

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, de la Terre et de l'Univers
Département Des Ressources Forestières

THESE

En vue de l'obtention du Diplôme de
DOCTORAT en FORESTERIE

Présentée par : M^{lle} GHALEM Amina

Thème :

CARACTERISATION QUALITATIVE ET
TECHNOLOGIQUE DU LIEGE DE REPRODUCTION
DE QUELQUES SUBERAIES D'ALGERIE

Soutenue le : 17/09/2017

Devant le jury composé de :

Président :

Mr BERRICHI Mohamed

M.C.A

Université de Tlemcen

Directeur de Thèse:

Mr BOUHRAOUA Rachid Tarik

Prof.

Université de Tlemcen

Co Directeur de Thèse :

Mme COSTA Augusta

Docteur

INIAVI, Portugal

Examineurs :

Mr DEHANE Belkheir

M.C.A

Université de Tlemcen

Mme SOUIDI Zahira

M.C.A

Université de Mascara

Année universitaire : 2016-2017

Remerciements

Mes premiers remerciements vont à mon directeur de thèse, Mr Bouhraoua Rachid Tarek, Professeur à l'Université de Tlemcen, que je dois respect et gratitude pour m'avoir guidé afin de mener à bien cette étude. Sa disponibilité durant toutes les étapes de ce travail, ses remarques pertinentes et ses suggestions ont sans cesse permis l'amélioration de la qualité de ce document. Je le remercie également pour les conditions qu'il m'a offert pour mener à bien ce travail.

Je voudrais également exprimer mes vifs remerciements aux membres du jury qui ont bien voulu juger ce travail : A Mr Berrichi Mohamed, Maître de conférence A, à l'Université de Tlemcen qui ma fait un grand honneur d'accepter de présider ce jury. A Mr Dehane Belkheir (Maître de conférence A, à l'Université de Tlemcen) et Me Souidi Zaheira (Maître de conférence A, à l'Université de Mascara) pour l'honneur qu'il mon fait en acceptant d'examiner ce travail.

Je tiens à exprimer ma grande reconnaissance à Me Costa Augusta, (Docteur chercheur à l'INIAVI, au Portugal), co-directeur de thèse qui malgré ses nombreuses obligations, a aimablement acceptée de m'accueillir comme stagiaire au sein de du laboratoire de la qualité du liège à l'institut National de la Recherche Agronomique et Vétérinaire au Portugal. Je la remercie pour son précieux aide, son extrême disponibilité durant la période de mon stage. Ainsi que pour sa bienveillante attention et le partage de ses connaissances et surtout pour son précieux aide dans la publication de l'article.

Je remercie également tout personnel de l'INIAVI, et spécialement Barbosa Ines, pour son précieux aide durant mon travail au laboratoire.

Nombreuses sont les personnes qui m'ont aidé à franchir les obstacles et contraintes rencontrées durant la préparation de ce travail, mais je voudrais adresser mes remerciements plus particulièrement ;

- A Mr Aberkane M, Directeur de SIBL à Jijel envers qui je suis très reconnaissante pour son chaleureux accueil et sa prise en charge durant notre séjour à Jijel, et pour m'avoir facilité le travail grâce a la disponibilité de tout le matériel nécessaire ce qui nous a permis de travaillé dans des conditions agréables.
- A Mr Senoussi Brekssi Seif Eddine, le Directeur de l'unité industrielle de Beni Mester pour son accueil au niveau de l'usine. Il a mis à notre disposition le matériel nécessaire pour l'étude du rendement industriel.
- Mes vifs remerciements s'adressent aussi aux ouvriers des deux unités industrielles qui m'ont beaucoup aidé durant mon travail expérimental, dans une ambiance agréable malgré la dureté de leur travail, je les remercie infiniment.

Un grand hommage au défunt Messaoudene Mahand " رحمه " , que son décès reste une grande perte dans le domaine forestier. Il été un homme très serviable, il nous a facilité l'hébergement et le travail au niveau de l'INRF de Azazga à Tizi Ouzou, Il a mis à notre disposition tout le matériel nécessaire pour les mesures des accroissements annuels du liège.

Je tiens à exprimer ma gratitude à ma famille et surtout a mes parents pour leurs soutiens et encouragements. Ainsi à toute les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail et a Neggar Oum Djillali pour son aide durant le travail à SIBL à Jijel.

Résumé : La qualité du liège et le rendement industriel ont été étudiés à partir de 146 planches de liège provenant de 5 suberaies algériennes (Zarieffet, Hafir, Zerdeb, M'Sila et Skikda). La première phase de ce travail réalisée dans deux unités industrielles de transformation du liège en Algérie nous a permis de constater que les bouchons de liège constituent 27% du poids de la planche contre 73% de déchets potentiels. Ce taux est fortement lié à la surface de la planche (70 bouchons/m²). Il est plus élevé dans les planches de bonne qualité qui produisent 60% des bouchons de bonne qualité. Dans la comparaison entre le liège algérien et celui portugais, nous avons trouvé que dans les deux types de liège la porosité augmente dans la masse du liège de la mie vers la croûte, mais le liège algérien est caractérisé par une grande hétérogénéité du point de vue croissance et qualité. Le coefficient de porosité est plus élevé dans le liège portugais (13,2%) par rapport au celui algérien (9,2%), avec une forte présence des pores de grandes surface (>2mm²) dans le liège portugais. La croissance moyenne annuelle est plus rapide dans le littoral algérien (3,16 mm/an) et portugais (3,6 mm/an) et rapide en montagne (2,81 mm/an). La vitesse de croissance du liège est plus rapide durant les 5 premières années qui représentent 60% de l'épaisseur du liège puis elle diminue avec le temps, ce qui recommande l'adaptation d'un cycle de production adéquat pour chaque zone géographique. Chaque année de croissance hors du cycle est une perte de production ; cette perte est estimée de -32% à -35% durant les 5 premières années de croissance. La croissance du liège est pluvio-dépendante, une forte corrélation est enregistrée Janvier-Juillet de l'année en cours et le cumul des précipitations de l'année précédente. D'une façon générale la productivité des arbres est variable entre les forêts, elle varie de 5,63 à 8,7 kg/m², mais elle reste très faible par rapport aux autres pays méditerranéen, ce qui nécessite un plan de gestion adéquat pour chaque subéraie.

Mots clés: Qualité, Analyse d'image, croissance de liège, productivité, rendement, bouchons de liège, Algérie, Portugal.

Abstract: Qualitative and technological characterization of the reproduction cork of a few Algerian cork oak forests. Cork quality and industrial yield were studied from 146 cork planks from 5 Algerian forests (Zarieffet, Hafir, Zerdeb, M'Sila and Skikda). The first phase of this work carried out in two industrial units for cork transformation in Algeria showed that the stoppers constitutes 27% of the weight of the cork planks against 73% cork wastes. This rate is strongly related to the surface of the planks (70 stoppers /m²). It is higher in good quality boards that produce 60% of good quality of stoppers. In the comparison between the Algerian and Portuguese corks, we found in both types of cork that porosity increases in the cork mass of the crumb to the crust, but the Algerian cork is characterized by a great heterogeneity in quality and growth. The porosity coefficient is higher in Portuguese cork (13.2%) than in Algeria (9.2%), with a strong presence of pores with a large surface area (> 2 mm²) in Portuguese cork. The annual average growth is faster in the Algerian coast (3.16 mm / year) and Portuguese (3.6 mm / year) and fast in the mountains (2.81mm /year). The growth rate of cork is higher during the first 5 years, which represents 60% of the thickness of the cork and then decreases with time, which recommends the adaptation of a suitable production cycle for each geographical area. Each year of growth outside the cycle is a loss of production; This loss is estimated at -32% to -35% during the first 5 years of growth. Cork growth is rainfed, a strong correlation is recorded between January- July of the current year and the cumulative rainfall of the previous year. In general, tree productivity is variable between forests, it varies from 5.63 to 8.7 kg /m², but it remains very low compared to the other Mediterranean countries, which requires an adequate management plan for Each cork oak forest.

Key words: Quality, Image analysis, cork growth, productivity, yield, cork stoppers, Algeria, Portugal.

: التوصيف النوعي والتكنولوجي لفلين بعض غابات الفلين الجزائرية

تم دراسة نوعية الفلين و المرود الصناعي من 146 الفلين من 5 الغابات الفلين الجزائرية (زاريفات، احفير، المسيلة وسكيدة). الأولى من هذا العمل تم امجازها في اثنين من الوحدات الصناعية المتخصصة في الفلين في الجزائر، بحيث وجدنا أن فقط 27 الفلين هو عبارة عن سداة أما 73% المتبقية ففي عبءة عن النفايات، ويرتبط هذا المعدل ارتباطاً وثيقاً بمساحة اللوح (70 سداة فلين/ 2)، و هذه النسبة تكون عالية في الفلين ذو النوعية جيدة التي تنتج 60% من السدادات ذات نوعية جيدة. أثناء المقارنة بين الفلين الجزائري والبرتغالي، وجدنا أن في كلا النوعين يتميز بزيادة المسامية من الداخل نحو القشرة، ولكن يتميز الفلين الجزائري باختلاف كبير من حيث النمو والجودة. المسامية أعلى في الفلين البرتغالي (13.2) (9.2)، مع كثرة المسامات ذات المساحة الكبيرة (2 >) في الفلين

(3.16 /) و الغابات البرتغالية (3.6 /) أما في الجبل فهو سريع (2.81 /). الفلين الأسرع خلال ال 5 سنوات الأولى والذي يمثل 60% من سمك الفلين ومن ثم تتناقص مع مرور الزمن، مما يتطلب ضرورة التكيف مع دورة الإنتاج الملائمة لكل منطقة جغرافية.

نمو الفلين يعتمد على المطر، فانه تم تسجيل وجود علاقة قوية بين أمطار يناير إلى يوليو 32- 35- 5. عموماً تختلف إنتاجية شجرة بين الغابات، حيث تتراوح 5.63 8.7 / 2. تزال منخفضة جداً بالمقارنة مع الدول المتوسطية الأخرى، الأمر الذي يتطلب خطة الإدارة الكافية ل كل غابة بلوط الفلين.

الكلمات المفتاحية: تحليل الصور، النمو الفلين، الإنتاجية، الفلين،

SOMMAIRE

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

CHAPITRE I

Généralités sur le chêne liège et la suberaie

1.1- Distribution géographique	4
1.1.1- Dans le monde	4
1.1.2- En Algérie	5
1.2- Caractéristiques générales des forêts de chêne liège en Algérie	6
1.2.1- Situation actuelle de la suberaie algérienne	7
1.3- Exploitation de la suberaie	8
1.4- Importance du chêne liège et la suberaie	10
1.4.1- Importance écologique du chêne liège	10
1.4.2- Paysage et écotourisme	11
1.4.3- Véritable stock du carbone	11
1.4.4- Importance sociale.....	12
1.4.5- Importance économique des suberaies :	12
1.5- Production du liège	13
1.5.1- En Algérie	14
1.5.2- L'industrie de transformation du liège	15
1.5.3- Les difficultés et les contraintes des entreprises de secteur	17

CHAPITRE II

Qualité et propriétés technologiques du liège

2.1- Formation du liège	18
2.2- L'assise subero-phellodermique	19
2.3- Les types de liège	20
2.3.1- Le liège mâle	20
2.3.2- Le liège femelle	21
2.4- La structure anatomique du liège.....	21
2.4.1 - Les discontinuités	22
2.4.2- Cellules de liège	23
2.4.3- les parois cellulaires	24
2.5- Les caractéristiques macroscopiques du liège de reproduction	25
2.5.1- Les accroissements du liège	25
2.5.2- L'âge du liège.....	26
2.5.3- Les lenticelles (les pores)	27
2.6- Qualité du liège.....	28
2.6.1- Concept de qualité aspect scientifique- technique	29
2.6.2- Appréciation de la qualité du liège sur arbre.....	29
2.6.3- Technique d'analyse d'image.....	30
2.6.4- Critères de classification de la qualité du liège	31
2.6.4.1- Epaisseur ou calibre	31
2.6.4.2- Aspect.....	33
1- Porosité.....	33
2- Défauts naturels.....	34

2.6.5-La classification du liège	36
2.6.5.1- Classification d'IPROCOR (CICYTEX actuellement).....	36
2.6.5.2- Classification simple	37
2.6.5.3- Classification des bouchons et rondelles naturelles	37
2.6.6-Indice de qualité	38
2.7- Propriétés du liège.....	39
2.7.1 -Propriétés chimiques	39
2.7.2 -Propriétés physiques.....	40
2.7.3- Propriétés mécaniques.....	40
2.7.4 - Propriétés thermiques et acoustiques	41

Chapitre III

Description du milieu d'étude

3.1- Choix des forêts	42
3.2- Présentation des forêts d'étude.....	42
3.2.1- Les forêts de Zarieffet et Hafir	42
3.2.2- La forêt de Zerdeb	43
3.2.3- La forêt de M'Sila	44
3.3- Caractéristiques topographique, pédologique et géologique	45
3.3.1- Le massif Hafir-Zarieffet	45
3.3.2- La suberaie de Zerdeb	45
3.3.3- La subéraie de M'Sila	45
3.4- Caractéristiques végétaives.....	46
3.4.1- Le massif Hafir-Zarieffet	46
3.4.2- La subéraie de Zerdeb	47
3.4.3- La suberaie de M'Sila	47
3.5- Le climat	48
3.5.1-Données climatiques	48
3.5.1.1- Précipitations.....	48
1- Répartition annuelle et mensuelle des précipitations	49
3.5.1.2- Température	50
1- Température moyenne, minimale et maximale.....	50
3.5.2- Synthèse climatique.....	51
3.5.2.1- Indice de continentalité	52
3.5.2.2- Indice de sécheresse estivale	52
3.5.2.3- Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger	53

CHAPITRE IV

Matériel et Méthodes

4.1- Principaux objectifs de l'étude	55
4.2- Plan d'échantillonnage	56
4.2.1- Choix des planches de liège	56
4.2.2- Choix des bandes et des bouchons de liège.....	58
4.3- Travail expérimental du rendement industriel (au niveau des usines).....	59
4.3.1- Présentation succincte des deux unités de transformation du liège	59
4.3.1.1- La bouchonnerie de Béni Mester	59

4.3.1.2- La Société Industrielle Bois et Liège de Jijel « SIBL »	60
4.3.2- Préparation des planches de liège.....	60
4.3.3- Etude du rendement industriel des planches du liège	62
4.3.4- Analyse visuelle et classification des planches du liège	63
4.3.5- Etude des défauts.....	64
4.3.6- Analyse visuelle et classification des bouchons et rondelles naturelles.....	65
4.3.6.1- Les bouchons.....	65
4.3.6.2- Les rondelles	67
4.4- Au laboratoire	67
4.4.1- Préparation des échantillons du liège	68
4.4.2 - Acquisition d'image numérique	68
4.4.3 – Etude des accroissements	69
4.4.3.1- L'inter datation.....	69
4.4.3.2- Mesure de la largeur des accroissements annuels du liège	70
4.4.4- Etude de la qualité du liège	71
4.4.4.1-Analyse d'image.....	71
4.4.4.2- Quantification de la porosité	72
4.4.5- Classification automatique du liège	73
4.5- Récolte des données.....	74
4.5.1- Distribution des échantillons selon l'âge du liège.....	74
4.5.2- Etude des épaisseurs	74
4.5.3- Etude de la densité.....	74
4.5.4- Etude de la productivité.....	75
4.5.5- Etude des accroissements	75
4.5.5.1- Distribution des échantillons en classes des accroissements moyens annuels.....	75
4.5.5.2- Courbes des accroissements	76
1- Les courbes des accroissements courants annuels	76
2- Les accroissements courants cumulés	76
4.5.5.3- Analyse de la relation cerne-climat	76
4.5.6- Etude de la qualité du liège	77
4.5.6.1- Etude de la porosité	77
4.5.6.2- Comparaison entre le liège Algérien et Portugais.....	78
4.5.6.3-Classification du liège	79
4.6-L'analyse statistique	79

Chapitre V

Traitement des résultats

5.1- Etude du rendement industriel des planches du liège	82
5.1.1-Variation du poids sec des planches de liège en fonction des surfaces.....	82
5.1.2- Relation entre la production nette des bouchons et le poids sec des planches.....	83
5.1.3- Relation entre la production nette des bouchons et la surface des planches	85
5.1.4- Relation entre le poids des planches et les déchets régénérés.....	86
5.1.5- Relation entre la production nette des bouchons et l'épaisseur des planches de liège	87
5.1.6- Détermination des défauts du liège	89
5.1.6.1- Interprétation statistique.....	91
5.1.6.3- Différents types de défaut sur bouchons	97
5.1.7- Classification des planches de liège selon la méthode d'IPROCOR	98

5.1.8- Relation entre la qualité du liège et les bouchons produits.....	99
5.1.8.1- Poids des bouchons	99
5.1.8.2- Qualité des bouchons : Relation entre les qualités planches- bouchons	100
5.1.9- Distribution des principales défauts selon les classes de qualité	101
5.1.9.1- Principaux défauts dans le liège de bonne qualité.....	101
5.1.9.2- Principaux défauts dans le liège de moyenne qualité.....	102
5.1.9.3- Principaux défauts dans le liège de faible qualité	102
5.1.9.4- principales défauts dans le liège rebut.....	103
5.1.10- Relation entre le poids des planches et les rondelles	103
5.1.11- La qualité des rondelles produite	105
5.2- Etude de la porosité	106
5.2.1- Opération de filtrage des pores.....	106
5.2.2- Caractérisation générale des différents paramètres de la porosité transversale	107
5.2.3- Densité des pores.....	108
5.2.4- Superficie des pores	109
5.2.5- Coefficient de porosité	111
5.2.5.1- Corrélation entre coefficient de porosité et nombre et surface des pores	113
5.2.5.2- Distribution des échantillons par classe de porosité.....	114
5.2.6- Variables de la forme	115
5.2.7- Variation de la porosité par classe de surface des pores	117
5.3- Classification automatique (Cork class 1.0)	118
5.3.1- Comparaison entre classification automatique et visuelle de la qualité du liège	119
5.3.2- Distribution du coefficient de porosité et superficie moyenne des pores par classes commerciale.....	120
5.4- Comparaison entre le liège de Zariéffet (Algérie) et Benavente (Portugais).....	121
5.4.1- Caractérisation de la porosité des échantillons de Zariéffet et Benavente	121
5.4.2- Variation de la porosité interne et externe	123
5.4.3. La qualité du liège	124
5.3- Caractérisation générale du liège-échantillon	124
5.3.1- - Distribution des échantillons selon les classes d'épaisseurs du liège (sur croûte).	124
5.3.2- La densité	127
5.3.3- La productivité	128
5.4- Etude de la croissance du liège	129
5.4.1- Distribution des échantillons selon l'âge du liège.....	129
5.4.2- Distribution des échantillons par classe d'accroissements moyens annuels	130
5.4.2.1-Liège de montagne	131
5.4.2.2-Liège de littoral	132
5.4.3-Rythme global des accroissements annuels du liège durant un cycle de production selon les zones naturelles.....	132
5.4.3.1- En montagne.....	133
5.4.3.2- En littoral.....	136
5.4.4- Etude des courbes de croissance individuels et moyenne (tout âge confondu)	137
5.4.4.1- En montagne.....	137
5.4.4.2- En littoral.....	139
5.4.5- Rythme de croissance du liège en dehors du cycle de production	140
5.4.5.1- En dehors d'un cycle de 14 ans	140
5.4.5.2- En dehors d'un cycle de 12 ans	141
5.4.6- Etude des courbes de croissance cumulée durant un cycle complet de production	142
5.4.6.1- En montagne.....	142

5.4.6.2- En littoral.....	143
5.4.6.3- Relation entre l'épaisseur commerciale et épaisseur du liège.....	144
5.4.7- Analyse de la relation cerne-climat	145
5.4.7.1-Influence des précipitations.....	146
5.4.7.1.1- Précipitations annuelles.....	146
5.4.7.1.2- Etude de l'indice de croissance	147
5.4.7.1.3- L'influence des Précipitations mensuelles	148
5.4.7.1.4-L'influence des précipitations cumulées	150
5.4.7.2-Influence des températures moyennes.....	154

Chapitre VI

Discussion Générale

6.1- Age du liège.....	156
6.2- La densité et la productivité.....	157
6.3- Etude des épaisseurs	158
6.3.1- Le cycle de production	159
6.4- Etude de la croissance du liège	160
6.4.1-Les facteurs influençant la production du liège sur arbre	161
6.4.1.1- Etat sanitaire	161
6.4.1.2- Age de l'arbre et âge du liège.....	161
6.4.1.3- Facteurs stationnels	162
6.4.1.4- Impact du climat sur les accroissement du liège	162
6.5-La qualité du liège.....	167
6.5.1- Etude de la porosité	167
6.5.2- Les défauts du liège et des bouchons	170
6.5.2.1- Les défauts phytopathologiques	170
6.5.2.2- Les défauts physiologiques	171
6.5.2.3- Les défauts génétiques	171
6.5.2.4- Facteurs externes abiotiques.....	171
6.5.3- La qualité du liège	172
6.6 - Le rendement industriel des planches de liège	172
Conclusion générale	176
Références bibliographiques	181
Annexes	

Liste des figures

Figure 1: Aire de répartition du chêne liège dans le monde	4
Figure 2 : Répartition du chêne liège dans le bassin méditerranéen.....	5
Figure 3 : Aire de répartition des peuplements de chêne liège en Algérie	5
Figure 4: Superficie forestière actuellement occupées par le chêne liège par conservation par rapport aux superficies originelles	6
Figure 5 : Les surfaces occupées par les différentes formations de chêne liège	7
Figure 6 : Arbre de chêne liège récemment récolté à M'Sila (Gauche) et Hafir (Droite)	9
Figure 7: Période de récolte du liège de reproduction en Algérie	9
Figure 8: Quelques espèces animales menacées que l'on trouve en suberaie	10
Figure 9: Quelques espèces végétales du sous bois de la suberaie.....	11
Figure 10 : Fluctuation annuelle de la production du liège en Algérie (1964-2015).....	14
Figure 11 : Répartition des exportations algériennes de liège par continent (1998-2008).....	15
Figure 12 : Représentation schématique d'une coupe transversale d'un tronc de chêne liège.....	18
Figure 13: Représentation schématique de la formation du liège.....	19
Figure 14: Variation de la couleur de la surface du tronc du chêne-liège après écorçage à M'Sila : (de gauche à droite : juste après la récolte- après 2 mois- après 1 an- 2 ans-3ans- 9 an)	20
Figure 15: Aspect naturel d'un liège mâle et femelle.....	21
Figure 16 : Nomenclature de la description spatiale des directions et sections du liège	22
Figure 17 : Limite d'un cerne de liège, liège d'automne (à droite) et liège de printemps (à gauche) ..	22
Figure 18: Image microscopiques des cellules du liège de reproduction (a gauche ; section transversale adroite : section tangentielle)	23
Figure 19 : Ondulation des parois cellulaires du liège	25
Figure 20: Schéma représentatif des accroissements annuels du liège	26
Figure 21: Méthode schématique pour quantifier l'âge du liège	27
Figure 22: Répartition des lenticelles sur la section tangentielle et transversale d'un calas du liège...	27
Figure 23: Vue microscopique d'une coupe transversale d'un canal lenticulaire	28
Figure 24: Distribution verticale des lenticelles (à gauche : base du tronc, à droite : le sommet	28
Figure 25: Dispositif d'estimation de la qualité du liège sur pied COVELESS CQ 05	30
Figure 26 : Les principaux facteurs déterminants de la qualité du liège	31
Figure 27: Défauts naturels des bouchons de liège	38
Figure 28: Situation géographique du massif forestier Zariéffet-Hafir	43
Figure 29: Situation géographique de la forêt de Zerdeb (W. Tlemcen)	44
Figure 30 : Situation géographique de la forêt de M'Sila	44
Figure 31: Répartition saisonnière des précipitations dans les quatre forêts.....	50
Figure 32: Quotient pluviothermique et climagramme d'EMBERGER des 4 forêts	54
Figure 33: Piles de liège flambé (A) ; liège de reproduction (B) et liège mâle (C) à Hafir.....	55
Figure 34: Localisation géographique de 2 usines de transformation du liège	57

Figure 35 : Parc à liège au niveau de l'usine de Béni Mester (à gauche) et la société industrielle du bois et liège (à droite).....	57
Figure 36 : Planche du liège après découpage en bandes, les bandes numérotées sont celles triées pour examen des défauts.....	58
Figure 37 : Les étapes de découpage et tubage dans le processus de fabrication des bouchons	59
Figure 38 : La Bouchonnerie de Béni Mester à Tlemcen.....	60
Figure 39 : La Société Industrielle Bois et Liège de Jijel.....	60
Figure 40 : Bouillage et stabilisation des planches au niveau de l'usine.....	61
Figure 41 : Planche de liège destinée à la fabrication des bouchons.....	61
Figure 42 : Schéma simplifié du processus industriel de fabrication des bouchons et rondelles naturelles	62
Figure 43 : Calcule de surface de la planche du liège à l'aide du logiciel Image J 1.49 (a gauche) et l'humidité à l'aide d'Aqua Boy (a droite)	63
Figure 44 : Appréciation visuelle d'une bande-échantillon avant tubage	64
Figure 45 :Tableau de qualité du liège, illustrant les 9 catégories de la classification de l'ICMC-IPROCOR	64
Figure 46 : Fiche de notation des défauts du liège selon le logiciel CORKCLASS1.0 (à droite) et les photos de référence de quelques défauts (à gauche).....	65
Figure 47 : Planche de référence des classes de qualité des bouchons FFSL.....	66
Figure 48 : Planche de référence des classes de qualité des rondelles	67
Figure 49 : Exemples d'Images scannées des échantillons du liège de Hafir dans les deux sections transversales	69
Figure 50 : Mesure des accroissements du liège par la méthode d'analyse d'image	70
Figure 51 : Dispositif de mesure des accroissements du liège LINTAB 5.....	71
Figure 52 : Réglage manuel du niveau du thershold pour un échantillon du liège.....	72
Figure 53 : Les étapes d'analyse d'image d'un échantillon de liège	73
Figure 54 : Matrice de donnée vierge du logiciel CORKCLASS 1.0.....	73
Figure 55 : Variation du poids secs et surfaces des planches de liège.....	82
Figure 56 : Variation du poids secs des planches de liège en fonction des surfaces	83
Figure 57 : Variation du poids secs des bouchons produits des planches de trois suberaies.....	84
Figure 58 : Relation entre le poids sec des planches et le poids des bouchons fabriqués	85
Figure 59 : Relation entre la surface des planches et le nombre des bouchons fabriqués	85
Figure 60 : Variation des poids (g) de déchets régénérés par les planches de liège des trois subéraies.....	86
Figure 61 : Les bandes de liège tubées en bouchons	87
Figure 62 : Distribution des planches-échantillons du liège selon les classes commerciales d'épaisseur par forêt	88
Figure 63 : Relation entre le poids des bouchons et l'épaisseur des planches de liège	89
Figure 64 : Echantillons du liège présentant des défauts naturels du liège	91
Figure 65 : Représentation graphique des résultats d'Analyse Factorielle des Correspondance des défauts du liège de Zarieffet.....	92

