.** Relaciones entre la vegetación y la producción de corcho en los alcornoques de cortes de la frontera (Málaga). V Jornadas de flora, Fauna y Ecología del Campo de Gibraltar. Los Barrios. 19,20 y 21 de octubre de 2001: 10p.
- * **Torres E. 2003.** Experiencias sobre regeneración natural de alcornoque (*Quercus suber* L.). «Actas de la III Reunión sobre Regeneración Natural-IV Reunión sobre Ordenación de Montes». *Cuad. Soc. Esp. Cien. For.* 15: 37-47
- * **Torres E. 2011.** La végétation du sous-bois comme indicateur de la qualité de liège dans les subéraies du Sud de l'Espagne. 2^{ème} rencontre méditerranéenne Chercheurs-Gestionnaire-Industriels sur la gestion des subéraies et la qualité du liège. Jijel le 20 et 21 Octobre.
- * **Vasquez Y., Pereira H. 2005.** Mixed models to estimate oven dried cork weight in central and southern Portugal. *Forest Ecology and Management* 213: 117-132
- * **Vasquez Y., Tapias R., Gutierrez JC., Pulido I. 2007.** Aproximaciones neuronales para la modelización del crecimiento diario del alcornoque (*Quercus suber* L.) en una dehesa del suroeste de España (Hinojos, Huelva). «Actas de la II Reunión sobre aspectos prácticos de la Modelización Forestal». *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 23: 251-256
- * **Vasquez Y., Pereira H. 2008.** ¿Qué hay tener en cuenta para elaborar modelos de producción de corcho?: revisión bibliográfica y consideraciones estadísticas. *Invest Agrar: Sist Recur For* 17(3): 199-215
- * **Vasquez Y., Pereira H., Tapias., R., Gonzalez A., Andivia E., Martin D. 2008.** Análisis de la influencia de parámetros edáficos y climáticos en el crecimiento del alcornoque en una dehesa de Huelva (España). «Actas de la II Reunión sobre Suelos Forestales». *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 25: 431-437
- * **Zedek M. 1993.** Contribution à l'étude de la productivité du *Cedrus atlantica* Manetti (cèdre de l'Atlas) dans le parc national de Theniet El Had. Thèse magister, INA, Alger. 175pp.

- * **Zine M. 1992.** Situation et perspectives d'avenir du liège en Algérie. Actes du Colloque « Les Subéraies méditerranéennes », IML, Vives : 98-1
- * **Zuur AF., Ieno EN., Walker NJ., Saveliev AA., Smith GM. 2009.** Mixed effects models and Extensions in Ecology with R. Berlin: Springer Publications.

Potentialités subéricoles de quelques subéraies d'Ouest Algérien : cas de la subéraie du Parc National de Theniet-El-Had

Résumé : La présente étude menée dans la forêt montagnaise de chêne-liège (*Quercus suber* L.) du Parc national de Teniet-El-Had (Tissemsilt, Algérie), soumise à un étage bioclimatique subhumide à hivers froids vise à déterminer les variations des capacités de production de liège en relation avec les facteurs du milieu. Au total 833 tiges de chêne liège inventoriées à partir de 77 placettes temporaires installées en automne 2012 ont été évaluées. Trois paramètres de production sont retenus : l'épaisseur (mm/an), le rendement d'un arbre moyen (kg) et la productivité d'un peuplement (kg/ha). L'analyse globale de cette subéraie reflète une diversité de composition (pur et mélangé), de structures à la fois irrégulière et régulière et de typologie dominée par une ou deux catégories de bois. Les résultats montrent que le liège présente des caractéristiques qualitatives intéressantes : i) poids volumique moyen de 230.35 kg/m³, ii) accroissements annuels moyens lents (2.38 mm), iii) poids moyen par unité de surface de 6.58 kg/m². Une durée de 12 ans peut fournir un liège d'épaisseur commerciale (>27mm). De plus, arbre produit en moyenne 10.46 kg et un peuplement 240.12 kg/an/ha. Les analyses statistiques multivariées (modèles linéaires généralisés) montrent l'effet des principaux facteurs du milieu sur l'épaisseur et la production de liège. En effet, la croissance du liège est davantage affectée par des variables propres à l'arbre (état de santé, diamètre et hauteur d'écorçage) que par les sites (exposition). Cependant, le rendement est influencé par les conditions de croissance des arbres, exprimées par leur hauteur totale mais aussi par leur état de santé. À l'échelle des peuplements, la production (kg/ha) en liège est influencée par la croissance et l'état sanitaire ; deux qualités de sites sont proposées en fonction de la valeur de la hauteur dominante exprimée par le modèle : (i) les sites de bonne qualité (Hd > 10 m ; 2 900 kg/ha) caractérisés par des arbres de bonne croissance en largeur et (ii) les sites de mauvaise qualité avec une productivité réduite de plus de moitié (Hd < 10 m ; 1 700 kg/ha). Ces résultats fournissent une orientation de gestion permettant au forestier de planifier la récolte de liège de sa forêt selon la rotation pratiquée et la qualité de la planche recherchée.

Mots-clés : chêne-liège, liège, facteurs de milieu, rendement, croissance, modèle, Algérie.