Figure 66 : Représentation graphique des résultats d'Analyse Factorielle des Correspondance des défauts du liège de Zerdeb.....	93
Figure 67 : Représentation graphique des résultats d'Analyse Factorielle des Correspondance des défauts du liège de Skikda.....	94
Figure 68 : Représentation graphique des résultats d'Analyse Factorielle des Correspondance des défauts du liège de Hafir	95
Figure 69 : Représentation graphique des résultats d'Analyse Factorielle des Correspondance des défauts du liège de M'Sila.....	96
Figure 70 : Les bouchons du liège présentant des défauts naturels du liège (Original)	98
Figure 71 : Distribution du liège des Cinq subéraies par classe de qualité selon la méthode de classification visuelle	99
Figure 72 : Rendement des planches de liège par classes de qualité (poids de bouchons).....	99
Figure 73 : Sélection visuelle des bouchons de liège	101
Figure 74 : Relation entre le poids, la surface et l'épaisseur des planches sur le rendement net en rondelle.....	104
Figure 75 : Variation des poids (g) de déchets régénérés et des rondelles par les planches de liège des trois subéraies.....	104
Figure 76 : Distribution des classes de qualité des rondelles par les classes de qualité des planches de liège	105
Figure 77 : Variation du nombre des pores traités durant l'opération de filtrage selon leur surface pour le liège de Zarieffet et Zerdeb	106
Figure 78 : Variation de la densité des pores par échantillon du liège dans les deux subéraies.....	108
Figure 79 : Valeur moyenne de la variable « densité des pores » des 2 forêts	109
Figure 80 : Variation de la surface totale des pores par échantillon du liège dans les deux subéraies	110
Figure 81 : Valeur moyenne de la variable la surface moyenne des pores (mm ²).....	111
Figure 82 : Variation des coefficients de porosité par échantillon du liège dans les deux subéraies .	112
Figure 83 : Variation des coefficients de porosité (C.P%) des deux forêts	112
Figure 84 : Corrélation entre le coefficient de porosité et 3 paramètres de porosité (nombre des pores, surface moyenne et surface totale des pores) dans les 2 forêts	113
Figure 85 : Distribution des échantillons selon le type de porosité.....	114
Figure 86 : Variation des valeurs du facteur de forme et de géométrie.....	116
Figure 87 : Distribution des pores des échantillons par classes de surface	118
Figure 88 : Distribution des échantillons du liège de Zarieffet et Zerdeb dans les classes de qualité.	119
Figure 89 : Comparaison entre classification automatique et visuelle des qualités des échantillons du lige de deux forêts	119
Figure 90 : Distribution des coefficients de porosité et surface moyenne des pores par classe de qualité	121
Figure 91 : Représentation des centroïdes des pores dans un diagramme de dispersion XY pour tous les échantillons de liège a Zarieffet (ZA) et Benavente (CL).....	123
Figure 92 : Distribution des échantillons du liège selon les classes commerciales d'épaisseur du liège de 4 forêts	125
Figure 93 : La densité du liège de reproduction des 4 suberaies	127

Figure 94 : Distribution des échantillons de liège des 4 suberaies selon leur classe d'âge	129
Figure 95 : Distribution des échantillons du liège des 4 forêts d'étude par classes d'accroissements moyens annuels	131
Figure 96 : Courbes de croissance individuelles et moyennes du liège de reproduction de montagne (Zarieffet, Zerdeb et Hafir).....	138
Figure 97 : Evolution des accroissements courants annuels et moyens des échantillons du liège de reproduction de littoral (M'Sila)	139
Figure 98 : Evolution des accroissements moyens annuels du liège au cours d'un autre cycle de 14 ans en dehors du cycle normal.....	140
Figure 99 : Evolution des accroissements moyens annuels du liège au cours d'une période de 12 ans en dehors de cycle de production normal	141
Figure 100 : Croissance cumulée du liège de montagne (Zarieffet, Zerdeb et Hafir)	143
Figure 101 : Croissance cumulée du liège de littoral (M'Sila).....	144
Figure 102 : Précipitations annuelles dans 3 suberaies d'étude durant le cycle de production	146
Figure 103 : Variation d'indice de croissance annuel en comparaison avec les accroissements moyen annuels du liège de 3 suberaies.	147
Figure 104 : Réponse de l'indice d'accroissement aux précipitations mensuelles de Zarieffet basant sur le coefficient de corrélation Pearson	148
Figure 105 : Réponse de l'indice d'accroissement aux précipitations mensuelles de Hafir basant sur le coefficient de corrélation Pearson	149
Figure 106 : Réponse de l'indice d'accroissement aux précipitations mensuelles de M'Sila basant sur le coefficient de corrélation Pearson	149
Figure 107 : Corrélation entre indice d'accroissement et les précipitations cumulées de quelques périodes de l'année à Zarieffet	152
Figure 108 : Corrélation entre indice d'accroissement et les précipitations cumulées de différents périodes de l'année à Hafir.....	153
Figure 109 : Corrélation entre l'indice d'accroissement et les précipitations cumulées de différentes périodes de l'année à M'Sila	154
Figure 110 : Quelques anomalies d'exploitation du liège à M'Sila	157
Figure 111 : Variation des épaisseurs du liège produit par le même arbre durant 14 récoltes successives	162
Figure 112 : Relation entre l'indice d'accroissement du liège durant 10 année de croissance à Zarieffet, Hafir et M'Sila et les précipitations cumulés durant la période Janvier-Juin.....	164
Figure 113 : Distinction des cernes larges et minces dans trois échantillons du liège de Hafir	165
Figure 114 : Relation entre indice de croissance et accroissement courant annuel de l'année 2009 et le cumule des précipitations au cours de l'année et l'année précédente	165
Figure 115 : Distribution du nombre des pores par superficie des pores dans tous les échantillons de liège de Zarieffet (ZA) et Benavente (CL)	169
Figure 116 : Exemple de planches brutes de liège avant découpage en partie homogène	173
Figure 117 :Schéma théorique de l'utilisation des planches de liège dans la production des bouchons	174

Liste des tableaux

Tableau 1 : Surfaces occupées par les essences forestières principales en Algérie	6
Tableau 2 : Production moyenne annuelle mondiale	14
Tableau 3 : les caractéristiques générales de la structure du liège	24
Tableau 4 : Les caractéristiques dimensionnels des cellules de liège	24
Tableau 5 : Principales classes d'épaisseurs de la couche subéreuse et types de liège correspondants d'après ICMC-IPROCOR	32
Tableau 6 : Indice des prix pour différentes épaisseurs industrielles du liège et classe de qualité	32
Tableau 7 : Variation de la porosité en classes de qualité. Analyse de la section tangentielle	33
Tableau 8 : Caractérisation de la porosité des planches de liège dans la section tangentielle et transversal.....	34
Tableau 9 : Coordonnées géographiques des 4 forêts oranaises	42
Tableau 10 : Cantons des forêts de Hafir et Zariéffet	43
Tableau 11 : Caractéristiques des stations de référence et périodes d'observation.....	48
Tableau 12 : Répartition annuelle de la pluviométrie dans les quatre forêts.....	49
Tableau 13 : Températures moyennes mensuelles et annuelles T (°C).....	51
Tableau 14 : Moyenne des minima et des maxima du mois le plus froid et le plus chaud « m ».....	51
Tableau 15 : Indice de continentalité des deux forêts	52
Tableau 16 : Indice de sécheresse estivale des deux forêts	53
Tableau 17 : Valeur du « Q ₂ » et étages bioclimatiques des deux forêts	53
Tableau 18 : Classes de qualité des bouchons de liège	66
Tableau 19 : Principales classes commerciales d'épaisseurs du liège et types de liège correspondants selon les normes internationales	74
Tableau 20 : Principales classes de densité du liège et type de liège (avec croûte) correspondants	75
Tableau 21 : Principales classes des accroissements moyens annuels du liège	75
Tableau 22 : Classes de coefficient moyen de porosité	78
Tableau 23 : Classes de superficie moyenne des pores	78
Tableau 24 : Classification simplifiés du liège	79
Tableau 25 : Analyse de la porosité et classe de qualité en section tangentielle.....	79
Tableau 26 : Liste des abréviations	80
Tableau 27 : Variation des poids et surface des planches de liège en piles	83
Tableau 28 : Valeurs moyennes des poids (g) bouchons et déchets extraits des planches des 3 forêt.	87
Tableau 29 : Défauts naturels du liège des Cinq provenances	90
Tableau 30 : Valeurs propres et pourcentages d'inertie (Zariéffet)	91
Tableau 31 : Valeurs propres et pourcentages d'inertie (Zerdeb).....	93
Tableau 32 : Valeurs propres et pourcentages d'inertie (Skikda)	94
Tableau 33 : Valeurs propres et pourcentages d'inertie (Hafir).....	95
Tableau 34 : Valeurs propres et pourcentages d'inertie (M'Sila)	96

Tableau 35: Défauts naturels des bouchons de liège des trois provenances	97
Tableau 36: Distribution des échantillons par classe de qualité selon IPROCOR (en pourcentage) ..	98
Tableau 37: Relation entre la qualité de la planche du liège et la qualité des bouchons	100
Tableau 38: Type des défauts recensés dans le liège de bonne qualité (1 ^{er} -3 ^{ème}) (chiffre en pourcentage).....	101
Tableau 39: Type des défauts recensés dans le liège de moyenne qualité (4 ^{ème} -5 ^{ème}).....	102
Tableau 40: Types de défauts recensés dans le liège de faible qualité (6 ^{ème}).....	102
Tableau 41: Types des défauts relevés dans le liège rebut.....	103
Tableau 42 : Analyse de la variance a un facteur de la variable classe de qualité des rondelles	106
Tableau 43 : Caractérisation de la porosité du liège des subéraies de Zariéffet et Zerdeb.....	107
Tableau 44: Analyse de la variance du paramètre de la densité des pores.....	108
Tableau 45: Caractérisation de la superficie totale des pores du liège.....	109
Tableau 46: Analyse de la variance à un facteur de la variable de la surface moyenne des pores.....	111
Tableau 47 : Analyse de la variance à un facteur de la variable coefficient de porosité (C.P %).....	113
Tableau 48 : Valeur du coefficient de corrélation entre coefficient de porosité et 3 paramètres de porosité (nombre des pores, surface moyenne et surface totale des pores).....	114
Tableau 49: Variable de forme des lenticelles dans la section transversale (Ecart-type).....	115
Tableau 50: Distribution des pores des échantillons de liège des deux subéraies par classes de surfaces (< 1mm ² , 1-2mm ² , > 2mm ²).....	117
Tableau 51: Distribution des valeurs du coefficient de porosité par classe de qualité commerciale .	120
Tableau 52 : Caractérisation de la porosité des échantillons de liège des subéraies de Zariéffet (ZA) et Benavente (CL)..	122
Tableau 53 : Les valeurs propres, les coefficients de corrélation canonique et la variance expliquée par les deux premiers Fonctions discriminantes (F1 et F2).....	124
Tableau 54: Paramètres statistiques des épaisseurs calculées pour les échantillons de liège prélevés des 4 suberaies d'étude.....	126
Tableau 55 : Analyse de variance à un facteur de la variable d'épaisseur dans chaque subéraie	127
Tableau 56 : Analyse de variance à un facteur de l'épaisseur du liège	127
Tableau 57 : Paramètres statistiques de productivité calculés pour les échantillons de liège prélevés des deux suberaies	128
Tableau 58: Analyse de la variance à un facteur de la variable des accroissements moyens annuels des trois suberaies de montagne	132
Tableau 59 : Croissance annuelle du liège prélevé des deux subéraies de montagne (Zariéffet et Zerdeb) durant un cycle de production de 14 ans (13 accroissements complets)..	133
Tableau 60: Analyse de la variance de la variable accroissement des deux suberaies Zariéffet et Zerdeb pour un cycle de 14 ans.....	134
Tableau 61: Croissance annuelle du liège prélevé des 2 suberaies (Zariéffet et Zerdeb) durant un cycle de production de 12 ans (11 ans de croissance complète).	134
Tableau 62: Analyse de la variance de la variable accroissement des deux suberaies Zariéffet et Zerdeb pour un cycle de 12 ans.....	135
Tableau 63: Croissance annuelle du liège prélevé des trois subéraies de montagne (Zariéffet, Zerdeb et Hafir) durant un cycle de production de 10 ans (9 ans de croissance complète).....	135

Tableau 64 : Analyse de variance de la variable accroissement moyen annuel	136
Tableau 65 : Croissance annuelle du liège prélevé de la subéraie de M'Sila durant un cycle de production de 9 ans (8 ans de croissance complète).....	136
Tableau 66 : Croissance annuelle du liège prélevé des quatre subéraies (Zarieffet, Zerdeb, Hafir et M'Sila) durant un cycle de production de 10 ans (9 ans de croissance complète).....	137
Tableau 67 : Paramètres statistiques des accroissements moyens annuels calculés pour les échantillons de liège prélevés des quatre subéraies pour un cycle de 10 ans (9 ans de croissance complète).	137
Tableau 68 : Analyse de la variance à un facteur de la la variable des accroissements moyens annuels au cours du cycle de production et en dehors de ce cycle	141
Tableau 69 : Production du liège dans deux cycles de production (12 ans et 14 ans)	142
Tableau 70 : Epaisseur commerciale sous croute et l'âge d'exploitabilité des 4 suberaies.	145
Tableau 71 : Valeurs des coefficients de corrélation entre l'indice d'accroissement moyen annuel et l'accroissement moyen annuel et les précipitations cumulées durant différents mois de l'année dans les trois suberaies.....	150
Tableau 72 : Valeurs des coefficients de corrélation entre l'indice d'accroissement moyen annuel et les températures mensuelles dans les trois subéraies.....	154
Tableau 73 : Epaisseur (mm) du liège à l'âge de 10 ans dans les 4 subéraies	158
Tableau 74 : les corrélations significatives entre les précipitations mensuelles et l'indice de croissance du liège	163

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

La forêt de chêne liège constitue un espace forestier assez particulier dans le bassin méditerranéen occidental, mais aussi sur la côte atlantique où elle est présente depuis bien avant l'antiquité. Elle couvre 2,7 millions d'hectares à travers le Portugal, l'Espagne, l'Algérie, le Maroc, l'Italie, la Tunisie et la France. En effet, la subéraie est considérée comme un important point chaud riche en biodiversité dans les étages bioclimatiques humide et subhumide dans la région méditerranéenne (Plieninger et al., 2014). En plus de son importance écologique, la subéraie constitue une source économique grâce à la production de divers produits forestiers non ligneux, tels que les pâturages pour le bétail, le miel, les champignons, les glands, et les plantes médicinales et aromatiques. Mais parmi tous ces produits, le liège constitue une ressource stratégique du fait de ses multiples usages (bouchonnerie, parquet, isolation thermique, etc.). Il tient à lui seul 80% des revenus de l'économie forestière, dont sa principale utilisation est la fabrication des bouchons qui atteint 67%. Donc tout ce qui touche au liège aura des retombées immédiates sur l'industrie des bouchons.

Les potentialités nationales de la production du liège sont estimées à plus de 200 000 qx/an, avec une production relativement faible ces dernières années qui est bien au dessous de 100 000 qx/an. L'Algérie occupait le troisième rang des producteurs de liège (7% de la production mondiale), mais loin derrière le Portugal (57%) et l'Espagne (23%) (Boudy, 1955 ; Ticktin, 2004 ; Vicente et Alés, 2006 ; Oliveira et Costa, 2012 ; FAO, 2013).

En Algérie, les principales subéraies sont localisées dans le tell oriental ; elles s'étendent d'une manière assez continue le long de la zone littorale jusqu'aux frontières tunisiennes. En revanche, elles restent disséminées sous forme d'îlots dans la partie Ouest. Globalement, les subéraies algériennes forment des écosystèmes forestiers perturbés avec des facteurs sous-jacents forts ; politiques, économiques et technologiques, ce qui entraîne une dépréciation de la valeur du liège par rapport aux autres produits de l'arbre tels que le bois et les glands (Messaoudène et Merouan, 2009). Par contre, dans les autres pays producteurs de liège tels que le Portugal et l'Espagne, les écosystèmes des chênes sont des exemples emblématiques de la nature domestique, dotés des écosystèmes semblables à ceux de la savane soigneusement gérés pour un rendement durable en liège (Costa et al., 2014 ; Costa et Oliveira, 2015). Cette différence de gestion et de maintien de la subéraie entre les deux rives de la méditerranée est figurée dans le faible rendement de la subéraie algérienne (91 kg/ha) contre les subéraies Espagnoles (206 kg/ha) et celles Portugaises (217 kg/ha) (Chenel, 1951 ; Messaoudène et Merouan, 2009). Toutefois, malgré les différences constatées dans les conditions des forêts de chêne liège et la gestion forestière en Algérie, un défi commun de plus en plus important est engagé dans les autres régions productrices de liège pour maintenir les arbres produisant du liège de haute qualité.

Compte tenu de la demande toujours croissante de matières premières de liège, il constitue une ressource économique précieuse pour les pays producteurs, alors qu'en Algérie ce secteur reste marginalisé face à la politique nationale qui se base sur la mono-exportation des hydrocarbures, dont les coûts sur le marché international fluctuent de façon parfois considérable. Cependant, il est nécessaire pour l'Algérie d'augmenter ses exportations hors hydrocarbures pour assurer la vie aux générations futures. Alors, pour augmenter les exportations des produits de liège, il faut prendre en considération la filière dans sa globalité et intervenir à différents niveaux, spécialement dans l'industrie de transformation du liège qui rencontre d'énormes problèmes.

Actuellement, la commercialisation du liège se base sur la qualité du produit, dont un liège de bonne qualité est 4 à 5 fois plus cher qu'un liège de basse qualité. Cette qualité est évaluée habituellement par l'acheteur d'une manière subjective en se basant sur l'observation de l'aspect externe de la planche de liège. A partir de 1985, IPROCOR a élaboré un programme ayant pour objet d'informer de manière objective, les propriétaires et gestionnaires des subéraies au sujet de la qualité du liège et de leurs exploitations. La méthode utilisée, autorise l'optimisation statistique des échantillonnages et l'incorporation d'un index global qui exprime la qualité « indice de qualité ». Cette méthode a été développée avec le temps par l'utilisation de la technique d'analyse d'image qui a donné une autre dimension au concept de qualité du liège (Ferreira et al., 2000 ; IPROCOR, 2009 ; Costa et Pereira, 2006 ; 2010). Cette technologie utilisée dans les industries portugaise et espagnole permet de classer automatiquement et très rapidement les bouchons et les rondelles de liège par classe de qualité. Malheureusement l'Algérie reste très loin de ces techniques, dont la détermination de la qualité du liège se base encore sur l'appréciation visuelle des opérateurs expérimentés, ce qui a un effet négatif sur la valorisation et la commercialisation correcte du produit.

La première partie de ce travail a été déroulée au niveau de deux unités de transformation du liège à savoir la bouchonnerie de Béni Mester (Tlemcen) et la Société Industrielle Bois et Liège de Taheir (Jijel). Les objectifs de cette étude résident dans l'évaluation du rendement quantitatif et qualitatif des planches de liège de 5 différentes provenances ; Zarieffet, Hafir et Zerdeb localisés dans les monts de Tlemcen, M'Sila au littoral Ouest et Skikda au littoral Est. Nous avons suivi la méthodologie du Pereira et al.(1994) ; Costa et Pereira (2004) ; Pereira (2007) et Costa et Pereira (2010).

L'objectif principal de cette étude est de renforcer les connaissances existantes sur le profil de qualité du liège par une évaluation du rendement industriel du liège de certaines subéraies algériennes et de comparer certaines caractéristiques qualitatives du liège algérien avec celles d'une région portugaise. Pour cela, nous avons utilisé la technique d'analyse d'image afin d'identifier et de quantifier les canaux lenticulaires, dans les sections transversales des planches de liège d'une part et les mesures des largeurs des cernes annuels d'autre part. Cette phase du travail a été réalisée au niveau du laboratoire de la qualité du liège à l'Institut National de la Recherche Agronomique et Vétérinaire (INIAV, IP) en Portugal. En outre, une étude comparative des données de la porosité du liège dans les sections transversales des planches de liège des deux régions productrices de liège du bassin méditerranéen, au Portugal et en Algérie est faite dans le but de combler les lacunes des connaissances existantes sur le profil de porosité du liège en général et compréhension plus complète de l'étendue des canaux lenticulaires. Ceci revient d'étudier le profil de variabilité de la porosité du liège dans les sections transversales de la planche de liège, la variation de la porosité de la partie interne (la mie) vers la partie externe (la croûte) au sein de la même planche de liège.

La connaissance de la qualité du liège est devenue un thème d'actualité qui intéresse les scientifiques, les industriels et les gestionnaires, alors que la compréhension de la croissance du liège est aussi importante car elle nous permet de connaître les facteurs influençant sur la croissance, le rythme de croissance et de préciser le cycle de production de chaque zone géographique. Dans ce travail, nous avons ainsi étudié les accroissements du liège des différentes provenances afin de mieux caractériser le liège algérien. Les mesures ont été réalisées au niveau de l'INIAVI et l'INRF à Tizi Ouzou, suivi par la méthodologie de plusieurs travaux de recherches mené sur les accroissements du liège par les chercheurs aux niveaux des pays producteurs du liège à savoir Natividade (1956); Pereira et al. (1996); Ferreira et al. (2000) ; Aloui et al. (2006) ; Ghalem (2006) ; Roula (2010) ; Dehane et al.(2011). Alors,

d'autres chercheurs se sont penchés beaucoup plus sur l'étude de l'influence du climat sur la production du liège et sa relation avec le milieu. Parmi ces travaux, nous citons essentiellement ceux de : Caritat et al. (1996, 2002) ; Costa et al. (2002) ; Oliveira et al. (2002) ; Aloui et al. (2006) ; Pereira (2007) ; Ennajah et al. (2010) ; Costa et al.(2016) :

Notre travail est structuré sur six principaux chapitres, à savoir :

- La partie de la recherche bibliographique a été présentée en deux chapitres ; après avoir fait un bref aperçu sur le chêne liège et la subéraie, nous avons décrit le processus de formation du liège, son anatomie, sa composition, sa qualité et ses différentes propriétés physiques, chimiques et mécaniques.
- Le troisième chapitre est consacré à une présentation succincte des forêts étudiées (Zarieffet, Zerdeb, Hafir et M'Sila) tant sur le plan physique que sur le plan forestier et économique.
- Le quatrième chapitre est consacré à une présentation d'abord du matériel végétal étudié ainsi que des conditions d'échantillonnage ; par la suite, nous exposons la chaîne de mesure et les différentes étapes utilisées pour l'exploitation des résultats de mesures de rendement, croissance et la qualité du liège.
- Le cinquième chapitre traite l'ensemble des résultats dégagés par une connaissance élargie des échantillons testés. La maîtrise du dispositif de mesure est un préalable pour la fiabilité des résultats.
- En fin, le dernier chapitre comporte une discussion des caractéristiques qualitatives et technologiques du liège de reproduction des subéraies étudiés

CHAPITRE I

Généralités sur le chêne liège et la suberaie

1.1- Distribution géographique

1.1.1- Dans le monde

Quercus suber (chêne liège) est une essence endémique du bassin méditerranéen et le littoral atlantique, il fait partie de la flore pliocène supérieure (Lamey, 1893 ; Vilar, 1934 ; Boudy, 1950 ; Emberger, 1930 ; Quezel, 2000 ; Manos et Stanford, 2001 ; Merouani et al., 2001 ; Durand et al., 2004 ; Bouisset et Puyo, 2009). Il se propage depuis la région méditerranéenne occidentale jusqu'à l'atlantique d'où il déborde de la partie Ouest du Portugal et au Maroc. Il prolifère aussi sur toutes les grandes îles entre la péninsule ibérique et la péninsule italienne, et dans certaines parties éparses du sud de la France et certaines régions côtières et les régions montagneuses du Maroc, l'Algérie et la Tunisie (Emberger, 1960 ; Quezel et Santa, 1962 ; Quezel, 1976 ; Veillement et Fraval, 2002 ; Abourouh et al, 2005 ; Laaribya, 2006 ; Aouadi et al., 2010 ; Bouhraoua, 2013 ; Dehane et al., 2013)

La figure 1 montre que la distribution géographique actuelle du chêne liège est très inégale et disjointe. Certains auteurs suggèrent qu'une grande partie de ce que nous voyons aujourd'hui des suberaies ne représente que des reliques (Vilar, 1934 ; Boudy, 1955 ; Quezel, 2000 ; Nedjahi, 2005 ; Ouelmouhoub, 2005). La surface globale est estimée de 2,2 millions d'hectares distribués sur le territoire des 7 pays à partir du niveau de la mer jusqu'à 500 m d'altitude dans les régions aux climats chaud et humide (Hammoudi, 2002 ; Merouani et al., 2001 ; Margot, 2006 ; CIB, 2008 ; Bouisset et Puyo, 2009).

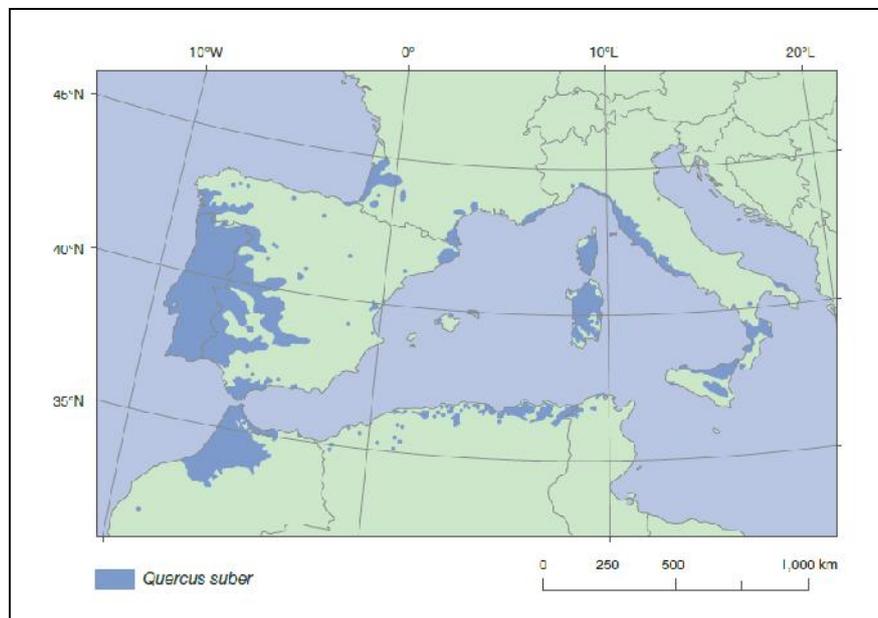


Figure 1: Aire de répartition du chêne liège dans le monde (Eriksson et al., 2015)

Si nous analysons la distribution du chêne liège par pays (fig.2), nous constatons immédiatement que le Portugal abrite la plus grande surface des forêts de cette essence qui représente environ 32% de la surface mondiale. Ceci correspond à plus de 730 000 ha. Il est

suivi par l'Espagne avec 22,2% puis l'Algérie avec 18,2%. Le Maroc qui occupe la 4^{ème} place, sa forêt couvre 15,2%. Enfin, la Tunisie, la France et l'Italie sont présents avec 4% chacune de la superficie totale (Varela, 2004 ; FOSA, 2007 ; CIB., 2008).

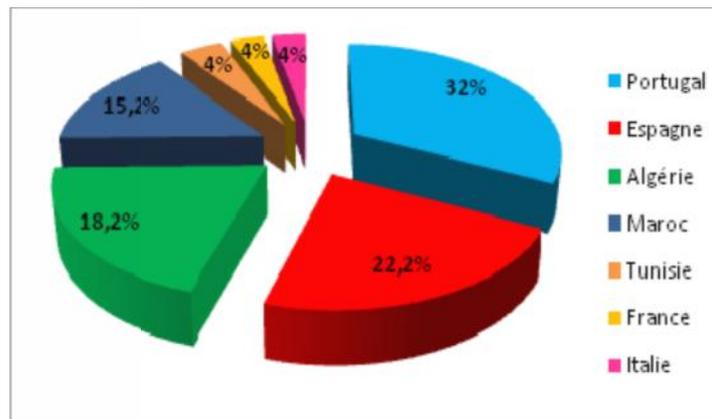


Figure 2 : Répartition du chêne liège dans le bassin méditerranéen

1.1.2- En Algérie

En Algérie, les forêts de chêne liège sont inégalement réparties dans 23 wilayas du nord du territoire (fig. 3). Elles prospèrent depuis le littoral jusqu'aux chaînes telliennes au sud sur une bande de largeur de 70 km de la mer. Elles poussent jusqu'à 1200 voire 1500 m d'altitude (Boudy, 1955 ; Natividade, 1956 ; Zeraia, 1981 ; Ouelmouhoub, 2005).



Figure 3 : Aire de répartition des peuplements de chêne liège en Algérie (DGF., 2003)

En effet, les meilleurs peuplements sont localisés en zones humide et subhumide du Nord Est de l'Algérie jusqu'à la frontière tunisienne. Cette région détient à elle seule 80% (392 000 ha) de la surface totale, distribuées sur les massifs de Skikda, Jijel, Guelma, Annaba, Tizi ouzou et El Taref (Marc, 1916 ; Boudy, 1955 ; Zeraia, 1981 ; Zine, 1992 ; Yessad, 2000).

Au centre, le chêne liège couvre une superficie d'environ 41 000 ha distribués entre les conservations de Blida, Médea, Ain Defla, Tipaza et Chlef (Boudy, 1955 ; Zine, 1992; Yessad, 2000). Toutefois, à l'Ouest il ne forme que des îlots très disséminés, dont la superficie ne dépasse guère les 7 000 ha distribués dans les wilaya de Tlemcen, Oran, Mascara et Relizane (Boudy, 1955 ; Ialaoui, 2000 ; Bouhraoua, 2003).

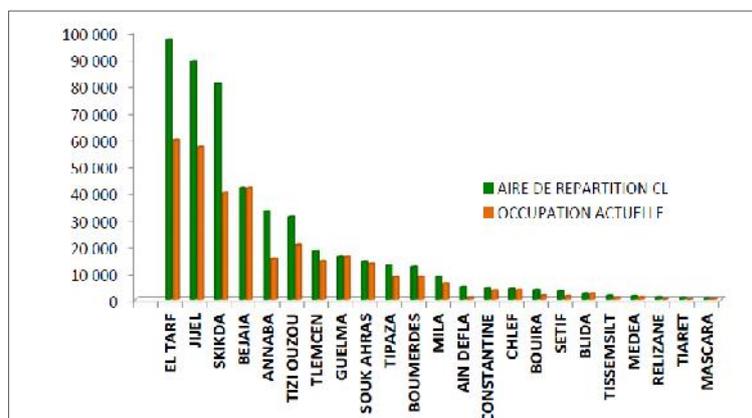


Figure 4: Superficie forestière actuellement occupées par le chêne liège par conservation par rapport aux superficies originelles (Abbas, 2013)

1.2- Caractéristiques générales des forêts de chêne liège en Algérie

En Algérie, le potentiel forestier est constitué de 4,1 millions d'hectares ce qui correspond à 2% de la surface totale du territoire national et 11% du nord. Prés de 440 000 ha sont occupés par des forêts de chêne-liège. D'après ces statistiques le chêne liège représente 11% du patrimoine forestier et il se classe en 2^{ème} position après le Pin d'Alep (Tab.1) (Chenel, 1951 ; Le Houerou, 1980 ; B.N.E.D.E.R, 1984 ; Kouba, 2005 ; Aouadi et al., 2010).

Tableau 1 : Surfaces occupées par les essences forestières principales en Algérie (Aouadi et al., 2010)

Espèce Forestière	Surface occupée en hectare	Pourcentage
Pin d'Alep	800 000 ha	40%
Chêne-liège	440 000 ha	11%
Chêne vert	360 000 ha	9%
Thuya	132 000 ha	3,3%
Chêne zéen et Afarès	65 000 ha	1,62%
Eucalyptus	60 000 ha	1,5%
Cèdre	23 000 ha	0,60%
Maquis et garrigues	1 300 000 ha	32,5%

L'inventaire forestier national établi par le BNEDER en 1984 indique que sur les 230 000 ha de chêne liège productifs, 61 % sont représentés par de vieilles futaies, 37 % de jeunes futaies et 2 % des perchis et des taillis. Donc, les vieilles futaies qui ont subi plusieurs démasclages sont les plus abondantes, ce qui explique la difficulté de la régénération

naturelle. En effet, les suberaies bien conservées ne peuvent s'observer que dans certaines régions de l'Est d'Algérie (Boudy, 1955 ; Zeraïa, 1981 ; Ouelmouhoub, 2005 ; FOSA, 2007). Le dernier inventaire de 2008, donne une amélioration dans la superficie mais elle reste toujours avec une dominance de vieilles futaies de l'ordre de 250 000 ha contre environ 11500 de jeunes peuplements de différents stades d'évolution (Abbas, 2013).

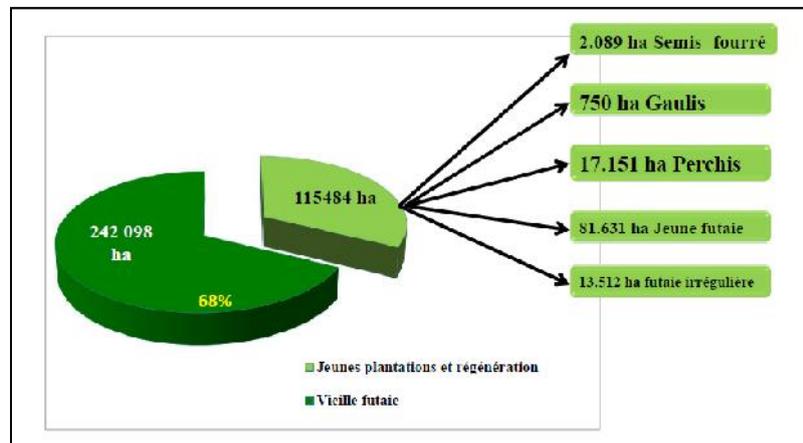


Figure 5 : Les surfaces occupées par les différentes formations de chêne liège (IFN, 2008 in Abbas, 2013)

Le chêne liège forme généralement des peuplements purs mais pouvant être mélangés localement avec d'autres essences selon l'altitude, l'exposition, le climat et la nature du sol (Boudy, 1955 ; Bouhraoua, 2003 ; Ghalem, 2006).

1.2.1- Situation actuelle de la suberaie algérienne

Avant la colonisation française, la suberaie tenait déjà une place importante dans la vie socio-économique des riverains, grâce à l'abondance du sous bois qui servait des terrains de parcours pour un bétail varié. En outre, le bois du chêne liège fournissait un bon combustible pour la préparation des repas et pour le chauffage en hivers (Boudy, 1955 ; Dehane et al, 2013 ; Puyo, 2013)

Actuellement, ces forêts gardent un rôle important dans l'économie forestière nationale, car le liège qu'elles produisent constitue le principal produit forestier du pays (FOSA, 2007 ; Berrahmouni, 2009 ; Aouadi et al, 2010 ; Bouhraoua, 2013). D'ailleurs, ce potentiel subéricole a permis la mise en place d'un tissu industriel de transformation du liège en divers produits: bouchons, disques, aggloméré noir, ...etc (Roula et Messoudene, 2014).

Les suberaies bien conservées (structure-architecture équilibrée, présence d'une régénération importante et conditions écologiques locales non perturbées) ne peuvent s'observer que dans certaines régions de l'Est. La dégradation a affecté la majorité des peuplements qui sont en constante régression à cause de la combinaison de plusieurs facteurs biotiques et abiotiques cités par différents auteurs à savoir Guillaumin et al., 1985 ; Garolera, 1988 ; Garrec, 1994 ; Lieutier et al., 1994 ; Hammoudi, 2002 ; Douzon, 2004 ; IML, 2004;

Sebei et al., 2004 ; Bouhraoua et Villemant, 2005 ; Messaoudene et al., 2006 ; Leutrech Belarouci et al., 2009 ; Aouadi et al., 2010 ; Belhoucine, 2013 :

- la fréquence et l'ampleur des incendies,
- le vieillissement des peuplements et une régénération naturelle déficiente,
- l'enrésinement pin d'alep et pin maritime et l'introduction d'espèces à croissance rapide, comme les eucalyptus,
- l'absence de travaux sylvicoles (embroussaillage et abandon des forêts),
- la mauvaise exploitation du liège (exploitation anarchique),
- l'absence d'entretien, de soins cultureux et de programmes d'aménagement et de restauration de la suberaie,
- le stress hydrique des périodes de sécheresse de plus en plus fréquentes,
- l'attaque parasitaire, notamment des défoliateurs et d'agents pathogènes,
- le manque de plans de gestion subéricole.

Parmi les conséquences de cette dégradation sont la disparition de cet écosystème typique de la méditerranée mais aussi la réduction de la production en liège. Cette dernière a reculé de façon remarquable, surtout durant la dernière décennie créant ainsi un déséquilibre entre l'offre et la demande (Aouadi et al, 2010 ; Bouhraoua, 2013 ; Roula et Messaoudene, 2014).

Afin de reconstituer le couvert forestier, de nombreux programmes ont été initiés, mais le chêne-liège n'a guère été pris en considération et sa participation dans les différentes campagnes de plantation oscillait de 0,2 à 7%. En revanche, durant ces dernières années et dans le cadre du PNR, le chêne liège se classe en premier rang parmi les essences forestières retenues avec 160 000 hectares, dont 24% de repeuplement des vides et plantations sur des terres à vocation forestière. Tous ces efforts sont restés sans succès satisfaisants à cause des taux d'échecs très élevés dus aux facteurs techniques tels que les modalités d'exécution des travaux de reboisement, les facteurs écologiques (topographie, climat, etc.) et organisationnels (gestion et suivi des plantations). En effet, le taux de réalisation est estimé à 40% mais les surfaces brûlées dépassent les surfaces plantées (FOSA, 2007 ; Aouadi et al., 2010 ; Bouhraoua, 2013).

1.3- Exploitation de la suberaie

Les documents historiques montrent bien que le chêne-liège a été considérablement favorisé par l'homme depuis le 18^{ème} siècle. Le traitement de la suberaie est une pratique compliquée, à cause d'une part de la suberculture qui traite le chêne liège comme un arbre fruitier visant à produire le meilleur liège en qualité et en quantité et d'autre part de l'application des opérations sylvicoles qui vise la pérennité et la protection de l'espèce forestière (Arnaudies et Piazzetta, 2006 ; Bouisset et Puyo, 2009 ; Costa et al., 2010).

L'entretien du peuplement se base sur les coupes d'éclaircies ayant comme but principal son ouverture et la réduction de sa concurrence avec les arbres des autres essences (Mouries et Seigue, 1980 ; Anonyme, 1987 ; Bossuet, 1988 ; Guyon, 1998 ; Vignes, 1988).

Ces dernières coïncident généralement avec les coupes de nettoiemnts, les coupes de régénérations, les coupes de dégagements, le débroussaillage et le dépressage (Boudy, 1950 ; Anonyme, 1987 ; Guyon, 1998).

Par ailleurs, la subericulture se base sur deux pratiques espacées dans le temps; l'une le démasclage ou mise en valeur et l'autre la levée de liège (fig.6). En effet, le démasclage consiste à récolter le liège mâle une fois l'arbre atteint 60 à 70 cm de circonférence à 1,30 m du sol, ce qui correspond à un âge de 25 à 40 ans suivant les conditions de développement de l'arbre et avec un coefficient de démasclage variant entre 1et 1,5. Ce coefficient dépend de la fertilité des stations, l'état de végétation et de l'étage bioclimatique (Boudy, 1950 ; Guyon, 1998 ; Amandier, 2005 ; Arnaudies et Piazzetta, 2006 ; Soares et al., 2011). Cette opération est appliquée une seule fois dans la vie de l'arbre ; elle a pour but de fournir un autre type de liège d'une qualité améliorée dit «liège femelle » ou liège de « première production » (Boudy, 1952 ; Ben M'hamed, 2000 ; Bouhraoua, 2003 ; Pereira, 2007).



Figure 6 : Arbre de chêne liège récemment récolté à M'Sila (Gauche) et Hafir (Droite) (Photos Bouhraoua, 2005)

le **liège de reproduction** est de meilleure qualité que le précédent ; il est récoltable périodiquement, en période de pleine sève entre mi-mai en plaine et mi-juin en montagne et prend fin en août (fig.7) (Boudy, 1950 ; Natividade, 1956 ; Fonseca et Parresol, 2001 ; Costa et al., 2004 ; Pereira, 2007). La qualité de celui-ci s'améliore jusqu'à la quatrième récolte, puis elle baisse rapidement (Natividade, 1956 ; Ferreira et al., 2000 ; Pereira, 2007).

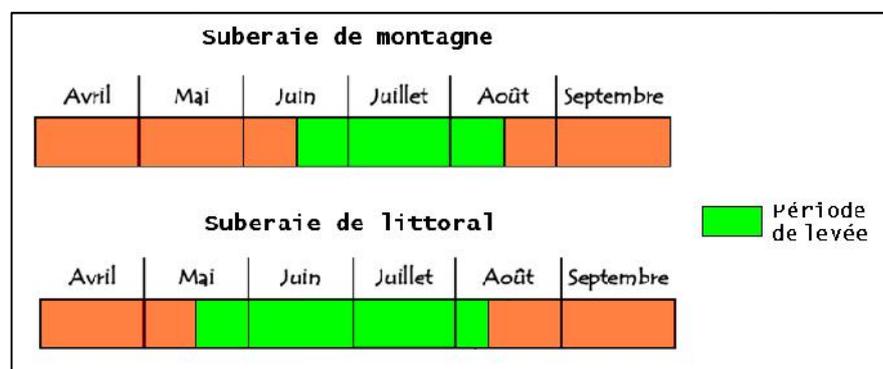


Figure 7: Période de récolte du liège de reproduction en Algérie (Dehane, 2006)

La récolte de liège est établie sur la base d'une rotation de 9 ans au Portugal, 12 ans en Tunisie et entre 12 à 13 ans en Espagne, Algérie, et Maroc. Elle est déterminée quand liège arrive à l'épaisseur commerciale de 27 mm au minimum (Boudy, 1950 ; Natividade, 1956 ; Costa et Oliveira, 2001 ; Ben Jaama et Nouiui, 2008 ; Ghalem, 2010 ; Dehane, 2012).

1.4- Importance du chêne liège et la suberaie

La suberaie joue depuis longtemps un rôle non seulement écologique, paysager et touristique, mais aussi économique et social. Le liège a été à l'origine d'une activité industrielle et commerciale très importantes (Goujon, 1962 ; Graça et al., 1985 ; Piazzetta et Lecomte, 2006 ; CIB, 2008). Ce produit ainsi que ses dérivés (bouchons et agglomérés) exportés vers le marché extérieur (USA, Australie, Japon, Nouvelle-Zélande, Europe, etc.) représentaient pour les pays producteurs une source non négligeable du revenu national. Un tissu industriel (unités de transformation) s'est donc installé dans chaque pays assurant l'emploi permanent de quelques milliers de personnes (Guyon, 1998; Douméne, 2004 ; Anonyme, 2006).

1.4.1- Importance écologique du chêne liège

Dans son aire naturelle, les forêts de chêne liège occupent une place bien particulière au sein de la forêt méditerranéenne (Amandier, 2002 ; Mery, 2002; Quezel et Médail, 2003). Elles sont la base d'un système écologique unique et original en abritant de nombreuses espèces animales (fig.8) et végétales (fig.9) en interaction et participent ainsi à maintenir une grande biodiversité (Chevallier, 2002 ; Bonnier, 2004 ; Abourouh et al., 2005). C'est l'ultime refuge d'une faune menacée de disparition comme le lynx ibérique, le cerf de berberie (en Algérie), le vautour moine, la cigogne noire et l'aigle impérial... (Benabid, 1989 ; IML, 2003 ; Rossello et Beltran, 2008).

Ces écosystèmes offrent des opportunités de développement aux régions économiquement défavorisées et jouent un rôle fondamental en matière de préservation de l'environnement, notamment au niveau des ressources en eau, la conservation du sol et la fixation du carbone (Amandier, 2002 ; Hammoudi, 2002 ; Laaribya, 2006). Elles peuvent jouer également un rôle important dans la lutte contre les incendies car elles sont des obstacles naturels à la propagation des feux notamment grâce à la mauvaise inflammabilité de l'écorce (Guyon, 1998 ; Benabid, 2000 ; Trabaud, 2001; Orfs et Vallauri, 2008 ; Bouisset et Puyo, 2009).



Figure 8: Quelques espèces animales menacées que l'on trouve en suberaie

<http://www.php.obs-banyuls.fr> (2016)



Figure 9: Quelques espèces végétales du sous bois de la suberaie

<http://www.php.obs-banyuls.fr> (2016)

1.4.2- Paysage et écotourisme

La forêt de chêne-liège appelée « Montado » au Portugal ou « dehesas » en Espagne, constitue un écosystème forestier méditerranéen spécifique, composée de zones de culture mixte et de grandes étendues de forêts de chênes lièges, entrecoupées d'arbrisseaux, de champs cultivés et de pâturages. Elle offre un paysage exceptionnel et un air frais aux promeneurs (Knapic et al., 2007 ; Pereira, 2007).

D'ailleurs, une suberaie claire surmontant un tapis rose de cistes offre au mois de mai un spectacle assez rare. Quand il s'agit du ciste de Montpellier, le tapis végétal se constelle de fleurs blanches (Varela, 2008). Le chêne-liège lui-même par son architecture propre contribue largement à l'esthétique de ces peuplements, surtout quand les arbres sont récemment démasclés, les troncs orangés (fig.6) offrant un paysage très beau et donne à ce lieu un aspect attractif au public et au tourisme (Ben M'hamed et al., 2002 ; Hammoudi, 2002).

Ces dernières années, les services des forêts encouragent les activités touristiques dans les parcs nationaux et les réserves naturelle qui ont pour but la conservation de la faune, de la flore et des paysages (FOSA, 2007).

1.4.3- Véritable stock du carbone

Les forêts de chênes lièges sont d'excellents puits à carbone. Le chêne-liège possède une structure cellulaire unique et très particulière, qui le rend capable d'absorber le dioxyde de carbone (CO₂) jusqu'à 30% de plus qu'un autre arbre (Amandier, 2002 ; Forgues, 2008). Bien que, son exploitation ait un impact positif au niveau de la fixation du carbone, un chêne-liège exploité, en renouvelant son écorce absorbe de 2,5 à 4 fois plus de CO₂ qu'un arbre non exploité. Alors qu'on estime que la forêt de chênes lièges fixe jusqu'à 14 millions de tonnes de CO₂ par an. Sa gestion durable peut stocker plus de 6 tonnes de CO₂/ha/an (Nsibi et al., 2005 ; Forgues, 2008).

À elles seules, les forêts de chênes lièges du Portugal absorbent 4,8 millions de tonnes de CO₂/an, soit 5 % des émissions du pays qui représente 32 % de la surface de chênes lièges dans le monde. En effet, une tonne de bouchons de liège retient, en moyenne 2 tonnes de CO₂ en un an (Rossello et Beltran, 2008).

Le carbone fixé par les chênes lièges est stocké dans le liège et dans les produits commercialisés. Il y reste pendant toute la durée de vie dans ces produits. Le recyclage retarde encore la réémission de ce carbone dans l'atmosphère (Varela, 2008 ; APCOR, 2009).

1.4.4- Importance sociale

La suberaie est un générateur de revenus à la population rurale permettant d'améliorer ses conditions de vie. Elle contribue à conserver une économie locale en permettant le maintien sur place d'une population rurale. Grâce aux travaux sylvicoles, les campagnes de récolte de liège et autres activités génératrices de revenus, elle permet la création d'emplois d'environ 100 000 personnes sur le pourtour méditerranéen. D'ailleurs, les pratiques d'agriculture, l'apiculture, le pâturage ont une importance cruciale, car ils contribuent à la préservation de l'environnement, au maintien de la faune et de la flore existante et assurent également le mode de vie des populations de ces zones. La pratique du pâturage dans la suberaie est assurée grâce à l'abondance du feuillage qui est très apprécié par le bétail notamment en période de disette (Ben M'hamed et al., 2002 ; Karem, 2008 ; Rossello et Beltran, 2008).

En plus, les suberaies produisent des champignons de qualité, notamment les truffes, des glands doux pour la consommation humaine, des lichens, du miel, des plantes aromatiques et médicinales et attirent par leur richesse cynégétique un nombre important de chasseurs de petit et gros gibiers. Toutes ces pratiques régulières contribuent fondamentalement à la durabilité écologique, économique et sociale des suberaies et permet l'amélioration des conditions de vie (Hammoudi, 2002 ; IML, 2003 ; Belabbes, 2004 ; Pointereau, 2006).

En Algérie, les unités de transformation du liège (publique et privée) procurent un emploi permanent de 1400 travailleurs saisonniers et permanents (Karem, 2008 ; Bouhraoua, 2013).

1.4.5- Importance économique des suberaies :

La grande importance économique des suberaies est dégagée de la grande variété des produits forestiers non ligneux (PFNL) issue de la suberaie tels que le liège, le fourrage, le miel, les champignons, les lichens, les glands, les plantes médicinales et tanins (Hammoudi, 2002 ; Abdendi, 2003 ; IML, 2003 ; Laaribya, 2006 ; Pointereau, 2006). Mais, de toutes ces activités est sans doute celle du liège qui valorise le plus les forêts de chêne-liège. Il constitue une ressource stratégique du fait de ses multiples usages (bouchonnerie, parquet, isolation thermique...etc), en apportant à ces formations végétales méditerranéennes une certaine rentabilité d'un point de vue économique, sociale et environnementale (Vilar, 1934 ; Normandin, 1979 ; Goujon, 1962 ; Orfs et Vallauri, 2008 ; Varela, 2008).

Toutefois, la récolte du liège est une activité économique de premier ordre dans les suberaies, en tenant compte d'une grande quantité de main d'œuvre et en fixant une population stable dans l'environnement des suberaies. Cette activité est directement liée à la capacité quantitative et qualitative des surfaces de chêne liège arrivant à exploitation. La récolte subit

des fluctuations importantes, d'une année sur l'autre, créant du même coup de sérieux problèmes d'approvisionnement des industries (Aracil, 2008 ; Orfs et Vallauri, 2008 ; APCOR, 2010).

La consommation actuelle des pays du Maghreb en produits de liège est faible, et la majorité de la production est exportée, principalement sous forme de produits finis et semi-fini.