Cork productive potential of some cork-oak forest in West Algerian: Case of the cork-oak forest of Theniet-El-Had National Park (Tissemsilt ; Algeria).

Abstract : The present study, carried out in the mountainous cork oak forest (*Quercus suber* L.) of Teniet-El-Had National Park (Tissemsilt, Algeria), subjected to a subhumid bioclimatic stage with cold winters, aims to determine the variations in cork production capacities according to environmental factors. A total of 833 cork oak stems inventoried from 77 temporary survey plots installed in autumn 2012 were assessed. Three production parameters were assessed: thickness (mm / year), yield (kg) from an average tree and productivity (kg / ha) of a stand. The overall analysis of this forest reflects a diversity of composition (pure and mixed), forest structures that are both irregular and regular, and a typology dominated by one or two categories of wood. The results show that cork has interesting qualitative characteristics: i) average density of 230.35 kg / m³, ii) slow average annual growth (2.38 mm), iii) average weight per unit area of 6.58 kg / m². A cork production cycle of 12 years provides a cork of commercial thickness (> 27mm). In addition, tree produces about 10.46 kg and a stand 240.12 kg / year / ha. Multivariate statistical analyses (generalized linear models) show the effect of the main environmental factors on cork thickness and production. In fact, the growth rates are affected more by tree-specific variables (state of health, barking diameter and height) than by site factors (exposure). On the other hand, the yield is influenced by the conditions of tree growth as, expressed by their total height but also by their state of health. In terms of stand quality, cork production (kg / ha) is influenced by growth and health status ; two types qualities of sites are proposed according to the value of the dominant height expressed by the model: (i) high-quality sites (Hd > 10 m; 2,900 kg / ha) characterized by trees with high growth rates in diameter and (ii) poor quality sites where productivity is less than half of the former (Hd < 10 m; 1,700 kg / ha). These results provide management guidelines to help foresters plan cork harvests from their forests according to rotations and to the desired cork quality.

Keywords: cork oak, cork, environmental factors, yield, growth, model, Algeria.

القدرة الإنتاجية للبلوط لبعض غابات بلوط الفلين في غرب الجزائر: حالة غابة بلوط بالحضيرة الوطنية لثنية الحد

الخلاصة: الدراسة الحالية التي أجريت في غابة بلوط الفلين الجبلية (*Quercus suber* L.) في حضيرة ثنية الحد الوطنية (تيسمسيلت، الجزائر)، والتي تعرضت لمناخ شبه رطب مع فصول الشتاء الباردة، تهدف إلى تحديد الاختلافات في قدرات إنتاج الفلين وفقاً للعوامل البيئية. تم تقييم ما مجموعه 833 شجرة من بلوط الفلين تم جردها من 77 وحدة مسح مؤقتة تم تركيبها في خريف عام 2012. تم تقييم ثلاثة معايير للإنتاج: السمك (مم / سنة)، والمردود (كغ) من متوسط الشجرة والإنتاجية (كغ / هكتار). يعكس التحليل العام لهذه الغابة تنوعاً في التكوين (حزم من الأشجار غير منتظمة ومنتظمة)، وتصنيفاً تهيم عليه فئة أو فئتان من الخشب. أظهرت النتائج أن الفلين له خصائص نوعية مثيرة للاهتمام: (1) متوسط كثافة 230.35 كغ / م³، (2) متوسط النمو السنوي بطيء (2.38 مم)، (3) متوسط الوزن لكل وحدة مساحة 6.58 كغ / م². توفر دورة إنتاج الفلين التي تبلغ 12 عاماً سُمكاً تجارياً من الفلين (< 27 مم). بالإضافة إلى ذلك، تنتج الشجرة حوالي 10.46 كغ ويبلغ وزنه 240.12 كغ / سنة / هكتار. تظهر التحليلات الإحصائية متعددة المتغيرات (النماذج الخطية المعممة) تأثير العوامل البيئية الرئيسية على سمك وإنتاج الفلين. في الواقع، تتأثر معدلات النمو بالمتغيرات الخاصة بالأشجار (الحالة الصحية والقطر والارتفاع) أكثر من تأثيرها بعوامل الموقع (الاتجاه نحو أحد الجهات الأربع). من ناحية أخرى، يتأثر المحصول بظروف نمو الأشجار كما يتضح من ارتفاعها الإجمالي ولكن أيضاً بالحالة الصحية. من حيث جودة وسط النمو، يتأثر إنتاج الفلين (كغ / هكتار) بالنمو والحالة الصحية؛ يتم اقتراح نوعين من صفات المواقع وفقاً لقيمة الارتفاع السائد المعبر عنه بالنموذج: (1) مواقع عالية الجودة (Hd > 10 م؛ 2900 كغ / هكتار) تتميز بأشجار ذات معدلات نمو عالية في القطر و (2) مواقع ذات جودة رديئة حيث الإنتاجية أقل من نصف السابق (Hd < 10 م؛ 1700 كغ / هكتار). توفر هذه النتائج إرشادات إدارية لمساعدة الحراجين في تخطيط حصاد الفلين وفقاً للتناوب وجودة الفلين المرغوبة

الكلمات المفتاحية: الفلين، امكانات إنتاج الفلين، سمك الفلين، ثنية الحد