Le liège se destine principalement à l'industrie des bouchons, qui absorbe à elle celle 70 %, suivi par le secteur de construction (bâtiment) qui consomme 15% des produits en liège granulé pour l'isolation, les parquets... (Varela, 2004 ; Aracil, 2008 ; Orfs et Vallauri, 2008 ; Rossello et Beltran, 2008). Toutefois, le liège sert aussi à de multiples autres produits pour l'isolation, la mécanique (pièces automobiles). C'est une ressource naturelle et renouvelable (Berrahmouni, 2009)

- Il est utilisé dans la décoration, murs, sols, plafonds,
- Dans la confection et la maroquinerie : vêtements, portefeuilles, sac, nécessaires de bureau, etc. Dans la musique, ses qualités d'isolant acoustique sont intéressantes pour éliminer les bruits parasites notamment des instruments à vent tels que hautbois, clarinette, saxophone, etc.
- Dans l'industrie du froid : il est employé pour la construction des chambres froides, l'isolement des bacs réfrigérés, comme couvre-tubes.
- Dans les activités de loisirs : il sert pour les manches de cannes à pêche, flotteurs, différents types de balles, raquettes de tennis de table, cibles des jeux de fléchettes, bourres des cartouches, jouets, gadgets, tableaux pense-bêtes, plateaux, dessous de plats.
- Dans les industries automobile, électrique, ingénierie et aéronautique : il est souvent utilisé pour ses propriétés d'isolant et pour sa forte résistance à la chaleur (capacité à retarder l'entrée en feu).
- L'exemple le plus étonnant dans ce domaine, est son utilisation comme bouclier de protection sur les navettes spatiales afin de les protéger contre la température élevée provoquée par le frottement, quand la fusée rentre dans l'atmosphère.
- l'artisanat : fabrication de nombreux articles.

1.5- Production du liège

La production mondiale de liège atteint annuellement des valeurs proches des 300 milles tonnes par an ; 52% est de provenance portugaise ce qui le place comme leader du secteur entre les principaux pays producteurs (Douméne, 2004 ; Anonyme, 2006). L'Algérie occupe le troisième rang des pays producteurs de liège avec 5% de la production mondiale (tab. 2), mais loin derrière le Portugal (52%) et l'Espagne (29%) (Douméne, 2004 ; FOSA, 2007 ; Aracil, 2008 ; Ben Jamâa et Nouiui, 2008 ; APCOR, 2009).

Tableau 2: Production moyenne annuelle mondiale (APCOR, 2009)

Pays	Production moyenne annuelle (ton)	Pourcentage
Portugal	157,000	52,5
Espagne	88,400	29,5
Italie	17,000	5,5
Algérie	15,000	5,2
Maroc	11,000	3,7
Tunisie	7,500	2,5
France	3,400	1,1
Total	299,300	100

1.5.1- En Algérie

Pendant la période coloniale, l'Algérie était le second producteur de liège après le Portugal, où elle était le premier exportateur de liège vers l'Europe, avec une production moyenne de 350 000 à 450 000 qx/an. Toutefois, cette production a subi de graves fluctuations en raison des causes de nature historique (Anonyme, 1946 ; Chenel, 1951).

Après l'indépendance, la production du liège a ainsi connu de fortes fluctuations annuelles, avec une nette tendance régressive, surtout durant la dernière décennie.

En effet, pendant les années 1980 la production a baissé pour atteindre environ 20 000 à 25 000 tonnes de liège par an, en occupant le 3^{ème} rang des pays producteur après l'Espagne avec 16% de la production mondiale. Cette baisse de production a continué durant les années 1990 avec une moyenne de 15.000 tonnes à cause de plusieurs contraintes suite de la conjoncture sécuritaire qu'a connue l'Algérie durant la décennie noire (Berrahmouni, 2009).

Ces dernières années, l'Algérie a perdu sa place pour se retrouver en bas de la liste, avec une production estimée au dessous de 100 000 qx/an. L'an dernier (2015) la production algérienne n'a pas dépassé les 60 000 quintaux ce qui représente 4% de la production mondiale. Elle englobe le liège de reproduction en plaque (60%), liège mâle en plaque (15 %) et liège en morceaux (25 %) (FOSA, 2007 ; Berrahmouni, 2009 ; DGF, 2016).

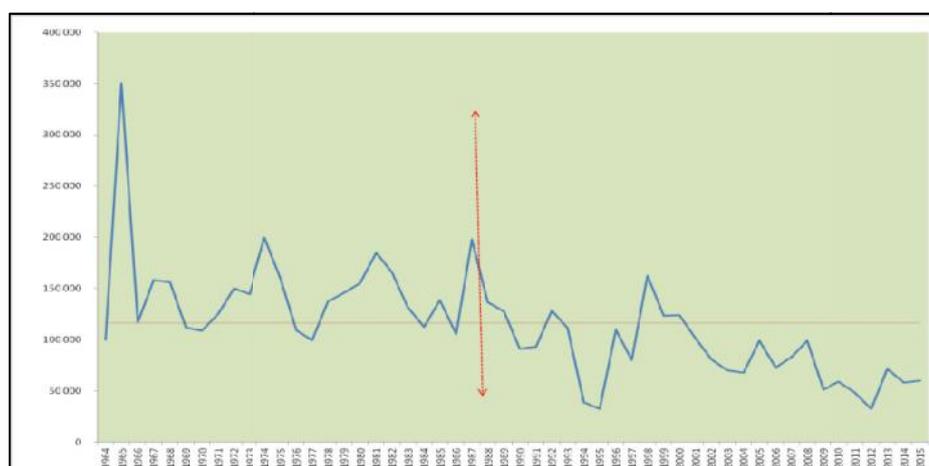


Figure 10 : Fluctuation annuelle de la production du liège en Algérie (qx) (1964-2015) (DGF, 2016)

D'après les statistiques de la figure 6, nous constatons que la production annuelle de liège n'est pas stable. Elle est très faible, ce qui ne couvre même pas la moitié des besoins des usines de transformation du liège installés sur le territoire algérien. D'ailleurs, la grande partie est achetée par la Société Nationale des Lièges qui transforme et commercialise la production à côté d'autres industriels nouvellement installés (Karem, 2008).

Cependant, il est possible d'augmenter sensiblement les surfaces de liège exploitées en améliorant les conditions d'accès à certains massifs ce qui provoque une augmentation annuelle de la production de liège (FOSA, 2007).

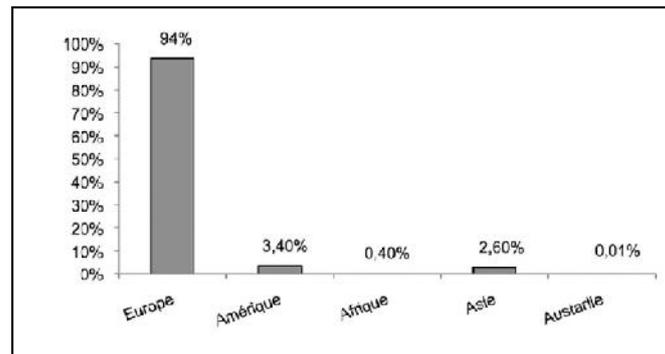


Figure 11 : Répartition des exportations algériennes de liège par continent (1998-2008) (Dehane et al., 2013)

Actuellement, les professionnels de la filière estiment que le pourcentage de liège algérien destiné à l'exportation s'élève à 50% du total de la production (Dehane al., 2013). Les principaux pays destinataires sont l'Europe (Italie, France, Espagne et le Portugal) pour les bouchons naturels. Tandis que pour les ouvrages en liège il en a moins de 12 destinations. Enfin, pour le liège aggloméré, il y a une seule destination à savoir la Russie (Dehane al., 2013).

Le liège a une faible importance sur les Produits Intérieurs Bruts (PIB) en Algérie. Il participe avec un montant global de 1550 million DA soit 0,5% de chiffre d'affaire du PIB du pays en 2009, tandis qu'en Portugal le liège contribue avec un montant de 698,3 millions d'euros soit 0,7% du PIB Portugais (FOSA, 2007 ; Soares et al., 2011 ; Bouhraoua, 2013).

1.5.2- L'industrie de transformation du liège

L'industrie de transformation du liège est une industrie compatible avec l'environnement grâce à la possibilité de recyclage des bouchons de liège. Les déchets de liège sont broyés pour former des granulés qui seront ensuite agglomérés sous pression par collage ou grâce à l'addition d'élastomère. Le liège aggloméré peut être proposé sous forme de feuilles ou de rouleaux encore transformables ou directement sous forme de produits finis (Garolera, 1988 ; Chatonnet et Labadie, 2003 ; Quelenis, 2008).

Au Portugal, il y a environ 700 usines qui opèrent dans le secteur du liège, assurant une production de près de 40 millions de bouchons par jour (35 millions de ces bouchons fabriqués dans le nord du Pays) et qui emploient environ 10 000 ouvriers (Anonyme, 2006 ;

CIB, 2008). Tandis qu'en Algérie, le secteur du liège emploie chaque année plus de 3 000 travailleurs saisonniers durant la campagne de récolte de liège, de juin à septembre et emploie près de 1 000 travailleurs annuellement au niveau du secteur de la transformation (emplois permanents) (FOSA, 2007).

) En Algérie

L'industrie de transformation du liège en Algérie prend son essor à partir de 1920, par l'installation d'environ 80 ateliers situés à proximité des forêts et employait 4 000 ouvriers, grâce à la motivation et l'orientation des investisseurs français vers l'installation d'une assise industrielle pour palier la dominance Portugaise et Espagnole (Anonyme, 1946 ; Dehane et al., 2013). Pendant la période coloniale, il existait environ 100 entreprises industrielles regroupant 5 000 personnes. Chaque année, la bouchonnerie algérienne a fabriqué 30 000 qx de liège ouvré. Durant la 1^{ère} guerre mondiale, les exportations du liège sont chutées vers 17 000 qx durant l'année 1919, et la production des agglomérés a atteint 12 000 m³.

En effet, durant cette époque, plus de 2/3 de la production annuelle du liège est exporté vers la France et le reste vers d'autres pays consommateurs et producteurs tels que l'Italie, l'Allemagne, la Hongrie, le Danemark, l'Amérique, l'Angleterre et le Japon (Chenel, 1951).

Après l'indépendance, l'industrie du liège était quasi exclusivement du ressort de la Société Nationale des Lièges (SNL). En 1972, cette société est fusionnée avec la société nationale du bois et devient SNLB. A partir de 1982, suite à la restructuration des entreprises étatiques, cette société a été démembré en donnant naissance à l'entreprise nationale du liège (ENL) ayant repris les activités de l'Ex SNLB.

Actuellement, l'Entreprise Nationale des Lièges (ENL) entreprise publique économique, créée au début des années 80, a repris les activités de l'ex SNLB. L'ENL compte 7 unités situées dans l'Est du pays, d'Alger à Annaba. Ces unités utilisent environ 8 200 tonnes de liège par an. Tandis que dans l'ouest algérien on notait la présence d'une quinzaine d'artisans bouchonneurs privés de taille relativement modeste.

La taille de l'ENL devrait lui permettre en outre de renforcer son poids en matière commerciale à l'exportation et de financer une part appréciable de recherche de marché et de nouveaux produits. Malheureusement, les unités de transformation de l'ENL ne tournent qu'à 50% de leur capacité théorique (30 000 t/an), les bouchonneries ne tournent qu'à 30% de leur capacité théorique par manque de matière première de qualité suffisante d'une part et le manque d'évolution dans les moyens de manutention et de transferts mécanisés dans les chaînes de fabrication d'autre part.

L'ENL utilisant des moyens de transformation incomparables à ceux des pays voisins (Portugal, Espagne, Italie, Maroc) avec un rendement très inférieur à la demande du marché mondial en termes de qualité et de quantité. Aux côtés d'installations modernes, continuent de coexister d'autres trop vétustes et donc source d'arrêts fréquents. Il y a lieu d'ajouter la faiblesse d'approvisionnement de ces unités en produit liège brut (FOSA, 2007).

A cause des contraintes administratives, l'ENL s'est orientée vers des entreprises publiques SAFA et Emifor. Actuellement, le nombre des employés est de 700 personnes et les usines ne tournent qu'à niveau très faible par l'absence de la matière première (Kouba, 2005 ; FOSA, 2007).

Parmi les industriels bouchonniers privés présents dans le territoire national, il faut bien évidemment citer l'entreprise SIBL, située à Jijel, qui malgré des difficultés économiques reste une vitrine pour les produits en liège notamment en termes d'innovation technologique. Nous citons ainsi la Sarl El Wiam de la petite Kabylie qui est leader sur le marché mais sa production a baissé ces dernières années. Cette entreprise a employé jusqu'à ces dernières années pas moins de 150 personnes. Mais à cause de la crise de matière première, le nombre a diminué jusqu'au 70 ouvriers.

Nous évoquons ainsi les principales entreprises spécialisées dans la fabrication du liège et produits en liège pour isolation, de bouchons haut de gamme et pratiquent un effort certain en terme de traçabilité du liège ; Zaimen cork Jijel, Afrique Etanche, Sarl Inter technique, Equipement Haddad, Eurl Ite Bordj El Kiffan, Batifix, Sarl Tlemcen, Société Travaux d'Etanchéité et commercialisation, Sarl SOTECO Birkhadem, Spa Béjaia, Etanchéité Jijel.

1.5.3- Les difficultés et les contraintes des entreprises de secteur

L'industrie de transformation du liège est rentable à plus d'un titre, mais l'indispensabilité de la matière première (liège brut) en quantité suffisante, sa qualité médiocre constitue le principal handicap de développement pour ce secteur dans les pays producteurs (Rossello et Beltran, 2008 ; Ghalem et al., 2016). Cependant, le secteur privé plus souple et adaptable résiste un peu mieux à l'effondrement de la production et reprend plus aisément.

Le secteur de liège algérien est globalement en perte de vitesse et souffre d'une régression rapide depuis le début des années 1990. Cette régression est à cause de la combinaison de plusieurs contraintes à savoir ; les fortes répercussions des événements politiques sur la forêt, la structure financière désastreuse des entreprises, l'absence d'autonomie des filiales, manque d'ouverture sur l'environnement extérieur, manque de compétences technologiques (formation), les non qualification de la main d'œuvre utilisée durant la récolte...(Kouba, 2005 ; FOSA, 2007 ; Messaoudène et Merouani, 2009).

En effet, parmi les principales difficultés du secteur de transformation du liège nous citons :

- le vieillissement des peuplements et la dégradation sanitaire incessante de la majorité des suberaies dans le monde y compris l'Algérie et la réduction de leur superficie,
- beaucoup d'unités ont disparu à cause de la pénurie en matière première liège, et ce qui reste fonctionne avec une capacité inférieure sans pouvoir recourir aux importations de liège brut (Ouelmouhoub, 2005 ; FOSA, 2007 ; Ben Jamâa et Nouiui, 2008).
- l'exploitation des suberaies avec un système de gestion efficace, pourrait permettre un approvisionnement continu et suffisant en matière liège brut ce qui suppose une stratégie logique conforme à la réalité du terrain (Kouba, 2005 ; Letreuch-Belarouci, 2010).

CHAPITRE II

Qualité et propriétés technologiques du liège

Le mot *suber* signifie le liège ; il est d'origine grec « *phellos* » qui signifie flotter (flottabilité) et du latin « *levis* » qui signifie léger, donc la légèreté et la flottabilité sont des propriétés principales du liège (Alcaraz, 1989 ; Boudy, 1950 ; Natividade, 1956). En Afrique du Nord, il est désigné depuis longtemps sous les noms ; *Fersi*, *Fernan* ou *Chouber*.

C'est un tissu végétal revêtu l'écorce du chêne liège (*Quercus suber*.L). Vers l'extérieur, il constitue une couche protectrice par excellence des parties internes vivantes de l'arbre contre toutes les agressions externes (attaques parasitaires, incendies...) (Boudy, 1950 ; Amandier, 2004 ; Arnaudies et piazzetta, 2006).

2.1- Formation du liège

Une coupe transversale du tronc de chêne liège, montre la distinction de trois zones concentriques (fig.12): le bois, le liber et le liège (Amandier, 2004 ; Prat, 2005 ; FFSL, 2006). Entre le bois (xylème) et le liber (phloème) se trouve une assise génératrice interne appelée cambium ou l'assise libéro-ligneuse. Elle est formée de cellules fines, aplaties, possédant la capacité de produire un tissu végétal. Le cambium produit à la fois des cellules ligneuses vers l'intérieur et des cellules libériennes vers l'extérieur (Demartin, 1974 ; Detienne, 1988 ; Prat, 2005). Le phloème est le principal vaisseau conducteur de la sève élaboré. Alors que, pendant la période de croissance, il est limité à un seul périderme qui fonctionne (Saccardy, 1937 ; Boudy, 1950 ; Natividade, 1956)

La croissance en diamètre de la tige de chêne liège est assurée ainsi par une deuxième assise génératrice dite subéro-phéllodermique ou la mère. Celle-ci produit du phelloderme vers l'intérieur et du suber vers l'extérieur (Boudy, 1950 ; Vignes, 1990 ; Rosa et al., 1994 ; Caritat et al., 1996 ; Pereira, 2007 ; CIB, 2008 ; Quelenis, 2008).

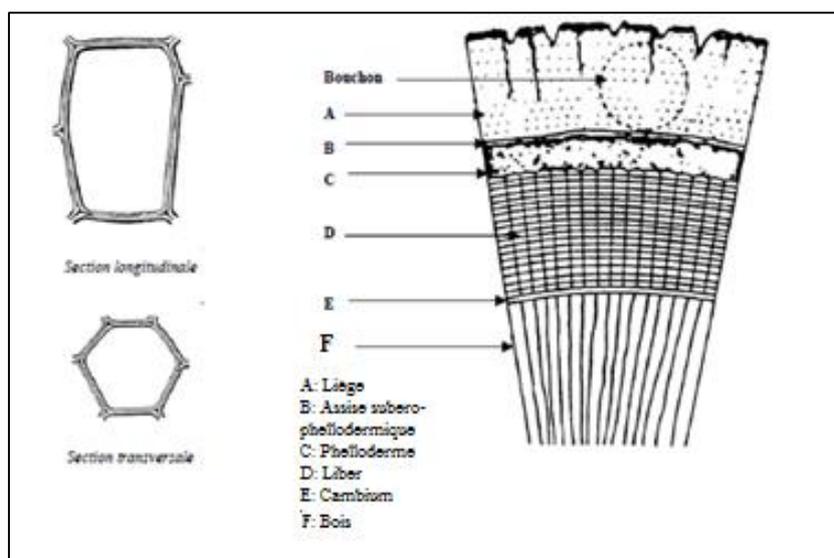


Figure 12 : Représentation schématique d'une coupe transversale d'un tronc de chêne liège (FFSL, 2006)

2.2- L'assise subero-phellodermique

Le phellogène ou l'assise subero-phéllodermique représente la partie vivante de l'arbre, c'est une assise génératrice permanente responsable de la formation du liège proprement dit (Boudy, 1952). Elle est composée d'un seul type de cellules jeunes, rectangulaires dans la section transversale, plats dans le sens radial et polygonales dans le sens tangentiel (Pereira et al., 1987 ; Caritat et al., 2000 ; Costa et al., 2002 ; Graça et Pereira, 2004). Le phellogène est caractérisé par la division cellulaire de ces cellules qui se coïncident au cycle physiologique de l'arbre et les facteurs externes influençant (Saccardy, 1937 ; Natividade, 1956 ; Caritat et al., 1996 ; Costa et al., 2002).

Chaque cellule du phellogène produit 20 à 100 cellules de liège par année ce qui correspond à une épaisseur de 2 à 5 cm. En revanche, ce rythme de croissance est souvent influencé par les conditions climatiques des régions et des stations de production, les attaques parasitaires, etc (Pereira et al., 1987).

Le phellogène ou la mère apparaît 25 à 35 jours après le démasclage, grâce à l'activité du phloème qui se divise et commence à produire une nouvelle assise génératrice plus mince que la première (fig.13). Cette nouvelle mère est responsable de la formation d'une nouvelle couche du liège. D'ailleurs, l'épaisseur de la mère diminue de récolte en récolte, et par conséquent l'épaisseur de la croûte (Boudy, 1950 ; Natividade, 1956).

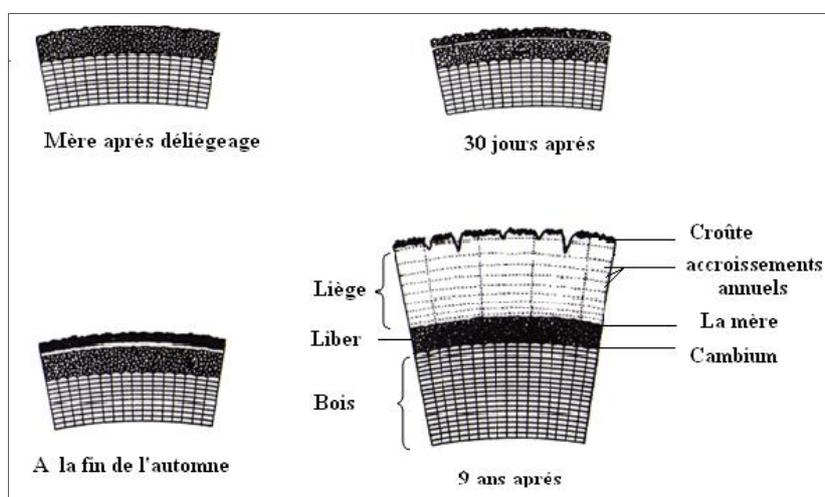


Figure 13: Représentation schématique de la formation du liège (Natividade, 1956)

Après la récolte du liège, une grande partie des substances de réserves et de tanins émigrent de la surface vers le voisinage immédiat du liber actif. Avec le temps et par l'action des précipitations et l'oxydation, les tissus périphériques se dessèchent formant une mince couche protectrice dite la croûte. Sa couleur varie de clair ou rose au début jusqu'à atteindre une nuance vermeille noirâtre quelque mois plus tard (fig.14) (Natividade, 1956).



Figure 14: Variation de la couleur de la surface du tronc du chêne-liège après écorçage à M'Sila : (de gauche à droite : juste après la récolte- après 2 mois- après 1 an- 2 ans-3ans- 9 an) (Photo Bouhraoua in Ghalem (2010))

2.3- Les types de liège

L'arbre du chêne liège produit deux types de liège : le liège mâle ; une seule fois dans sa vie et le liège femelle ou de reproduction qui s'améliore d'une exploitation à une autre (fig.15) :

2.3.1- Le liège mâle

C'est l'enveloppe originelle du tronc, branches et des racines non enterrées du chêne liège. L'écorce ne prend son aspect liégeux qu'à partir de la 2^{ème} ou la 3^{ème} année et elle guidera toute la vie de l'arbre du chêne liège si on ne le levait pas (Boudy, 1950). Cette écorce est dite, liège mâle ou naturel ou vierge (Natividade, 1956 ; Margot, 2006). Il est impropre à toutes utilisations industrielles, sauf à la trituration pour la fabrication des panneaux d'isolation, car il est trop crevassé, dur, lourd, hétérogène, compact et moins élastique (Boudy, 1952 ; Natividade, 1956 ; Vignes, 1990).

L'opération de récolte du liège vierge est appelée « démasclage » ou « mise en valeur ». Elle est effectuée sur des sujets âgés de 25 à 40 ans, ce qui correspond à une circonférence de 60 à 70 cm. Cette opération est appliquée une seule fois dans la vie de l'arbre, elle a pour but de fournir un autre type de liège d'une qualité améliorée dit « liège de reproduction » (Boudy, 1952 ; Ben M'Hamed, 2000 ; Bouhraoua, 2003).

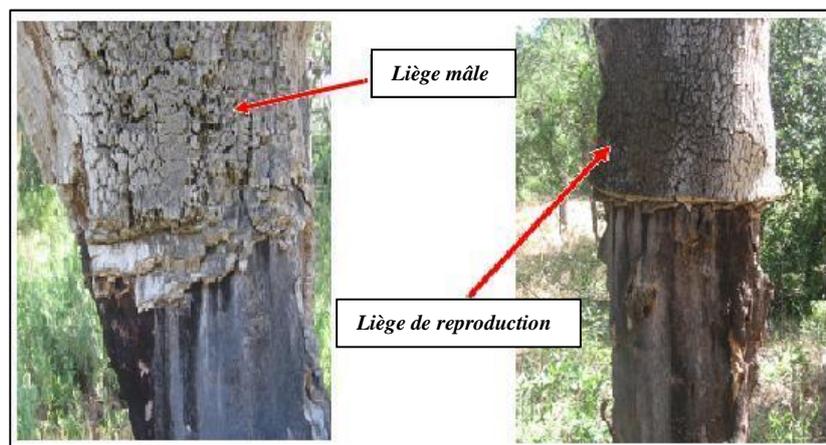


Figure 15: Aspect naturel d'un liège mâle et femelle (Ghalem, 2010)

2.3.2- Le liège de reproduction

Après la mise en valeur de l'arbre, une 2^{ème} couche plus fine et plus souple se produit grâce à la régénération du phellogène. Elle est appelée liège femelle ou liège de reproduction (Boudy, 1950 ; Natividade, 1956 ; Ben M'hamed, 2000).

Le liège de reproduction est caractérisé par une structure analogue à celle du liège mâle, mais ses propriétés vont en s'améliorant à partir de la 3^{ème} récolte (Boudy, 1950 ; Natividade, 1956). Son écorce est moins crevassée d'une couleur grise, très recherchée dans plusieurs domaines industriels, grâce à sa souplesse, élasticité, imperméabilité, inductibilité thermique et acoustique (Boudy, 1950 ; Natividade, 1956 ; Lombardini et al., 2005 ; Arnaudies et Piazzetta, 2006 ; Varela, 2008).

Alors que, le liège de reproduction est récolté périodiquement de l'arbre dès qu'il atteint 27-30 mm ce qui correspond à l'épaisseur commerciale. Pour cela, plusieurs opérations de récolte peuvent être effectuées sur le même arbre, estimée en moyenne de 6 à 9 récoltes voire 15 récoltes au maximum (Natividade, 1956 ; Caritat et al., 2000 ; Costa et Oliveira, 2001 ; Arnaudies et Piazzetta, 2006).

2.4- La structure anatomique du liège

Le liège est le premier tissu végétal observé par microscope entre 1635-1703 par Robert Hooke. Dans les années 80, des coupes manuelles du liège établies par Leeuwenhoek en 1674 ont été trouvées et demeurent encore fiables pour des observations microscopiques (Pereira et al., 1987). D'ailleurs, l'anatomie du liège est utilisée depuis longtemps par les anatomistes comme base de l'anatomie végétale et du bois (Pereira et al., 1987 ; Pereira et al., 1992).

En effet, l'étude microscopique du liège nécessite de savoir les directions et les sections des planches du liège à analyser à savoir la section radiale qui suit les rayons de l'arbre, transversale qui suit l'axe de l'arbre ou tangentielle qui se trouve tangente à la circonférence de l'arbre (fig.16) (Pereira et al., 1987 ; Fortes, 2004).

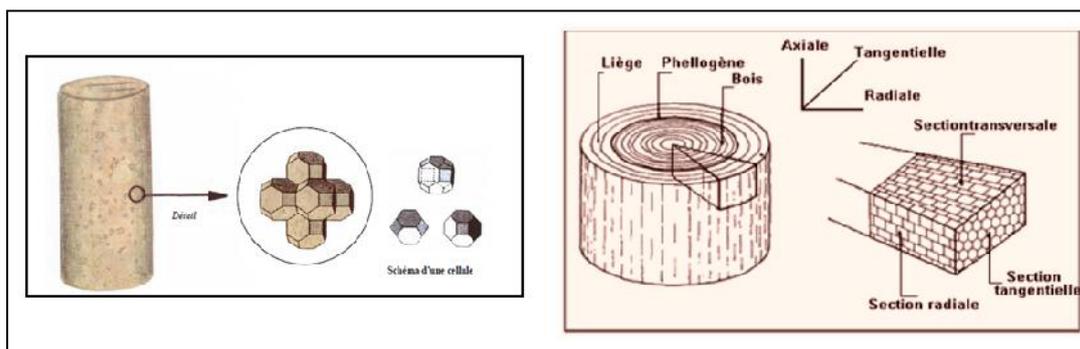


Figure 16 : Nomenclature de la description spatiale des directions et sections du liège (Fortes, 2004 ; FFSL, 2006)

Le tissu de liège est caractérisé par une structure régulière ; il est formé d'un ensemble de cellules mortes, essentiellement composées de matières gazeuses qui se forme à partir d'une seule couche des cellules de phellogène, qui se croit dans un seul sens vers l'extérieur de l'arbre (Natividade, 1956 ; Pereira et al., 1987 ; Pereira, 2007). Ces cellules sont très homogènes et bien soudées les unes aux autres dans des colonnes orientées parallèlement à la direction radiale (fig.17), donc il n'y a pas de canaux de communication de cellule à cellule d'où les cellules sont empilées sans vides intercellulaire (sans méats) (Natividade, 1956 ; Pereira et al., 1987 ; Rosa et al., 1994 ; Pereira, 2007).

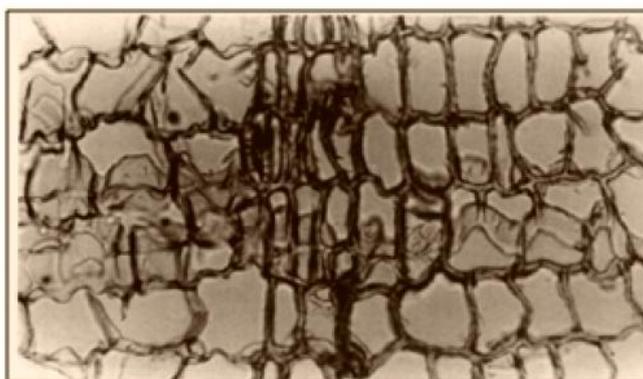


Figure 17 : Limite d'un cerne de liège, liège d'automne (à droite) et liège de printemps (à gauche) (Fortes, 2004)

2.4.1 - Les discontinuités

L'arrangement régulier des cellules du liège est perturbé à cause des discontinuités, qui interrompent l'homogénéité du tissu dans quelques étendues. Ces discontinuités sont d'origine biologique (naturelle) dans la majorité des cas. Ce type de discontinuité s'associe à la formation du liège et l'activité du phellogène et la présence des canaux lenticulaires. Dans d'autres cas elle peut être due aux facteurs externes tels que sécheresse et accidentellement elle peut être groupée en concept « défaut ».

L'abondance de ces discontinuités dans le tissu du liège influe les différentes propriétés du liège et la performance d'utilisation. Elles sont liées aux qualités macroscopiques du liège qui influe la valeur commerciale et la qualité du liège (Pereira, 2007 ; Varela, 2008).

2.4.2- Cellules de liège

95% des cellules de liège ont la forme des prismes polygonaux ou hexagonaux empilés l'une à l'autre formant un rang dans des colonnes orientées parallèles à la direction radiale (Pereira et al., 1987). Dans le même rang, les prismes ont des bases de même dimension mais la taille varie d'une cellule à une autre, à cause du rythme physiologique de l'arbre qui influe sur la formation des accroissements annuels (fig.18)

Dans la structure idéale, chaque cellule du liège se contacte avec 14 cellules, donc chaque cellule du liège a 14 faces, dont 8 faces limitées par 6 bordures (hexagonale) et 6 faces par 4 bordures (polygonale) ; la direction d'élongation est radiale construisant des lignes arrangées parallèlement (Natividade, 1950 ; Fortes, 1986 ; Pereira et al.,1992 ; Fortes, 2004).

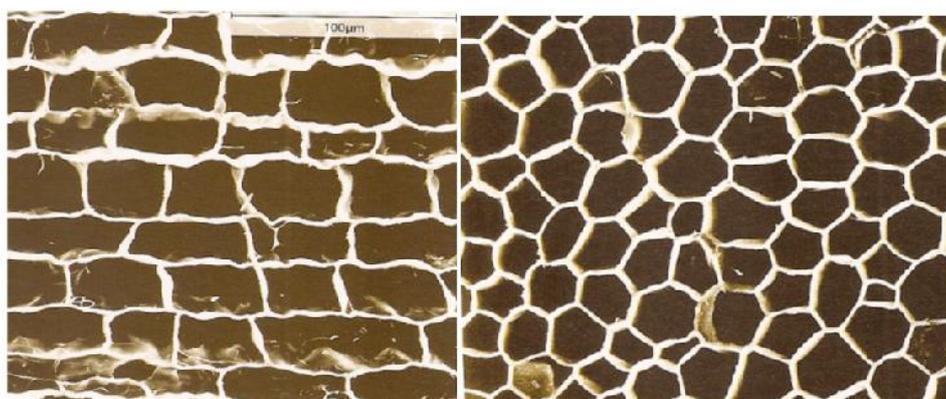


Figure 18: Image microscopiques des cellules du liège de reproduction (a gauche ; section transversale adroite : section tangentielle) (Pereira et al., 1987)

En effet, les dimensions générales des cellules du liège sont identiques à celles des cellules végétales. En moyenne, la hauteur ne dépasse pas les 40 à 50 μm et les plus petites cellules mesurent 10 à 20 μm , l'épaisseur de la paroi cellulaire varie de 1 à 3 μm avec 2 à 3 ondulations, les bordures de base sont d'ordre 20 μm (Saccardy, 1937 ; Pereira, 2007).

Les dimensions des cellules de liège sont très variées dans le même échantillon et entre les échantillons (Pereira et al., 1987). Cette variation est due à plusieurs facteurs tel que le rythme de croissance saisonnier de l'arbre qui est plus élevé en printemps ce qui donne des cellules larges à paroi mince tandis que les cellules du liège d'automne sont plus petites à paroi épaisse à cause de faible activité du phellogène. Ceci explique la différence de taille des cellules dans le même accroissement annuel. La hauteur du prisme varie de 30 μm pour liège de printemps à 10 μm pour liège d'automne (tab.3) (Natividade, 1956 ; Ferreira et al., 2000; Costa et al.,2003 ; Pereira, 2007).

Tableau 3: les caractéristiques générales de la structure du liège (Pereira et al., 1987)

Liège	Composantes naturels
Types de cellules	Ferme sans vide intercellulaire

Nombre moyen des faces par prisme	14
La forme individuelle des cellules	Prisme hexagonale
Épaisseur des cellules	1-1,5 μm
Dimensions des cellules larges	40 μm
Dimensions des petites cellules	20 μm
Dimensions moyennes des cellules	30 μm
Autres caractères spécifiques	Apparition des accroissements annuels et les canaux lenticulaires

En effet, le nombre moyen des cellules varie de 40 à 200 cellules par accroissement ce qui correspond à $4-7 \times 10^7$ par cm^3 (Pereira et al., 1987 ; Gibson et Ashby, 1988 ; Pereira et al., 1992 ; Caritat et al., 1996 ; Costa et al., 2002). Vers la fin de la saison de la croissance, la division cellulaire décroît avec la diminution de l'activité du phellogène, ce qui résulte la formation de quelques cellules de petites tailles à paroi épaisse dont le nombre moyen varie de 10×10^7 à 20×10^7 par cm^3 dans chaque accroissement annuel (tab.4) (Pereira et al., 1987; Amandier, 2004 ; Pereira, 2007).

Tableau 4: Les caractéristiques dimensionnelles des cellules de liège (Pereira et al., 1987)

Caractéristiques	Liège de printemps	Liège d'automne
La hauteur du prisme	30-40 μm	10 – 15 μm
La base du prisme	13 – 15 μm	13 – 15 μm
Superficie moyenne de la base	$4-6 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$	$4-6 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$
L'épaisseur des parois	1 – 1,5 μm	2-3 μm
Nombre de cellules /cm^3	De 4×10^7 à 7×10^7	De 10×10^7 à 20×10^7

2.4.3- les parois cellulaires

Les parois cellulaires des cellules du liège sont minces et creux, dont la plus importante caractéristique est l'ondulation des parois latérales. Ces ondulations varient de 2 à 3 ondulations par face dans chaque cellule, tandis que celles de la base sont un peu ridées (légèrement ondulées) mais la majorité sont planes (Gibson et al., 1981 ; Pereira et al., 1987 ; Rosa et Fortes, 1988 ; Pereira et al., 1992 ; Pereira, 2008). La non rectitude des parois latérales est le résultat de la compression de ces parois flexibles lors du stress de croissance radiale de l'arbre. Plus précisément, ce sont les nouvelles cellules du liège qui poussent davantage ces cellules déjà formées à provoquer ce qu'on appelle « le bouclage des parois latérales » (Pereira et al., 1987 ; Fortes, 2004).

En effet, les parois cellulaires sont plus fines dans les cellules printanières et celles formées au début d'été, leur épaisseur varie de 1 à 1,25 μm ; elles sont très ondulées. Tandis que, les cellules du liège d'automne présentent peu d'ondulations à cause de la rigidité de ces parois qui sont plus épaisses que celles de printemps 2 à 3 μm (fig.19) (Boudy, 1950 ; Natividade, 1956 ; Abbou, 2008).

Par ailleurs, beaucoup des propriétés de liège découlent des ondulations de ces parois cellulaires qui résultent de la force de compression exercée par les nouvelles cellules de liège lors de la croissance radiales de l'arbre (Natividade, 1956 ; Rosa et al., 1990 ; Rosa, 1993).

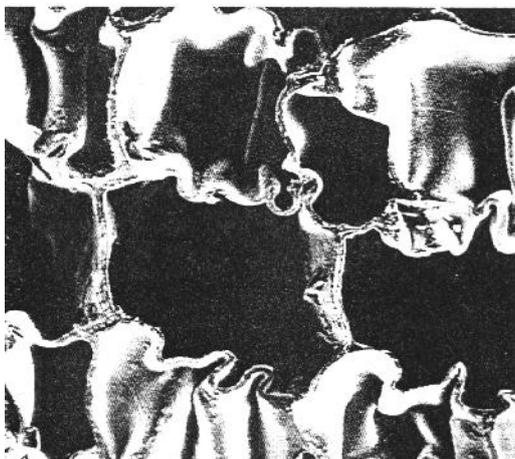


Figure 19 : Ondulation des parois cellulaires du liège (Moreira da Silva, 2010)

2.5- Les caractéristiques macroscopiques du liège de reproduction

2.5.1- Les accroissements du liège

L'aspect visuel d'une section transversale du tronc est caractérisé par la présence des couches concentriques annuelles s'appellent « cernes » ou « accroissements annuels ». Chaque cerne représente une année dans la vie de l'arbre (Detienne, 1988 ; Vivas, 1995).

Les accroissements annuels du liège sont formés par l'assise suberophellodermique, vers l'extérieur de l'arbre au cours de la période végétative. En générale, le cycle végétatif complet de production du liège s'étend sur une période de 6 mois environ. Il va du fin mars-début avril jusqu'au mois d'octobre-début novembre (Natividade, 1956 ; Caritat et al., 2000). Cette tendance saisonnière de la croissance est affectée ainsi par l'âge de l'arbre.

Dans les sections transversales et radiales de liège, les accroissements annuels sont visibles avec limites des cernes marquées par une couche sombre des cellules de liège produit à la fin de la saison de croissance annuelle. Cette couche est suivie par une couche claire formée des cellules précoce de liège léger formées au printemps et début de l'été (fig.20) (Graça et Pereira, 2004 ; Pereira, 2007).

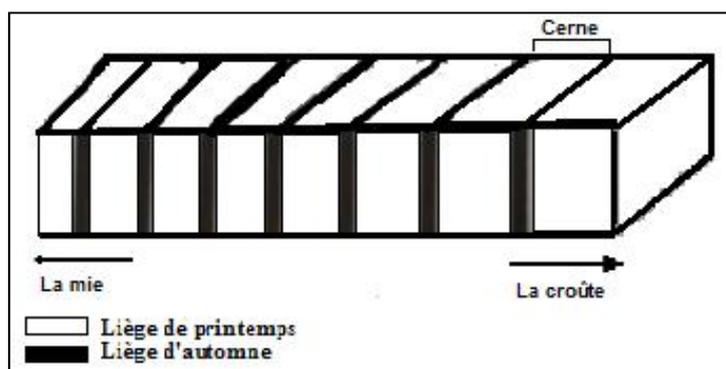


Figure 20: Schéma représentatif des accroissements annuels du liège (Pereira, 2007)

Les accroissements du liège mâle sont sensiblement plus faibles que ceux du liège de reproduction, ne dépassant guère 1 mm/an (Boudy, 1950).

Selon Costa et Oliveira (2001) ; Costa et al. (2002) et Dehane (2006), la production annuelle du liège se divise en quatre phases successives variant selon la région:

- Phase printanière : elle débute de mi-mars ou début-avril jusqu'au fin-mai, se caractérise par une grande activité du phellogène,
- Phase estivale : elle s'étale de juin à mi-août, caractérisée par une croissance lente,
- Phase automnale : elle s'étale de fin août-début septembre jusqu'à la fin octobre, elle est ainsi caractérisée par une croissance lente,
- Phase de repos : elle s'étale de novembre à mi-mars, caractérisée par l'arrêt de l'activité du phellogène.

2.5.2- L'âge du liège

A côté de la croûte, on trouve la première couche subéreuse qui correspond à l'accroissement réalisé depuis la régénération du phellogène jusqu'au fin d'automne ce qui correspond à une demi année de croissance ; cette 1^{ère} couche s'appelle demi-accroissement (Natividade, 1956). La même considération est faite pour la dernière couche du liège qui est le résultat de l'activité du phellogène depuis le printemps jusqu'au moment où la planche a été levée. En effet ces deux demi-accroissements sont considérés comme une unique couche annuelle (Natividade, 1956 ; Gonzalez-Adrados et al., 2000 ; Benkirane et al., 1998 ; Pereira 2007)

D'ailleurs, l'âge du liège est la somme des accroissements complets plus 1 qui correspond aux deux accroissements incomplets (1^{er} et le dernier accroissement) (Natividade, 1956 ; Canellas et Montero, 2002 ; Almeida et Tomé, 2008) (fig.21).

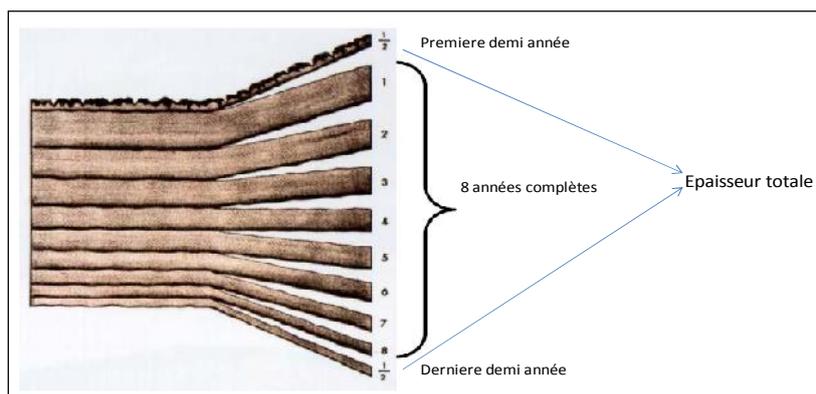


Figure 21: Méthode schématique pour quantifier l'âge du liège (Almeida et Tomé, 2008)

2.5.3- Les lenticelles (les pores)

Les canaux lenticulaires traversent les planches de liège radialement de l'intérieur vers l'extérieur. Macroscopiquement, les lenticelles sont visibles grâce à leur couleur sombre contrasté avec la couleur claire des tissus du liège. Dans les trois sections, ils apparaissent en différentes formes où ils sont approximativement circulaires ou elliptiques en section tangentielle et en canaux rectangulaires de variables largeurs sous forme des canaux lenticulaires dans toute sa longueur en sections transversale et radiale (Natividade, 1956 ; Pereira, 2008) (fig. 22).

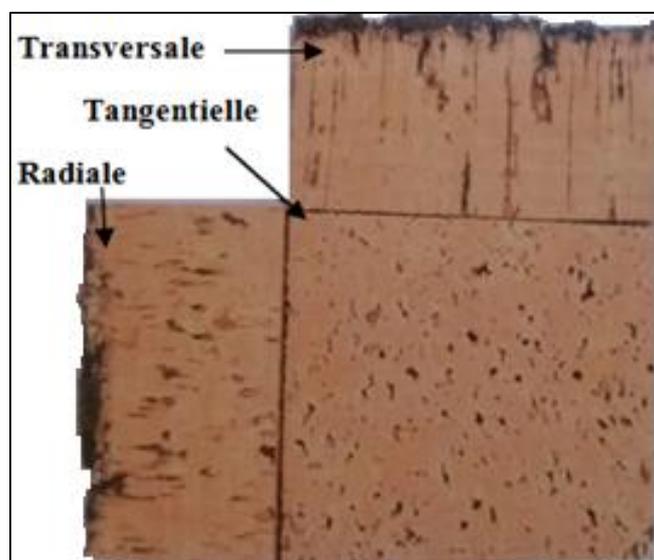


Figure 22: Répartition des lenticelles sur la section tangentielle et transversale d'un calas du liège (Pereira, 2007)

De point de vue microscopique, les cellules lenticulaires sont d'une forme polyédrique ou arrondie à parois minces, très riches en lignines, laissant entre elles des vides responsables des échanges gazeux entre les tissus vivants de l'arbre et le milieu extérieur (fig.23) (Boudy, 1950). La production des lenticelles est en fonction de la profondeur de la mère. Lorsqu'elle

est mince, le périderme présente des lenticelles de diamètre plus réduit et en plus petit nombre par unité de surface que lorsqu'elle est épaisse (Natividade, 1956).

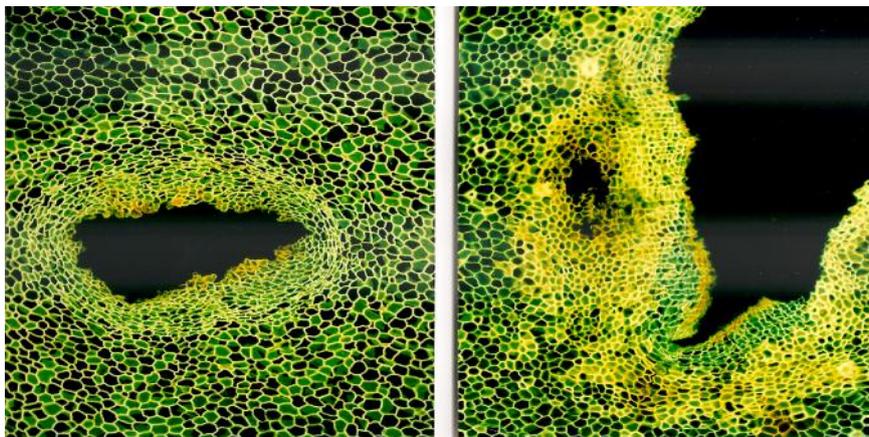


Figure 23: Vue microscopique d'une coupe transversale d'un canal lenticulaire (Moreira da Silva, 2010)

La porosité est variable entre les arbres de la même station et même à l'intérieur de chaque arbre. Elle est liée aux plusieurs paramètres à savoir ; la vitesse de croissance, la variabilité génétique des arbres et aussi à l'âge de l'arbre (Yessad, 2000 ; Benaissa, 2003). Sur un même arbre, le diamètre des lenticelles diminue de la base du tronc jusqu'au sommet (Natividade, 1956) (fig.24).

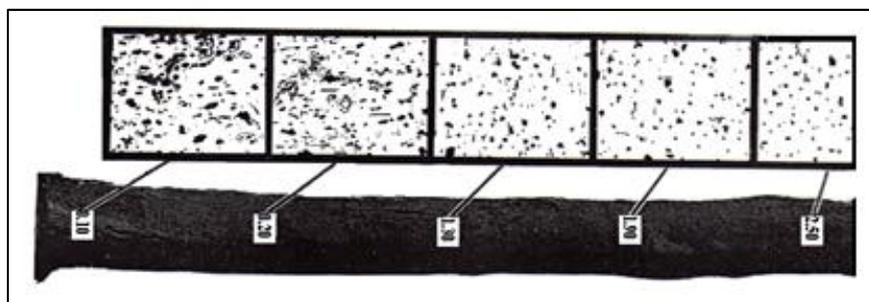


Figure 24: Distribution verticale des lenticelles (à gauche : base du tronc, à droite : le sommet (Natividade, 1956)

Les pores sont de différentes formes ; circulaire, elliptique ou forme boutonnière allongé. Dans les dernières couches, les déformations et les élargissements des canaux lenticulaires sont moins fréquents (Margot, 2006).

2.6- Qualité du liège

Selon plusieurs chercheurs tels que Natividade (1956), Pereira et al.(1987), Montoya Oliver (1988), Gonzales-Adrados et Pereira (1996), Pereira et al.(1996), Pereira (1998), Ferreira et al. (2000), Costa et Pereira (2004), Pereira (2007) et Dehane (2013), la qualité du liège est un facteur déterminant de l'utilisation finale de la planche du liège. Une planche de

liège de 1^{ère} classe est supposée exempte de défauts, par contre, quand une planche est fortement affectée par les défauts, elle est dite rebut. Toutefois, les principaux paramètres pris en compte dans l'évaluation de la qualité du liège sont principalement l'aspect (porosité et défauts) et l'épaisseur.

2.6.1- Concept de qualité aspect scientifique- technique

Depuis longtemps, l'appréciation de la qualité du liège demeure subjective et seuls les professionnels du liège qui par leur contact permanent avec le produit, arrivent à mieux cerner les variables permettant de préciser sa qualité. En effet, les opérations de classement sont basées sur le contact direct avec le produit et l'appréciation visuelle. Ces opérations varient d'un opérateur à un autre, la divergence entre les opérateurs est donc faible pour le liège de bonne et mauvaise qualité, mais pour les autres classes moyennes une grande différence se note (Mello et Pinto, 1994 ; Mourad et al., 2001 ; Costa et Pereira, 2007 ; Pereira, 2007).

Suite à toutes ces considérations, les évaluations subjectives ont prouvé leurs grandes limitations, à cause de la grande variabilité entre les opérateurs et souvent pour le même opérateur dans les évaluations ultérieures (Mello et Pinto, 1994 ; Pereira et al., 1996). Ceci a favorisé l'apparition de récentes applications de la technologie numérique qui ont permis aux chercheurs de dépasser plusieurs difficultés techniques et d'encaisser un gain de temps considérable dans l'analyse du produit et surtout dans l'objectivité et la prise de décision (Graça et al., 1985 ; Fonseca et Parresol, 2001 ; Graça et Pereira, 2004 ; Pereira, 2007 ; Anonyme, 2009). Parmi les nouvelles techniques et méthodes scientifiques de la détermination de la qualité du liège sur pied ou en pile, on cite l'apparition du COVELESS CQ 05 et les différentes techniques d'analyse d'image (Benkirane et al., 2001 ; Piazzetta, 2007).

2.6.2- Appréciation de la qualité du liège sur arbre

L'appréciation de la qualité du liège sur pied, peut être effectuée à l'aide d'un nouvel appareil technologique COVELESS CQ 05 (fig.25). Cet appareil permet de mesurer l'épaisseur du liège en détectant la profondeur de la couche mère en basant sur sa conductibilité électrique mesurée entre deux électrodes pour savoir la résistance du liège à la pénétration. En même temps il donne l'estimation de la qualité du liège directement sur l'arbre (Piazzetta, 2007). Il s'agit donc d'un procédé non destructif qui peut être utilisé tout au long de l'année et même plusieurs années sur le même sujet. Il peut détecter la présence de liège vert, et surtout propose une classification de la qualité du liège selon la méthode l'ICMC-IPROCOR.

La lecture des mesures est faite directement sur l'appareil, en plus de la présence d'une mémoire interne d'une capacité de plus de 50 000 arbres, par la suite, ces données peuvent être transférées sur un ordinateur (Piazzetta, 2007).



Figure 25: Dispositif d'estimation de la qualité du liège sur pied COVELESS CQ 05 (Piazzetta, 2007)

2.6.3- Technique d'analyse d'image

L'analyse d'image est une technique scientifique de traitement des images numériques. DPA (Digital Image Processing and Analysis) présente à partir des produits naturels tels que le bois, le liège et les feuilles d'arbre. Cette technologie a donné une autre dimension au concept de « *qualité du liège* » (Lopes et Pereira, 1994 ; 1998).

Les premières applications de l'analyse d'image pour le liège ont vu le jour au Portugal et en Espagne à partir des débuts des années 1990. Ces deux pays occupant les premiers rangs dans la production mondiale du liège et très soucieux de l'importance économique de ce précieux produit, ont adapté des techniques d'analyse d'image dans les usines de fabrication des bouchons, afin de résoudre le problème de classification du produit final. La classification des bouchons se fait automatiquement avec des machines de tri commerciaux qui utilisent une lecture optique à la surface des bouchons. C'est un procédé industriel de meilleure précision qu'un classement manuel effectué par l'expert (Gonzales-Adrados et Pereira, 1996; Pereira et al., 1996 ; Gonzales-Adrados et al., 2000 ; Lopes et Pereira, 2000).

Plusieurs systèmes automatiques pour l'identification et la classification des défauts de surface ont été développés. Ils peuvent être différenciés sur la base des capteurs utilisés, des paramètres caractérisant les défauts extraits et des procédures de décision utilisées et la méthode d'autofluorescence qui permet de mesurer les accroissements annuels du liège et très excellente dans la modélisation de la croissance radiale du liège (Brunetti et al., 2002 ; Surovy et al., 2009).

Parmi les différents capteurs utilisés dans les systèmes de l'industrie de bois, on distingue entre autres (Mc Donald et al., 1978 ; Soest et Matthews, 1985 ; Courtois et Masson, 1999 ; Benkirane et al., 2001 ; Gonzalez-Adrados et al., 2001 ; Brunetti et al., 2002 ; Costa et Pereira, 2007 ; Surovy et al., 2009) :

- les capteurs ultrasoniques qui exigent l’immersion du matériel analysé dans l’eau,
- les capteurs optiques comme les caméras,
- les capteurs optiques couplés à un générateur aux rayons X,
- les scanners lasers.

2.6.4- Critères de classification de la qualité du liège

L'évaluation de la qualité du liège est l'une des étapes les plus importantes dans la transformation industrielle. Cette évaluation est réalisée en deux phases distinctes : l'une avant l'ébullition du liège brut à l'aide d'un expert pour répartir les planches en différentes classes de qualité et l'autre après le découpage mécanique des bandes de liège destinée à la fabrication des bouchons, en tant que catégorie de qualité finale des bouchons finis.

En effet, la bonne estimation de la qualité du liège dépend essentiellement de l'opération de classement en classes de qualité. Cette opération se fait en fonction de deux variables : l'épaisseur des morceaux de liège et leur aspect (défauts de liège et porosité), qui sont sous l'influence de plusieurs facteurs illustré dans la figure 26 (Beltran, 2009).

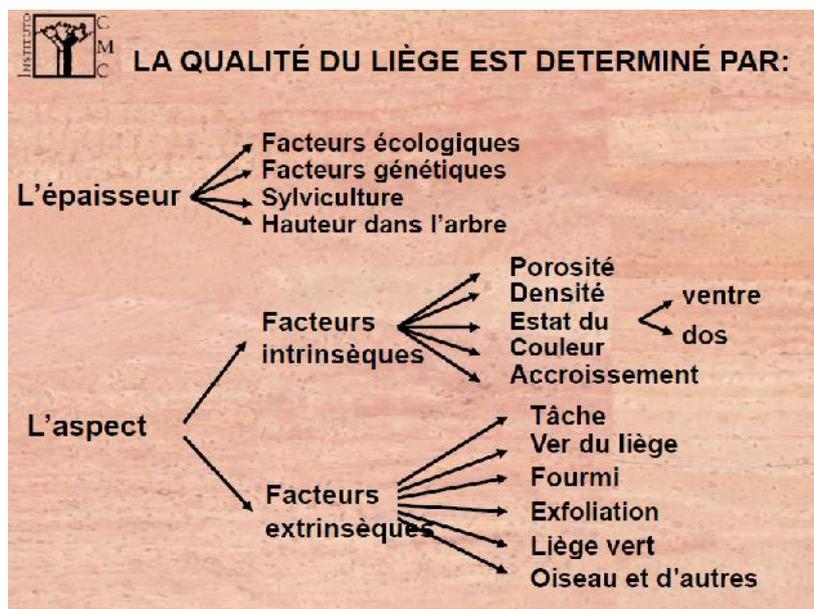


Figure 26 : Les principaux facteurs déterminants de la qualité du liège (Beltran, 2009)

2.6.4.1- Epaisseur ou calibre

L'épaisseur du liège est une grandeur mesurable avec précision; elle varie en fonction de l'âge, la hauteur d'écorçage, le milieu, etc. Elle est exprimée en nombre de lignes ou en millimètres (1 ligne = 2,25 mm). Elle est définie comme étant la somme des couches des cellules du liège générées dans le sens radiale par l'assise subero-phellodermique au cours d'une rotation. Elle varie dans le même arbre avec la hauteur à laquelle le liège est pris, elle diminue avec la hauteur de l'arbre, ainsi avec l'âge de l'arbre (Boudy, 1952 ; IPROCOR, 1994 ; Garchi et Sghaier, 2008).

C'est un facteur déterminant pour l'utilisation finale du produit en industrie spécialement dans la production des bouchons. En effet, l'épaisseur commerciale est fixée à 27 mm avec croûte ce qui correspond au diamètre du future bouchon. La valeur de l'épaisseur du liège influe sur le rendement économique de la planche du liège (IPROCOR, 1994). A partir de ces considérations, l'ICMC.IPROCOR a élaboré une classification des épaisseurs du liège (tab.5).

Tableau 5: Principales classes d'épaisseurs de la couche subéreuse et types de liège correspondants d'après ICMC-IPROCOR

Catégorie	Calibre en lignes	Calibre en millimètre	Classification simplifiée	Utilisation
1	> 19 lignes	>42,75	Sur épais	Bouchon naturel, bouchon de cruche
2	15 à 19 lignes	33,75 < Ep < 42,75	Epais	Bouchon naturel de 24 mm de diamètre
3	13 à 15 lignes	29,75 < ep < 33,75	moyen	Bouchon naturel de 24 mm de diamètre
4	11 à 13 lignes	24,75 < ep < 29,75	ordinaire	Bouchon naturel de 21 mm de diamètre
5	< 11 lignes	ep < 24,75	Mince	Rondelle naturelle, papier, bouchon 2 pièces
6		Rebut ®	Rebut ®	Trituration

Il existe des épaisseurs optimums pour la planche de liège en dessous desquelles le liège est dit trop mince ne pouvant pas être transformé en bouchons, mais il est utilisé pour la fabrication de rondelles. Il peut servir aussi à la fabrication du papier de liège et de manière générale et à toute autre utilisation qui ne nécessite pas une épaisseur importante. En revanche, le liège trop épais, même de qualité, génère beaucoup de déchets après la fabrication des bouchons. Sa valeur unitaire sur le marché est donc inférieure à celle des autres catégories destinées au bouchage. Par ailleurs, il peut servir à la fabrication de bouchons de carafe ou de cruches nécessitant des mesures surdimensionnées (Piazzetta, 2007).

D'ailleurs, le prix de vente du liège varie selon le marché mondial et il est estimé par unité de kilogramme ; il diffère entre les classes d'épaisseurs (tab.6). Une planche de liège de 27-32 mm et 32-40 mm se range alors dans la même classe et elle est considérée comme classe de référence. Bien que, pour la classe 22-27 mm, le prix de vente touche la moitié de la valeur de la classe de référence, 1/3 pour les épaisseurs <22 mm et approximativement 2/3 pour les planches épaisses > 40 mm (Pereira, 2007).

Tableau 6 : Indice des prix pour différentes épaisseurs industrielles du liège et classe de qualité (Gonzalez-Adrados et al., 2001 ; Pereira,2007)

Calibre/Qualité	1 ^{er} -3 ^{ème}	4 ^{ème} -5 ^{ème}	6 ^{ème}	Rebut
14_18 mm	22	10	7	7
18-22 mm	30	12	7	7
22-27 mm	50	30	12	7
27-32 mm	100	60	28	7
32-40 mm	100	60	28	7
>40 mm	65	32	16	7

Au Portugal, le cycle de production de liège est fixée à 9 ans, ce qui est adéquate pour les principales exigences de l'industrie bouchonnière (Costa et Pereira, 2004 ; Pereira, 2007).

Tandis que, dans les autres pays productives du liège, le cycle de production varie d'une région à une autre où il varie de 9 à 14 ans en Espagne et en Algérie, de 9 à 12 ans en Maroc, 12 ans en Tunisie et de 12 à 15 ans en France (Abourouh et al., 2005 ; Ben Jamâa et Nouiui, 2008 ; Dehane et al., 2010 ; Ghalem, 2010 ; Roula, 2010).

2.6.4.2- Aspect

Contrairement au premier critère, qui est mesurable en ligne ou en millimètre, le 2^{ème} critère « l'aspect » révèle une grande subjectivité car il se base essentiellement sur l'observation visuelle et au toucher. Ceci repose uniquement sur l'expérience professionnelle de l'opérateur (Courtois et Masson, 1999 ; Pereira, 2008 ; Anonyme, 2009).

La qualité recherchée par l'industriel est déterminée par l'homogénéité de son tissu ; une faible porosité et l'absence de défauts sans fissures profondes, avec une croûte mince et un ventre de liège légèrement ondulés. La qualité des bouchons de liège, est déterminée par sa porosité partiellement quantifiée en utilisant des techniques d'analyse de l'image dans les machines de tri automatique.

1- Porosité

La porosité est déterminée par l'importance relative des lenticelles. Elle est définie comme étant le volume de vide rapporté au volume total du liège ; ce qui est nommé le coefficient de porosité (Boudy, 1952 ; Vivas, 1995). La porosité et la densité du liège varient dans la planche de liège de l'intérieur vers l'extérieur (Pereira, 2007). Bien que les canaux lenticulaires soient un élément anatomique en liège, l'excès de porosité peut être considéré comme un défaut de liège lorsque sa forme et les dimensions atteignent certaines valeurs (tab.7).

Tableau 7 : Variation de la porosité en classes de qualité. Analyse de la section tangentielle (Natividade, 1950 ; Pereira et al., 1996 ; PAMAF, 1999)

	Paramètres	1^{er}	1^{er}-3^{ème}	4^{ème}-5^{ème}	6^{ème}
Pereira et al.(1996)	Nombre des pores/100 cm ²	568	584	860	815
	Nombre des pores >0,8 mm ² /100 cm ²	47	84	121	176
	Surface moyenne des pores (mm ²)	0,58	0,83	0,79	1,57
	Surface maximale des pores (mm ²)	19,7	23,1	26,3	82
	Coefficient de porosité (%)	3,3	4,5	6,7	12,4
PAMAF,1999	Coefficient de porosité (%)	3	3-3,5	4,5-5	6-7
Natividade (1956)	Coefficient de porosité (%)	1,5			4

Le type, le nombre, la dimension et la distribution des pores sont des facteurs déterminants dans la classification de la qualité du liège. Selon Pereira et al.(1996), la distribution des pores est plus élevée dans la section tangentielle que transversal (tab.8).

Tableau 8 : Caractérisation de la porosité des planches de liège dans la section tangentielle et transversale. (Pereira et al., 1996)

	Paramètres	Section tangentielle	Section transversale
Pereira et al.(1996)	Nombre des pores/100 cm ²	285-1297	142-508
	Nombre des pores >0,8 mm ² /100 cm ²	13-292	49-170
	Surface moyenne des pores (mm ²)	0,4-2,6	1,7-3,2
	Surface maximale des pores (mm ²)	3,9-132,2	18,5-114,6
	Coefficient de porosité (%)	1,1-18,9	2,1-16,4
	Orientation	92,5°-36,5°	
	Facteur de géométrie	0,5	
	Facteur de forme	0,7	

2- Défauts naturels

Les défauts du liège accompagnent occasionnellement les lenticelles ; ils se distribuent d'une façon aléatoire dans la masse du liège et se présentent sous différentes formes et tailles. En effet, leur présence ou abondance diminue la qualité de la planche et le produit final aussi (Bouchons naturels ou rondelles).

Les principaux défauts qu'on peut citer sont celles qui portent atteinte à l'homogénéité des tissus subéreux et ses caractéristiques physiques, mécaniques ou chimiques. Selon nombreux auteurs Boudy (1952), Natividade (1956), Gonzalez et al.(2000), Benkirane et al.(2001), Arnaudies et Piazzetta (2006), Anonyme (2007) sont les suivants:

Liège poreux : ce type de liège est caractérisé par un taux de porosité élevé avec un large diamètre des canaux lenticulaires. Selon (Natividade, 1956 ; Pereira, 1998), ce défaut est directement lié aux conditions du milieu et à la vitesse de croissance. On dit un liège poreux lorsque le coefficient de porosité est supérieur à 4%.

Liège soufflé : ce type de liège est caractérisé par la présence de cavités en fuseaux allongées radialement. Elles constituent dans la masse du liège des zones de discontinuité nuisible. Les soufflures sont en réalité des déchirures internes sous la double action de la tension des couches subéreuses et du retrait imposé par la dessiccation (Saccardy ,1937).

Ce type de liège est impropre à la fabrication des bouchons avec un coefficient de porosité supérieur à 6%.

Liège terreux : il présente un type spécial de porosité par rapports aux autres. Ce type de liège a une couleur brunâtre, rougeâtre ou terreuse. Il s'agit d'un trouble dans le fonctionnement du phellogène qui aboutit à remplacer une partie du suber proprement dit par le tissu pulvérulent des lenticelles, qui forme alors des plaques continues sur de petites surfaces et ne persiste pas durant toute la période de formation du liège (Boudy, 1950 ; Pereira, 2007)

Liège ligneux ou clouté : bien que dans les normes, la densité du tissu subéreux est très basse (0,12 à 0,20 g/cm³), ce type de liège accuse un poids de 3 à 4 fois supérieur à la normale. Ce défaut est causée par des inclusions de sclérenchyme dans le tissu de liège qui est appelé liège

boisé ou liège ligneux ou cloutés. Les tissus lignifiés incluent dans le tissu du liège apparaissent sous forme de taches sombres de couleur brunâtre ou rougeâtre (Natividade, 1956 ; Benkirane et al., 2001).

Les exfoliations ou liège doublé: ce sont des fissures tangentielles dans le tissu de liège. Ce défaut apparaît dans un ou plusieurs cycles de liège annuel. Il est à l'origine de l'attaque du défoliateur *Lymantria dispar L* ou à cause de l'action destructrice du feu. Ceci occasionne une réduction de l'épaisseur des membranes cellulaires allant jusqu'à 0,8µm en raison de son extrême fragilité et une interruption de phellogène. Lorsque, le phellogène reprend son activité de fortes ruptures peuvent apparaître du fait d'un manque d'adhérence entre le phellogène et la nouvelle couche de liège produite (Pereira, 2007 ; Sghaier et al., 2011).

Liège vert ou humide : ce défaut ne signifie pas la couleur mais l'aspect de maturité incomplète du liège. Ce type de défaut apparaît plus clair que le tissu du liège, d'où les couches les plus proches de la mère se trouvent gorgées d'eau. Lors du séchage, le liège se rétrécit. Il est appelé ainsi liège humide, parce qu'ils présentent des zones avec une teneur en humidité élevée (Natividade, 1956 ; Pereira, 2007). La présence de ce défaut particulier sur la planche de liège a un impact économique négatif dans l'industrie du liège ou il est refusé dans la fabrication des bouchons puisqu'il diminue l'élasticité du bouchon.

Tâche jaune : les planches du liège peuvent avoir des taches résultants d'attaques microbiennes, telle que la décoloration jaunâtre des tissus subéreux, qui est causé par *Armillaria mellea*. Ces planches ne sont pas utilisées dans la fabrication des bouchons (Natividade, 1956 ; Pereira, 2007).

Liège marbré : ce défaut est plus visible après le bouillage de la planche. Il apparaît sous forme de taches irrégulières de couleur foncée, noirâtre ou bleuâtre, situées à coté des canaux lenticulaires. Ce type de liège ne rétrécit pas au séchage, dont l'origine de ce défaut reste mal connue. Selon Saccardy, 1937 ; Natividade, 1956 ; Gonzalez-Adrados et al., 2001 ; Pereira, 2007 ; l'apparence des marbrures provient de l'attaque d'un champignon *Melophia Ophiospora*, ou bien la réaction de sels de fer avec des tanins. Toutefois, la présence de marbrure diminue la valeur commerciale de certains produits finaux de liège, tels que les bouchons, papiers, disques, principalement pour des raisons esthétiques).

Liège crevassé : c'est un défaut lié à une porosité anormale. En section tangentielle, les canaux lenticulaires apparaissent sous forme de cavité dans le tissu de liège, sans aucune poudre à l'intérieur. Les crevasses se produisent dans les tissus de croissance rapide avec des parois cellulaires minces, lorsque l'effondrement des parois cellulaires fusionne les cellules adjacentes. Le liège est dit « crevassé » lorsque les crevasses sont larges et profondes.

Les trous d'insectes : les trous d'insectes correspondent à des galeries causées par des agents biotiques comme ; *Crematogaster scutellaris* et *Coroebus undatus*. Ces ouvertures causées par les insectes se présentent sous forme des galeries profondes distribuées aléatoirement dans la masse du liège, ce qui déprécie la qualité du produit final du liège. En outre, la présence de ces agents biotiques augmente le taux de porosité à des valeurs très élevées (Saccardy, 1937 ;

Natividade, 1956 ; Gonzalez-Adrados et al., 2000 ; Villement et Fraval, 2002 ; Arnaudies et Piazzetta, 2006).

Liège croûteux : la croûte du liège constitue la partie externe souvent inutilisable. Quand elle est épaisse, elle diminue la qualité du liège et impose un travail supplémentaire dans le processus de transformation notamment durant l'opération de raclage (Gonzalez et al., 2000).

Liège flambé : le liège brûlé est une conséquence directe de passage de l'incendie de forêt. Ce défaut déprécié considérablement la qualité du liège. Il est destiné à des utilisations marginales ce qui diminue son prix de vente (Beltran, 2004 ; Piazzetta, 2004).

Liège fissuré : des fissures longitudinales profondes apparaissent dans le dos des planches provoquées par l'épaississement de la tige et l'activité du cambium qui pousse dans la direction du centre de l'arbre et le phellogène qui produit des cellules de liège dans le sens opposé. Ceci induit des tensions périphériques dans la direction tangentielle conduisant à la fissuration du liège (Pereira, 2007).

2.6.5-La classification du liège

La classification traditionnelle du liège est très simple pour répondre aux différentes demandes et exigences des industries de transformation ; elle se base sur la classification du liège mâle, liège de première production et liège de reproduction. Dans cette dernière classe, on trouve du liège de différentes qualités et vendu à différents prix et destinée pour des utilisations diverses. Pour cela, plusieurs techniques de classification du liège sont développées, afin de classer en plusieurs classes de qualité à partir de son épaisseur et de son aspect.

2.6.5.1- Classification d'IPROCOR (CICYTEX actuellement)

A partir de 1985, IPROCOR a élaboré un programme pour objet d'informer de manière objective, les propriétaires et gestionnaires des suberaies au sujet de la qualité du liège (Piazzetta, 2007 ; IPROCOR, 2009). La méthode utilisée, autorise l'optimisation statistique des échantillonnages et l'incorporation d'un index global qui exprime la qualité au moyen d'un nombre.

En effet, selon la classification de l'ICMC-IPROCOR, le liège est classé en 5 classes d'épaisseur et 8 classes d'aspect. Le croisement de ces classes donne un total de 40 combinaisons différentes, qui s'avère trop complexe pour être utilisé dans la pratique, raison pour laquelle une nouvelle classification beaucoup plus simple a été élaborée en regroupant les 40 combinaisons originales en fonction de leur destination, pour obtenir 9 catégories suivantes.

Selon cette méthode, on trouve dans la catégorie de « *rebut* » soit:

-les planches de liège d'épaisseur bouchonnable mais avec des défauts (lenticelles) importants rendant impossible le colmatage des bouchons (classes d'aspect 7 et 8),

-le liège mince trop poreux pour la fabrication de rondelles destinées aux bouchons multi pièces pour lesquelles la technique du colmatage n'est pas utilisée (classes d'aspect 5, 6, 7 et 8).

2.6.5.2- Classification simple

Vue la complexité de la méthode d'IPROCOR, une nouvelle classification beaucoup plus simple a été élaborée en regroupant les 7 classes de qualité de la 1^{ère} à la 6^{ème} classes en 4 classes mixtes ; 1^{er} classe (très bonne qualité), 1^{er}-3^{ème} (bonne qualité), 4^{ème}-5^{ème} classe (qualité moyenne), 6^{ème} classe (faible qualité) puis le rebut (Pereira et al.,1996).

En général, de la première à la cinquième catégorie, les planches sont considérées comme adéquates (conformes) pour la production des bouchons en liège.

2.6.5.3- Classification des bouchons et rondelles naturelles

Parmi les produits industriels du liège, les bouchons constituent l'épine dorsale de la valeur économique des forêts de chêne-liège et le soutien des valeurs écologiques, sociales et paysagères associées.

Les bouchons en liège naturel sont classés en neuf catégories d'après l'abondance et la taille des lenticelles ; extra, Supérieur, 1^{er}, 2^{ème}, 3^{ème}, 4^{ème}, 5^{ème}, 6^{ème} et "rebut" (Oliveira et al.,2003 ; Anonyme, 2006 ; Costa et Pereira, 2006). L'examen visuel permet également de déceler les défauts liés à la matière ou à la fabrication qui seraient susceptibles d'affecter l'étanchéité (fig.27).

Actuellement, les 9 classes sont regroupées en trois gammes mixtes ; gamme supérieure, gamme standard et entrée de gamme (FFSL., 2006 ; Anonyme., 2007 ; Costa et Pereira, 2007)

De même, les rondelles sont classées en trois niveaux de qualités, basant sur l'apparence visuelle "A, B et C" : la catégorie "C" représente la qualité minimum, "A" la qualité supérieure et "B" la qualité moyenne (Anonyme, 2006 ; Anonyme, 2009).

La qualité est un paramètre important pour l'établissement des prix d'où un bouchon de bonne qualité (à partir des classes extra ou supérieure) pourrait être 4-5 fois plus cher qu'un bouchon de faible qualité. Actuellement, les bouchons de liège de bonne qualité peuvent coûter environ 190 €/1000 bouchons (Mello et Pinto, 1994 ; Pereira et al., 1996 ; Gonzalez-Adrados et Pereira, 1996 ; Chatonnet et Labadie, 2003 ; Anonyme, 2007).

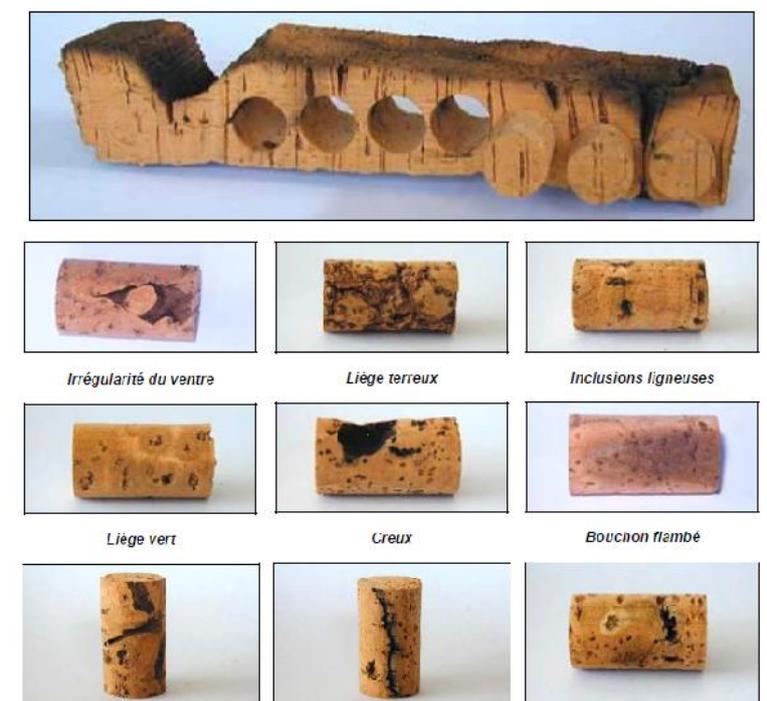


Figure 27: Défauts naturels des bouchons de liège (Piazzetta, 2004)

2.6.6-Indice de qualité

Pour permettre aux gestionnaires et aux industriels de mieux évaluer la qualité du liège et afin de compléter la classification du liège précédemment décrite, l'ICMC-IPROCOR a mis au point une formule numérique simple nommée « *Indice de qualité* » incluant les proportions de chacune des classes de qualité ainsi que le prix moyen de chacune d'elles. Elle permet de classer la qualité des productions des différentes exploitations subéricoles,

$$Q = (5/100) \times \sum_{i=1-9} (A_i \times Q_i)$$

- Q = indice de qualité du liège
- A_i = valeur moyenne monnaie du liège des catégories 1 à 9
- Q_i = proportion du volume matière de la catégorie donnée par rapport au volume de production totale (%).

L'indice de qualité dépend essentiellement des opérations de l'offre et de la demande. Le maximum théorique est donc de 19,5, et le minimum de 1,5, mais dans la pratique les valeurs maximales et minimales de l'indice de qualité « Q » se situent entre 14 et 3 (Gonzalez-Adrados et al., 2001 ; Pereira, 2007 ; Piazzetta, 2007).

2.7- Propriétés du liège

Le liège possède une remarquable combinaison de propriété qui le rend un matériau de choix à une large gamme d'application et dans nombreux domaines d'utilisations. C'est un matériau 100% naturel, recyclable et biodégradable. Ces trois attributs indissociables lui offre une très grande importance dans la société actuelle.

Ce tissu végétal possède des qualités uniques, caractérisées par sa légèreté, imperméabilité aux liquides et aux gaz, élasticité et compressibilité, isolation thermique et acoustique, faible combustibilité, résistance à l'usure et à la friction.

2.7.1 -Propriétés chimiques

Depuis longtemps, ce produit naturel inerte a attiré l'attention de plusieurs chercheurs, pour déterminer ses principales caractéristiques notamment sa composition chimique. Le liège est composé essentiellement des éléments gazeux qui représentent 60 %.

La subérine : elle constitue l'élément principal des parois cellulaires. C'est un polymère composé d'une longue chaîne d'alcools organiques lourds et d'acides gras. Sa proportion varie de 33 à 50%, mais elle diffère selon la nature du liège, du 45,3% pour liège mâle contre 34,1% pour le liège femelle (CIB, 2008). Dans le liège algérien, sa proportion varie de 33,34% dans le liège de littoral voire 35,57% en montagne (Dehane et al., 2014).

La subérine est insoluble dans les solvants usuels comme l'eau, l'éther, le chloroforme, l'acide sulfurique concentré, l'acide chlorhydrique. C'est un élément responsable de la résilience du liège. Ainsi, elle joue le rôle d'un obstacle au passage des liquides et des gaz (Boudy, 1950).

Les céroïdes : elles repoussent l'eau et contribuent ainsi à l'imperméabilité du liège, leur proportion est variable de 5 à 15 % (Ribas-Marques, 1952).

La lignine : c'est est un produit de masse moléculaire élevée, sa proportion varie de 12 à 27% selon Pereira (1988). Elle a un rôle déterminant pour le comportement du liège. Elle est responsable de la rigidité structurelle des parois cellulaires et de leur résistance sous pression.

La cellulose : elle se trouve dans le liège sous formes libres ; sa teneur oscille entre 2 et 10%. La cellulose est constituée de longues chaînes de D-glucose reliées par des liaisons hydrogènes avec -1,4 glucosidiques, ce qui lui donne une structure fibreuse compacte et insolubles (Pereira, 1988).

Les tanins : ils sont présents avec un taux de 1 à 6 %. Ils rendent le liège imputrescible et inaltérable par les agents microbiologiques (Soares, 1973).

L'eau : la quantité d'eau dans le liège explique sa résistance face au feu. Elle est d'environ 3,1 % dans le liège mâle et 4,0 % dans le liège femelle (Pereira, 1988 ; Duboi, 1990).

Autres constituants : le liège contient aussi beaucoup d'éléments minéraux tels que ; le Calcium, Potassium, Manganèse, Fer, Aluminium, Sodium, Baryum, Strontium, Cuivre, Lithium, Chrome et titane (Barcelo, 1939 ; Courtois et Masson, 1999).

En effet, la composition chimique du liège varie beaucoup à l'intérieur d'un même arbre et elle diffère entre le liège mâle et femelle mais aussi selon l'origine génétique de l'arbre, l'âge, la localisation géographique et les conditions de croissance. Mais malgré ces variations, les caractéristiques générales restent communes. Par conséquent, la plupart des propriétés du liège dérivant de sa composition chimique résident spécialement de ces parois cellulaires.

2.7.2 -Propriétés physiques

La densité : plusieurs caractéristiques de liège sont dues à sa faible densité (flottabilité, légèreté, élasticité et souplesse). En revanche, l'excès de densité est une cause de dépréciation du liège (Boudy, 1950).

La densité varie généralement de 0,30 à 0,35 g/cm³ pour le liège mâle, contre 0,16 à 0,26 g/cm³ pour le liège femelle sans croûte (Boudy, 1952). Ces proportions sont souvent sous l'influence de l'effet de la station. La densité représente 25% du poids du liège de reproduction en montagne contre 10 à 15% en plaine (Sesbou et Hachemi, 1989). Elle atteint 0,25 g/cm³ en moyenne dans le liège algérien, avec des valeurs plus élevée en montagne (0,27 g/cm³) qu'en littoral (0,23 g/cm³) (Dehane et al., 2014).

L'humidité : à cause de la présence de la suberine dans les parois cellulaires, le liège est hydrofuge, contrairement au bois. Par conséquent, le taux d'humidité varie entre 30 à 35% après la récolte, mais ce taux baisse jusqu'à 5 voire 10% sous l'effet de séchage à l'air libre (Sesbou et Hachemi, 1989). En revanche, l'humidité du liège augmente avec l'humidité relative de l'air, mais elle diminue lorsque la température augmente. Par ailleurs, le taux d'humidité est élevé dans le liège de plaine par rapport à celui de montagne (Gonzalez-Adrados, 1994 ; Famiri et al., 2008).

Imperméabilité aux liquides : l'imperméabilité aux liquides est l'une des exceptionnelles propriétés du liège. La diffusion de l'eau reste très lente aux températures ambiantes, mais à 100°C cette diffusion devient rapide et le liège coule après un temps relativement court (Rosa, 1993). En outre, le liège se gonfle aux bouillages mais il ne se retire pas aux séchages (Rosa, 1993).

1.7.3- Propriétés mécaniques

Le liège est mis sous contrainte de traction lors de la sortie du bouchon d'une bouteille. En effet, le comportement mécanique dépend des particularités spécifiques de la structure, à savoir la porosité et les inclusions ligneuses ou les fissures (Gibson et al., 1981 ; Rosa et Fortes, 1988 ; Gibson et Ashby, 1988 ; Ofélia et al., 2011). Il est connu que sous la tension, les parois des cellules deviennent plus droites (rectiligne) et alignées dans le sens du stress et

que la déformation se produit encore en étirant des murs jusqu'à la rupture (Rosa et Fortes, 1988).

L'élasticité : Quand le liège est soumis à une forte pression, les parois cellulaires se plient et les gaz comprimés dans les cellules se libèrent en modifiant la forme de la planche de liège (Natividade, 1956 ; Rosa et al., 1990). Une fois cette pression cesse, les cellules récupèrent leur volume initial sans laisser de traces de déformation (Hirsh, 1938 ; Natividade, 1956).

L'adhérence : Le liège s'adhère très facilement à d'autres surfaces, grâce à la nature lisse de sa surface extérieure d'une part et à la présence de multitude de petites ventouses d'autre part (Pouillaud, 1957).

2.7.4 - Propriétés thermiques et acoustiques

Depuis l'antiquité, le liège a été utilisé dans la construction des habitats, grâce à son excellente isolation thermique et acoustique. Sa conductibilité thermique est d'environ $0,047 \text{ w/m k}^\circ$ pour une densité de $0,19 \text{ g/cm}^3$ (Casey, 1991). Elle est 30 fois plus faible que celle du béton, ce qui explique sa grande résistance au feu (Beltran, 2004). Plus de sa mauvaise conductibilité thermo-acoustique, le liège est un excellent antivibratoire (Fortes, 1986 ; Quelenis, 2008).

Conductivité thermique : le liège assure une isolation hautement qualitative et durable, ceci est du grace aux cellules extrêmement fines, souples et remplies d'air (96%). La qualité d'isolation thermique du liège est durable contrairement à d'autres isolants qui peuvent perdre la moitié de leur efficacité en matière d'isolation thermique en quelques années seulement (Beltran, 2004 ; Pereira, 2007; Quelenis, 2008).

Isolation phonique : Les plaques de liège constituent également une isolation acoustique. La vitesse du son dans le liège est de 450 m/sec , alors que dans le béton armé, cette vitesse s'élève à $2500\text{-}2800 \text{ m/sec}$. Ceci a fait que le liège améliore le son ce qui lui confère un produit agréable à l'oreille. De plus, le liège est jusqu'à 10 fois plus absorbant que les différents bois (Chêne, Erable, Hêtre....) (Natividade, 1956 ; Pereira, 2007)

Chapitre III

Description du milieu d'étude

3.1- Choix des provenances du liège

Les échantillons du liège ayant fait l'objet d'étude qualitative proviennent de 4 forêts de la région ouest à savoir les forêts de Hafir, Zarieffet, Zerdeb et M'Sila et une de l'Est (Skikda). Elles sont réparties dans deux grandes divisions phytogéographiquement distinctes :

- la zone littorale représentée par la forêt de M'Sila (Oran) au quelle s'ajoute la forêt de Skikda située à l'Est du pays. Dans cette forêt, liège est utilisé pour le rendement industriel.
- la zone montagneuse représentée par les forêts de Zarieffet, Hafir et Zerdeb, situées toutes dans la wilaya de Tlemcen.

Les forêts prises à l'étude s'inscrivent entre les coordonnées Lambert suivantes (tab.9) :

Tableau 9: Coordonnées géographiques des 4 forêts oranaises

Noms des forêts	Coordonnées géographiques		Distance à la mer (km)	Cartes d'Etat major
	Latitude	Longitude		
Zarieffet	X ₁ =123,3km X ₂ = 129,8 km	y ₁ = 177,2 km y ₂ = 180,5 km	50	Tlemcen
Hafir	X ₁ = 105,2 km X ₂ = 127,1 km	y ₁ = 163,6 km y ₂ = 178,3 km	60	Terni, feuilles 299 et 300
Zerdeb	X ₁ = 155 km X ₂ = 161 km	Y ₁ = 176 km Y ₂ = 185 km	95	Ouled Mimoun Feuille N°271 et Beni Smiel Feuille N°301
M'Sila	X ₁ = 173,1 km X ₂ = 179,5 km	Y ₁ = 61,5 km Y ₂ = 71,7 km	14	Andalouses Feuilles 152,153

3.2- Présentation des provenances du liège

3.2.1- Les forêts de Zarieffet et Hafir

Ces forêts forment un massif continu d'environ 12 000 ha (DGF,1999). Il s'étend sur les monts de Tlemcen situés au Sud-Ouest de la ville de Tlemcen, à 5 km de la première et 15 km de la seconde. Elles sont limitées au Nord par la commune de Mansourah, au sud par les crêtes de Béni Bahdel, à l'Est par Terny et à l'ouest par Zelboun et Béni Mester (fig.28).

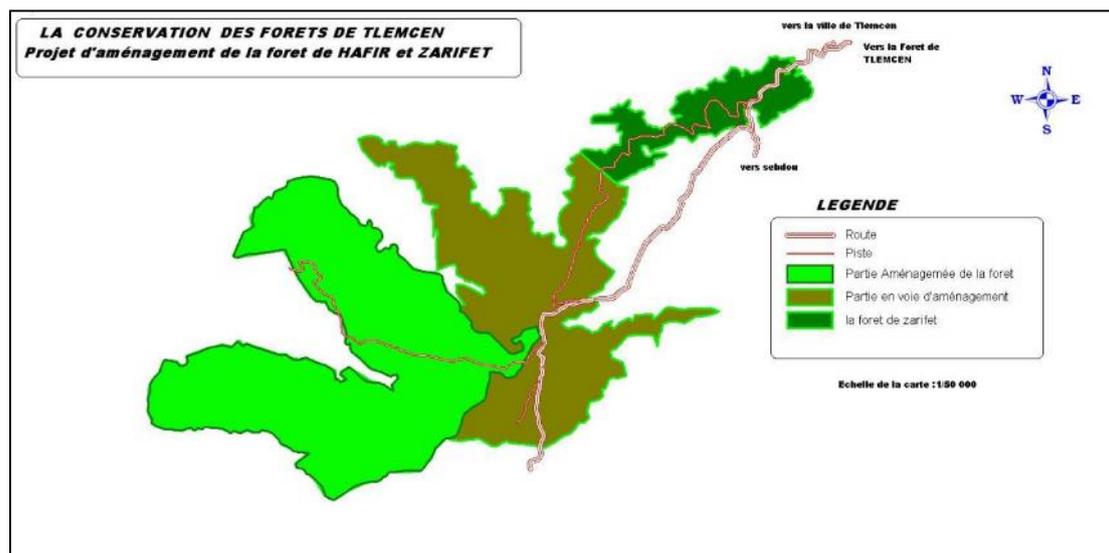


Figure 28: Situation géographique du massif forestier Zariéffet-Hafir (C.F.W.T., 2010)

La forêt de Hafir compte 9 872 ha, découpée en 8 cantons dont un est situé dans la commune d'Ain Ghoraba et le reste au niveau de la commune de Sebra (C.O.I.T., 1933). Par contre, la forêt de Zariéffet s'étend sur 990 ha et divisés en 4 cantons (tab.10). Elle présente deux zones bien distinctes ; une chaîne montagneuse avec une pente assez importante au Nord-Ouest et de larges ravins au Nord-Est (DGF, 1999 ; Leutreuch-Belarouci, 2010). Administrativement, elle est gérée par la conservation des forêts de la wilaya de Tlemcen et la circonscription de Tlemcen.

Tableau 10: Cantons des forêts de Hafir et Zariéffet (PNT, 1999)

	Hafir	Zariéffet
Les cantons et leur superficie en hectare	Maison forestière ;188 ha 37 a70 c Tidjit; 264 ha Krean ;22 ha 07a 69 c Oued Tlet ; 414 ha 40 a Tibrouine; 120 ha El Kroun; 146 ha Tatsa; 430 ha Bled Aini; 36 ha 60 a 00 c	Zariffet ; 535 ha Ain-Merdjèn ; 306 ha Guendouza ; 63 ha Fernana ; 58 ha

3.2.2- La forêt de Zerdeb

La forêt domaniale de Zerbed se situe dans les monts du Gourari au Sud d'Ouled Mimoun et à 30 km au Sud-Est de Tlemcen. Elle s'étend sur une surface de 2 381 ha. Elle est limitée au Nord par la commune de Sidi Abdeli, au Sud par la commune de Beni Smiel, à l'Est par Ain Tellout et à l'Ouest par la commune de Chouly. Elle est divisée en trois cantons, canton Miez (238 ha), canton Zerdeb Nord (1 229 ha) et canton Zerdeb Sud (916 ha). Sur le plan administratif, la forêt appartient à la commune d'Ouled Mimoun (fig.29).

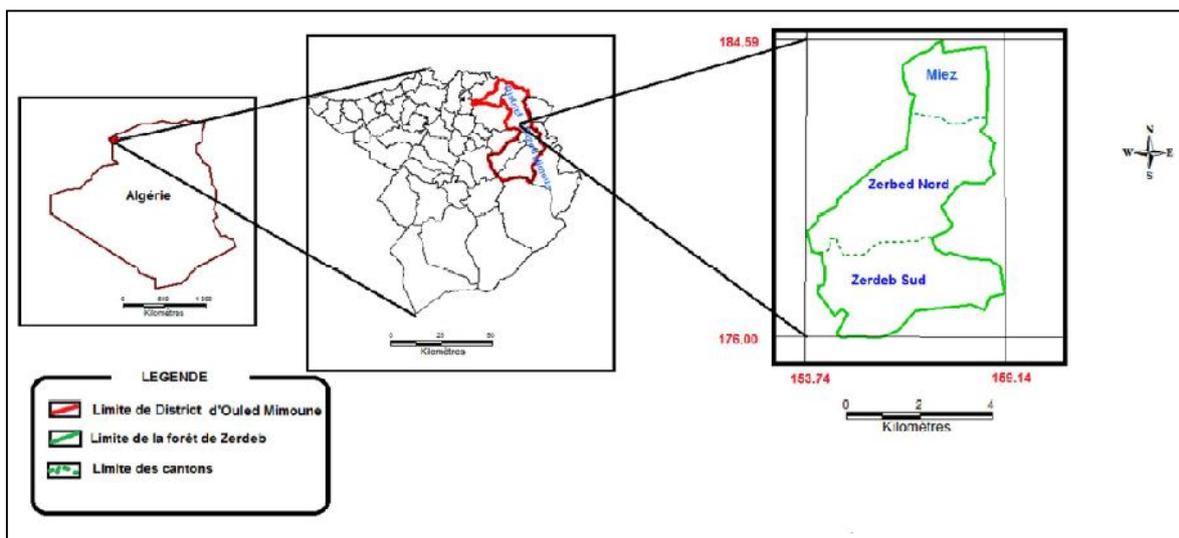


Figure 29: Situation géographique de la forêt de Zerdeb (W. Tlemcen) (Berriah, 2014)

3.2.3- La forêt de M'Sila

La forêt se situe à 30 km à l'Ouest de la ville d'Oran et à 14 km de la mer. Elle est limitée géographiquement par Misserghine et les monts Murdjadjo à l'Est, Ain Kerma à l'Ouest, El Ançor et les Andalouses au Nord et peuplements de Tarziza au Sud (fig.30). Elle occupe une superficie totale d'environ 1 570 ha divisée en 6 cantons (C.F.W.O., 1996). La forêt est sous la tutelle de la Conservation des forêts de la wilaya d'Oran, la Circonscription d'Oran et le District de Boutlellis (C.F.W.O., 1996).



Figure 30 : Situation géographique de la forêt de M'Sila (Ziani-Cherif, 2013)

3.3- Caractéristiques topographique, pédologique et géologique

3.3.1- Le massif Hafir-Zarieffet

Le massif forestier de Zarieffet-Hafir s'étend sur un relief montagnard accidenté, dont l'altitude moyenne est de 1200 m. Il occupe les crêtes et s'étend sur 32 km d'Est en Ouest et 13 km du Nord au Sud (Sauvagnac, 1956). Il a une orientation topographique franchement tournée vers le Nord-Ouest. D'ailleurs, l'altitude à Hafir varie de 700 m au canton de Tebount à 1418 m au sommet du canton du Djebel Koudiat Hafir. Tandis qu'à Zarieffet l'altitude oscille de 1000 à 1200 m. Il existe plusieurs classes de pentes dont les dominantes varient entre 12 et 50 % et couvrent plus de la moitié de la superficie. Les pentes faibles (< 3%) et abruptes (> 50 %) sont par contre moins fréquentes (Bricheteau, 1954).

Ce massif forestier repose sur des assises géologiques formées durant le Jurassique supérieur à plissement tertiaire (Elmi, 1970 ; Gaouar, 1980 ; Benest, 1985). La roche mère est composée principalement des grès séquanais et du calcaire de Zarieffet, les dolomies du Kimméridgien et du Portlandien et des affleurements éparses (Thintoin, 1948 ; Elmi, 1970 ; Clair, 1973 ; Gaouar, 1980 ; Benest, 1985).

En ce qui concerne la nature du sol, nous distinguons trois types de sols ; sols fersialitiques rouges, sols bruns fersialitiques, sols fersialitiques rouges et mosaïque sur dolomie. En général, les peuplements forestiers reposent sur un sol superficiel (moins de 30 cm de profondeur) traversé par des surfaces rocheuses et rocailleuses affleurant (Gaouar, 1980 ; Kazi-Tani, 1996 ; Belabbes, 2004 ; Loukas, 2006).

3.3.2- La suberaie de Zerdeb

La géologie de la zone reste dominée par des roches marneuses et argileuses par endroit marquant un passage du jurassique au crétacé (Aïnad-Tabet, 1996). L'altitude oscille entre 1329 et 721 m engendrant des pentes dominantes comprises entre 15 et 25%. Les sols sont podzoliques à structure grumeleuses, très profonds ne résistent pas bien aux pressions anthropiques et aux fortes précipitations

3.3.3- La subéraie de M'Sila

La forêt de M'Sila couvre une ancienne surface d'abrasion callabrienne localement couverte depuis longtemps de dépôts marins ou dunaires (Gourinard, 1958). Ce même auteur note la présence d'une falaise morte correspond à l'extension de la mer callabrienne, constituée de calcaire à Lithothamnée du Miocène supérieur dans quelques endroits. Les différents substrats géologiques caractéristiques de la forêt sont: sable pliocène et des schistes jurassiques mis en place au miocène moyen (Boudy, 1955 ; Gourinard, 1958).

La majorité de la forêt de M'Sila présente un relief moins accidenté, sans pentes abruptes (> 3 %) (Thintoin, 1948 ; Boudy, 1955). Le point culminant de cette forêt est « le signal de M'Sabieh » situé à 591 m d'altitude (Djabeur, 2001).

Le sol est très profond (supérieur à 2m), ce qui explique le quasi inexistence des affleurements de la roche mère et pierres (Belabbes, 2004). En revanche, c'est un sol pauvre

d'une texture argilo-siliceuse, provenant de la décomposition de schistes et quartzites néocomiens et de désagrégation des grès sableux pliocènes (Thintoin, 1948). Quatre types de sols ont été identifiés par Aime (1991): Les sols rouges sur formation quartzique, les sols rouges décarbonatés sur grès calcaire, les sols rouges tersifiés et les sols polycycliques.

3.4- Caractéristiques végétaives

3.4.1- Le massif Hafir-Zarieffet

La majeure partie de la forêt de Zarieffet forme une chênaie mixte mélangée de taillis de chêne vert, de chêne zeen (dans les vallons frais exposés au Nord-Est) et plus rarement de thuya. C'est une vieille futaie naturelle issue de souches de plus de 140 ans que sur des surfaces assez restreintes. La densité et l'état sanitaire du peuplement se sont modifiés plus ou moins fortement au fil des années, notamment à la suite d'une série de violents incendies qui ont ravagé cette forêt (Ghalem, 2006 ; Leutreuch-Belarouci et al., 2009). Elle est constituée actuellement d'un matorral clair, riche en espèces épineuses et en arbustes de plus de 2 m de haut, recouvrant entre 25 et 50 % du sol. Avant l'incendie de 1983, la subéraie était une belle futaie avec un peu de sous bois (Gaouar, 1980). La régénération naturelle par semis est faible partout et depuis très longtemps, a été cependant meilleure sur les versants exposés au nord. Actuellement, cette régénération est inexistante pour des raisons diverses (absence de glands, sécheresse, abondance du maquis, dernier incendie, etc.) (Bouhraoua, 2003).

Parmi la végétation du sous-bois de chêne-liège, nous trouvons en particulier, les Cistes, le genêt épineux, la bruyère arborescente, le lentisque, l'arbousier, la phyllère, le calycotome, le doum et le diss. Les espèces les plus abondantes sont celles qui recolonisent les zones incendiées pour former un maquis (stade ultime de dégradation) parfois impénétrable sur presque toute l'étendue de la forêt ; c'est le cas de *Ampelodesmos mauritanicus*, *Cistus monspeliensis*, *C. ladaniferus* et *Chamaerops humilis*.

La subéraie de Hafir est composée à l'état naturel essentiellement de feuillus, tels que les trois espèces de chêne (*Quercus suber*, *Q. rotundifolia* et *Q. faginea* ssp. *tlemcenensis*), l'olivier sauvage (*Olea europea* ssp. *oleaster*) et quelques pieds de frênes oxyphylles (*Fraxinus oxyphylla*), mais aussi de résineux comme le thuya de berberie (*Tetraclinis articulata*) et le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*). Le pin d'alep, le pin pignon, le cyprès commun et l'eucalyptus se rencontrent dans certains cantons dégradés. La moitié des peuplements (2 300 ha) sont purs tandis que les autres sont en mélange. Dans les stations fraîches à humidité élevée telles que les versants exposés au Nord, le bas des ravins et les bords des ruisseaux, le chêne-liège est mélangé au chêne zeen. En revanche, dans les stations chaudes et sèches aux expositions sud, il est plutôt associé au chêne-vert (Thintoin, 1948 ; Boudy, 1955 ; Sauvagnac, 1956).

Le sous bois est très riche en plantes, nous signalons : le lierre (*Hedera helix*), le chèvrefeuille (*Lonicera implexa*), la salsepareille (*Smilax aspera*), la ronce à feuille d'orme (*Rubus ulmifolius*), la daphnie ou laurier des bois ou garou (*Daphne gnidium*), l'arbousier (*Arbutus unedo*), le petit houx (*Ruscus aculeatus*), la bruyère arborescente (*Erica arborea*), le

romarin (*Rosmarinus officinalis*) et la fougère aigle (*Pteridium aquilinum*). Dans les zones dégradées, plus chaudes, nous trouvons plus d'essences secondaires telles que le chêne kermes (*Quercus coccifera*) et le genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*), mais aussi les Cistes (*Cistus ladaniferus*, *C. salviaefolius*, *C. monspeliensis*), le diss (*Ampelodesmos mauritanicus*) et le doum (*Chamaerops humilis*).

3.4.2- La subéraie de Zerdeb

Ce massif est formé d'une chênaie naturelle très diversifiée. La chênaie mixte est entremêlée à des sujets de thuya. Le chêne vert essentiellement sous forme de taillis est l'essence principale (952 ha), il a été entièrement exploité pendant la guerre mais sa régénération par rejets de souche est bien venante. Le chêne liège (567 ha) est dans un état très disséminé, il arrive difficilement à se maintenir face aux énormes pressions de parcours et des incendies répétés notamment ceux de 1975 et de 1978 qui ont dévastés presque la totalité de la subéraie (F.G.F.D.Z., 1979 ; Bouhraoua, 2003). Le reste de l'étendue renferme quelques formations de chêne zéen (283 ha) et de thuya (478 ha).

Le végétation herbacée annuelle qui accompagne le chêne liège est très riche et constitué en particulier de *Trifolium campestre*, *Sanguisorba minor*, *Ferula communis*, *Avena sterilis*, *Chrysanthemum paludosum*, *Medicago sp.*, etc.

3.4.3- La suberaie de M'Sila

La subéraie de M'Sila est une vieille futaie naturelle, de structure jardinée, à un âge moyen supérieur à 120 ans. Les arbres de plus de deux siècles y sont assez fréquents. La densité du peuplement est variable. Elle est en général de 100 à 200 sujets à l'hectare ou plus faible (< 80 tiges/ha) par endroits à la suite des incendies. Les parcelles de forte densité (400 tiges à l'hectare en moyenne) sont issues de différents reboisements.

L'espèce dominante est le chêne-liège, nous y trouvons aussi des peuplements purs de pin d'Alep issus de différents travaux de reboisement et d'autres essences secondaires telles que le cyprès, le pin maritime et l'eucalyptus, qui toutes proviennent de reboisement. Nous trouvons également à l'état naturel quelques pieds de caroubier (C.F.A., 1877 ; Anonyme, 1914 ; Boudy, 1955).

Le sous-bois qui accompagne le chêne-liège est composé sur le plateau de *Cytisus triflorus*, *Ulex africanus*, *Ranunculus monophyllus*, *R. flabeliatus*, *Cistus monspeliensis*, *C. salvifolius*, *Teline linifolia*, *Arbutus unedo*, *Smilax asperata*, *Globularia alypum*, *Lonicera implexa*, *Quercus coccifera*, *Phillyrea angustifolia*, *Helianthemum halimifolium*, *Pistacia lentiscus*, *Rosmarinus officinalis*, *Lavandula stoechas*, *Hedera helix*, *Ampelodesmos mauritanicus* et *Stipa tenacissima*. Sur le versant Nord (exposé à la mer), nous rencontrons surtout *Asteriscus maritimus*, *Salvia algeriensis*, *Calycotome intermedia*, *Echium sp.*, *Solenanthes sp.*, *Lanatus sp.* et *Erica arborea* (Thintoin, 1948).

3.5- Le climat

La caractéristique fondamentale du climat méditerranéen est la dissociation saisonnière de la chaleur et de l'humidité : une sécheresse estivale longue et des précipitations centrées en hiver (Quézel, 2000 ; Bethemont, 2003 ; Egnacio et al., 2009 ; Meddi et Meddi, 2009). Ce type de climat a fait l'objet de nombreux travaux ; les premières études reviennent à Emberger (1955), puis reprises et approfondies par Stewart (1969). Pour l'Algérie du nord, les études du climat sont peu fréquentes, elles se résument à celles de Seltzer (1946), Bagnouls et Gausson (1953), Chaumont et Paquin (1971) et Halimi (1980). Le manque ou parfois l'inexistence de station météorologique forestière pose la difficulté du choix des données climatiques pouvant mieux représenter la zone d'étude.

3.5.1-Données climatiques

L'étude du climat est une étape essentielle, car il ya une forte influence sur les formations végétales et leur productivité. En effet, une année pluvieuse confère à la forêt du chêne liège en particulier une allure saine, très verte, avec un débourrement vigoureux des arbres. Au cours des années sèches en revanche, la forêt apparait grisâtre car les arbres conservant leur feuillage de l'année précédente.

L'étude du climat d'une zone et le suivi de son évolution nécessitent de longues et nombreuses séries d'observation (Meddi et Meddi, 2009).

Dans cette étude, 4 stations de références sont retenus pour fournir des données climatiques annuelles des zones d'étude (tab. 11). Enfin, une étude comparative est établie par rapport à une période ancienne (Selzer, 1946).

Tableau 11 : Caractéristiques des stations de référence et périodes d'observation

Forêt	Station	Longitude et Latitude	Altitude (m)	Situation	Distance à la forêt	Période d'observation
Zarieffet	Mefrouche	1°16'W 34°51'N	1100	Barrage	2 Km	P et T (1914-1938) P (1971-2013) T (1975-2013)
Hafir	Mefrouche	1°16'W 34°51'N	1100	Barrage	12 Km	P et T(1913-1938) P et T (1996-2013)
Zerdeb	Ouled Mimoun	01° 03' W 34°50'N	720	Tlemcen	2 Km	P et T (1913-1938) P et T (1980-2008)
M'Sila	Misserghine	0°46'W 25°37'N	100	Station INPV	10 Km	P et T (1913-1934) P et T (1971-2015)

3.5.1.1- Précipitations

Le Nord-Ouest algérien est une zone moins pluvieuse que la région orientale. Ceci est imputé traditionnellement par sa position géographique à l'abri dorsal du moyen Atlas marocain et à son relief très accidenté qui constituent de nombreux abris aux influences maritimes. La hauteur des pluies et sa variabilité spatiale est fortement donc influencée par la

disposition topographique de la forêt, son altitude et sa localisation géographique (Aubert et Monjauze, 1946 ; Boudy, 1955 ; Meddi et Meddi, 2009).

1- Répartition annuelle et mensuelle des précipitations

Les répartitions annuelle et mensuelle des précipitations dans quatre forêts, est étudiée pendant une période de 42 ans (1971-2013) pour Zarieffet, 16 ans (1975-2013) pour Hafir, 28 ans (1980-2008) pour Zerdeb et 44 ans (1971-2015) pour M'Sila (tab.13).

Selon ce tableau, nous remarquons que les quantités de pluies varient d'une forêt à une autre, et au sein de la même forêt d'une année à une autre. Cette variabilité interannuelle est corroborée par un coefficient de variation de 41% à Hafir, 33% à Zarieffet, 25% à M'Sila et 25% à Zerdeb. Ceci représente l'un des traits originaux du climat Oranie où les pluies sont abondantes en automne et en hiver et parfois en printemps et presque nulles en été (Aubert et Monjauze, 1946 ; Meddi et Meddi, 2009).

Tableau 12: Répartition annuelle de la pluviométrie dans les quatre forêts

Forêt	Période	J	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	moy
Zarieffet	1914-1938	83,2	101	93,2	72,3	65,5	27,7	2,2	5,6	26,6	57,7	92,2	81	709
	1971-2013	76,7	81,4	97,3	70,5	56,3	11,3	3,6	4,4	25,1	46,5	82,4	61,7	617
Hafir	1913-1938	108	109	106	67,0	63,0	20,0	6,0	4,0	28,0	49,0	45	102	707
	1996-2013	67,0	76,0	62,0	53,4	60,1	8,6	7,2	9,5	19,5	25,9	51,8	60,6	502
Zerdeb	1913-1938	71,0	75,0	59,0	48,0	43,0	21	3,0	2,0	15,0	54,0	69	68	528
	1980-2008	40,4	45,3	48,3	33,8	27,9	6,1	1,2	3,7	14,3	24,6	47,6	39,4	333
M'Sila	1913-1934	71,3	59,4	48,6	40,0	31,3	10,8	1,1	3,2	20,5	44,3	82,1	86,4	499
	1971-2015	63,8	47,1	46,1	34,1	24,8	4,4	0,5	1,4	14,0	38,7	69,4	62,6	403

La station la moins arrosée est celle de M'Sila avec 499 mm/an pour l'ancienne période et Zerdeb pour la nouvelle période avec 332,5 mm/an. Alors que, la station la plus arrosée est enregistrée à Zarieffet durant les deux périodes allant de 630 mm à 709 mm mais en diminution annuelle de 78 mm. Cette réduction de pluie est nettement remarquable dans les autres forêts surtout à Hafir avec 205 mm/an contre 195 mm/an à Zerdeb et 96 mm/an à M'Sila.

Selon Meddi et Meddi (2009), en Algérie la diminution des précipitations enregistrée surtout dans les années 80 est due aux années des sécheresses sévères qui ont sévi plus de 20 ans.

D'après la figure 31, nous remarquons durant la nouvelle période une concentration des pluies au printemps et en hiver et avec un degré moindre en automne (**PHAE**) à Zarieffet. Tandis qu'à Hafir et Zerdeb, la concentration des pluies est notée en hiver et en printemps avec un régime de type **HPAE**. A M'Sila, les fortes pluies tombent en hiver et en automne avec un degré moindre en printemps et rare en été.

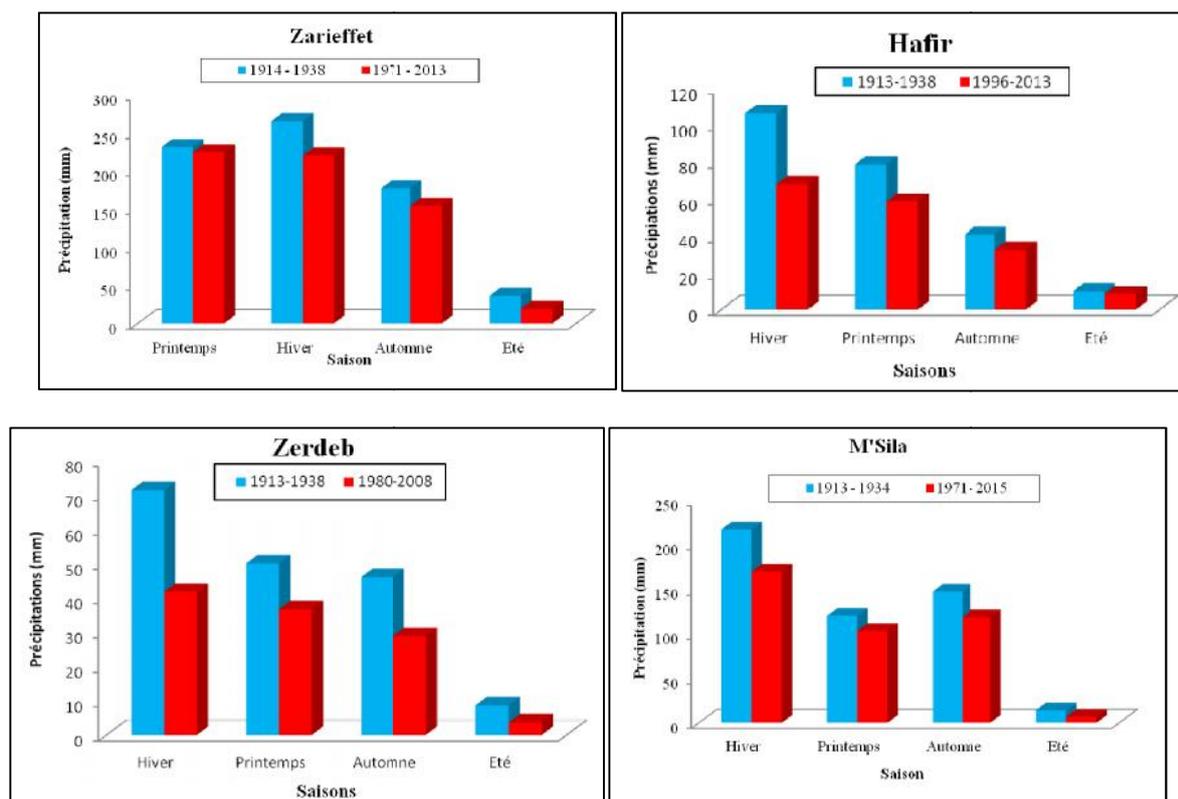


Figure 31: Répartition saisonnière des précipitations dans les quatre forêts

3.5.1.2- Température

La température est le second facteur constitutif du climat ; elle joue un rôle majeur dans la détermination du climat régional à partir des valeurs des moyennes annuelles « $T^{\circ} C$ » et mensuelles « $t^{\circ} C$ » et les valeurs moyennes des minima du mois le plus froid « $m^{\circ} C$ » et des maxima du mois le plus chaud « $M^{\circ} C$ ».

Les températures influent sur le développement de la végétation et ce sont surtout les températures extrêmes qui ont une influence directe sur la végétation par rapport aux moyennes, sauf si elles sont exceptionnelles et de courte durée (Fritts, 1976 ; Berriah, 2014).

1- Température moyenne, minimale et maximale

Dans les quatre stations, nous remarquons une légère élévation des températures moyennes annuelles en comparaison avec l'ancienne période. Une augmentation de $1^{\circ}C$ est enregistrée pour les forêts de Zariéffet et Hafir contre $2^{\circ}C$ à M'Sila et Zerdeb.

Cette augmentation de température est constatée sur tout le Nord d'Algérie au cours de ces dernières années, et ceci à cause du réchauffement climatique global qui est un phénomène d'augmentation de la température moyenne des océans et de l'atmosphère, à l'échelle mondiale et sur plusieurs années. En combinaison avec un déficit pluviométrique persistant, cette température contribue à une sécheresse sévère dans la région ayant des

conséquences dramatiques sur l'écosystème végétal (Benabadji et Bouazza, 2000 ; Martin, 2007 ; Meddi et Meddi, 2009).

Tableau 13: Températures moyennes mensuelles et annuelles T (°C)

	période	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moy.
Zarieffet	1914-1938	5,9	7,1	8,8	11,2	15,2	19,6	25,4	25,8	21,1	16,0	10,1	6,8	14,4
	1975-2013	7,0	8,6	11,1	12,2	16,3	21,3	24,6	24,5	21,1	16,9	10,5	8,2	15,2
Hafir	1913-1938	5,8	5,3	8,3	10,6	14,2	18,4	23,8	24,2	19,8	15,0	9,5	6,4	13,4
	1996-2013	8,3	8,8	10,6	12,7	16,0	20,2	25,0	24,4	20,3	17,0	11,7	9,7	15,4
Zerdeb	1913-1938	9,0	10,2	12,2	14,6	18,1	21,7	25,9	26,4	22,9	18,1	12,9	9,8	16,8
	1980-2008	9,7	10,8	12,9	15,1	18,2	20,9	24,1	24,1	21,5	18,6	14,6	14,4	17,1
M'Sila	1913-1934	11,1	11,7	12,9	14,9	16,8	19,7	22,8	23,5	21,6	18,2	14,3	12,0	16,6
	1971-2015	12,6	10,9	14,1	17,3	19,1	22,9	25,5	27,2	23,7	21,4	16,1	12,9	18,7

L'analyse des données climatiques montre que la température minimale du mois le plus froid est enregistrée en mois de janvier pour les deux périodes allant actuellement de 2,7°C à Zarieffet à 3,2°C à Hafir (Tab.14).

Alors que le mois d'Août est le mois le plus chaud. Les températures maximales varient entre 27°C et 32,9 °C pour l'ancienne période et de 30,1°C à 34,3°C pour la nouvelle période respectivement à M'Sila et Zarieffet (Tab.14).

Tableau 14: Moyenne des minima et des maxima du mois le plus froid et le plus chaud « m »

Forêt	Période	Mois le plus froid	Moyenne des minima (m)	Mois le plus chaud	Moyenne des maxima (M)
Zarieffet	1914-1938	Janvier	1,9	Août	32,9
	1975-2013	Février	2,7	Juillet	34,3
Hafir	1913-1938	Janvier	1,8	Août	33,1
	1996-2013	Janvier	3,2	Août	32,35
Zerdeb	1913-1938	Janvier	5,2	Août	32,8
	1980-2008	Janvier	3,5	Août	32,2
M'Sila	1913-1934	Janvier	8,3	Août	27
	1971-2015	Février	6,8	Août	30,1

3.5.2- Synthèse climatique

La synthèse des données climatiques, nous permet de décrire les caractéristiques du climat qui règne dans les 4 forêts. Elle fait appel à plusieurs indices calculés à partir de deux principaux paramètres climatiques ; la température et les précipitations.

3.5.2.1- Indice de continentalité

Cet indice est appelé aussi l'amplitude thermique extrême, car il résulte de M-m. Il définit l'influence maritime ou continentale de la zone. Il permet aussi, à travers ses valeurs, de caractériser le mode de croissance de certaines essences, telle que le chêne liège (Tab.15).

En se référant à la classification de Debrach (1953) qui est fondée sur l'amplitude M-m :

-) Climat insulaire : $M-m < 15 \text{ °C}$;
-) Climat littoral : $15 \text{ °C} < M-m < 25 \text{ °C}$;
-) Climat semi-continentale : $25 \text{ °C} < M-m < 35 \text{ °C}$;
-) Climat continental : $35 \text{ °C} < M-m$.

Les résultats de notre calcul de cet indice sont mentionnés dans le tableau 15.

Tableau 15 : Indice de continentalité des deux forêts

Forêt	Période	M°C	m°C	M-m °C	Type de climat
Zarieffet	1914- 1938	32,9	1,9	31,0	Semi-continentale
	1975- 2013	34,3	2,5	31,8	Semi-continentale
Hafir	1913-1938	33,1	1,8	31,3	Semi-continentale
	1996-2013	32,35	3,20	29,15	Semi-continentale
Zerdeb	1913-1938	32,8	5,2	27,6	Semi-continentale
	1980-2008	32,2	3,5	28,7	Semi-continentale
M'Sila	1913- 1934	27,0	8,3	18,7	Littoral
	1971- 2015	29,3	5,9	23,4	Littoral

En analysant les données du tableau, nous constatons que la forêt de M'Sila jouit d'un climat méditerranéen littoral. Tandis qu'à Tlemcen, les 3 forêts se rattachent par contre au climat méditerranéen semi-continentale ou d'altitude.

3.5.2.2- Indice de sécheresse estivale

L'indice de sécheresse est exprimé par le rapport de la pluviosité « PE » à la moyenne des maxima du mois le plus chaud « M ». Selon Daget (1977) et Emberger (1942), sa valeur ne doit pas excéder 7 mais pour le climat méditerranéen elle est limitée à 5. Il varie dans le même sens que les précipitations (Ennajah et al., 2010). Les valeurs de cet indice calculé pour chaque forêt et période sont consignées dans le tableau 16.

Tableau 16: Indice de sécheresse estivale des deux forêts

Forêt	Période	Pluviosité estivale « mm »	M°C	I.e
Zarieffet	1914- 1938	36	32,9	1,09
	1975- 2013	19,22	34,3	0,56
Hafir	1913-1938	30	33,1	0,9
	1996-2013	25,3	32,35	0,7
Zerdeb	1913-1938	26	32,8	0,8
	1980-2008	11	32,2	0,3
M'Sila	1913- 1934	14	27	0,52
	1971- 2015	6,43	29,3	0,22

Selon le tableau, les valeurs d'indice de sécheresse sont inférieures à 2 dans les 4 subéraies. Ces valeurs indiquent que les forêts sont donc typiquement méditerranéennes. Cela est déjà confirmé par les études d'Alcaraz (1989) qui a montré, qu'en Oranie, certaines espèces végétales peuvent s'accorder avec la valeur d'Is < 2.

3.5.2.3- Quotient pluviométrique et climagramme d'Emberger

L'extrême irrégularité interannuelle des précipitations dans la région méditerranéenne a permis de définir divers types de bioclimat. Ces derniers jouent un rôle majeur dans l'organisation des structures de végétation (Quézel, 2000). Le climagramme d'Emberger est le moyen le plus utile pour définir le bioclimat de chaque zone d'étude. Il est réalisé par le calcul du quotient pluviométrique (Q_2) et son positionnement par rapport à la valeur de m . En effet, le « Q_2 » est déterminé par la formule suivante établie par Emberger (1955) :

$$Q_2 = 2000 P / M^2 - m^2$$

P : moyenne des précipitations annuelles (mm)

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud ($^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.2$)

m : moyenne des minima du mois le plus froid ($^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.2$)

Tableau 17 : Valeur du « Q_2 » et étages bioclimatiques des deux forêts

Forêt	Période	P mm	M (°C)	m (°C)	Q_2	Etage bioclimatique	Variante thermique
Zarieffet	1914-1938	708,2	32,9	1,9	78,61	Sub- humide moyen	Frais
	1975-2013	569,03	34,3	2,5	61,36	Sub- humide inférieur	Frais
Hafir	1913-1938	707	33,1	1,8	77,76	Sub- Humide inférieur	Frais
	1996-2013	501,6	32,35	2,2	59,17	Sub- Humide inférieur	Frais
Zerdeb	1913-1938	528	32,8	5,2	65,5	Semi Aride supérieur	tempéré
	1980-2008	332,5	32,2	3,5	39,83	Semi Aride inférieur	tempéré
M'Sila	1913 - 1934	499,0	27	8,3	91,75	Sub- humide inférieur	Chaud
	1971 - 2015	397,57	29,3	5,9	58,43	Semi-aride supérieur	Doux

D'après le tableau et le climagramme d'Emberger schématisé dans la figure 32, nous remarquons une diminution de la valeur de Q_2 dans les 4 stations. Ceci provoque un décalage de ces forêts vers les étages bioclimatiques inférieurs voire même les sous étages.

En effet, nous observons un décalage de la forêt de M'Sila de l'étage bioclimatique sub-humide inférieur à hiver chaud vers l'étage semi-aride supérieur à hiver doux pour la nouvelle période. En ce qui concerne les forêts de Zariéffet et Hafir, celles-ci ont subi un léger glissement dans le même étage bioclimatique sub-humide, en passant du sous étage supérieur vers l'inférieur à hiver frais. La forêt de Zerdeb est décalée vers le sous étage bioclimatique semi-aride inférieur à hiver tempéré.

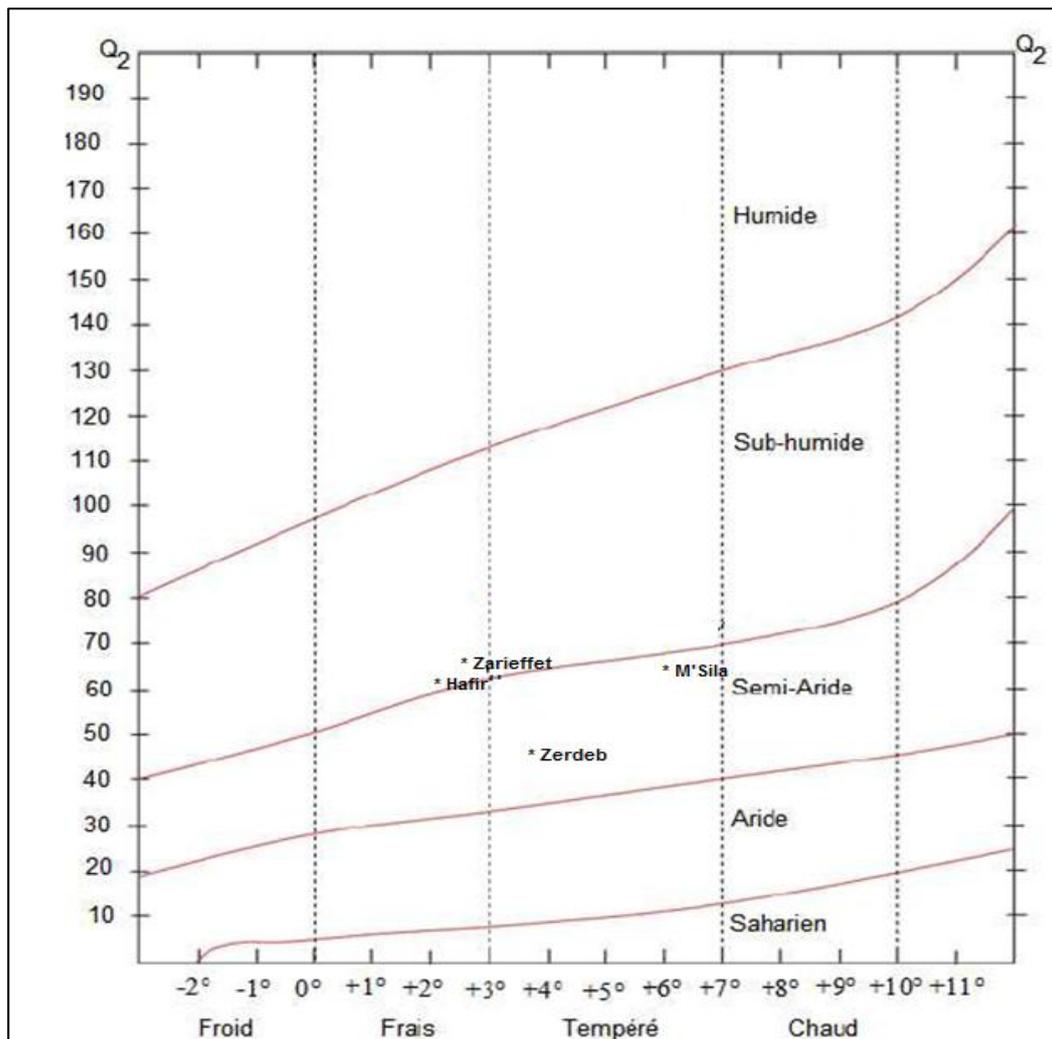


Figure 32: Quotient pluviothermique et climagramme d'EMBERGER des 4 forêts

CHAPITRE IV

Matériel et Méthodes

4.1- Principaux objectifs de l'étude

Le liège est le produit forestier le plus valorisé des forêts du chêne liège ; il constitue une ressource stratégique du fait de ses multiples usages dont sa principale utilisation est la fabrication des bouchons naturels pour les liquides précieux. Donc, tout ce qui relie à la qualité de ce bouchon aura des retombées immédiates sur la suberaie.

La commercialisation du liège se base actuellement sur sa qualité, et un liège de bonne qualité est 4 à 5 fois plus cher qu'un liège de basse qualité. Pour cela, la qualité du liège est devenue le souci majeur des industriels, propriétaires forestiers, gestionnaires et chercheurs. D'ailleurs, c'est un facteur déterminant de l'utilisation finale de la planche de liège.

Actuellement, dans les industries espagnoles et portugaises du liège existent des machines qui utilisent un système de vision artificielle qui utilise la technique d'analyse d'image, qui permet de classer automatiquement et très rapidement les bouchons et les rondelles de liège naturel par classe de qualité (Compos et Molinas, 1999). Cette technologie a donné une autre dimension au concept de « *qualité du liège* ». Malheureusement, en Algérie la détermination de la qualité du liège se base encore sur l'appréciation visuelle des opérateurs expérimentés, tandis que cette méthode est attachée à une grande subjectivité puisque les résultats varient d'un opérateur à un autre, ce qui a un effet négatif sur la valorisation et la vente correcte du produit. Dans les dépôts du liège au territoire national, le liège est vendu selon trois classes de qualité ; le liège mâle, le liège flambé et liège de reproduction (Fig.33). Mais ce dernier liège doit être classé en 7 catégories de qualité de la bonne qualité jusqu'au rebut dont le prix de vente varie d'une classe à une autre (Pereira et al., 1996).



Figure 33: Piles de liège flambé (A) ; liège de reproduction (B) et liège mâle (C) à Hafir (Photos Ghalem, 2012)

Sur le plan scientifique, l'étude de la qualité du liège est une technique complexe à cause de l'hétérogénéité de l'aspect du liège qui est constitué des canaux lenticulaires et des défauts physiologiques, génétiques et extrinsèques à l'égard de la tâche jaune, les soufflures, les inclusions ligneuses, les fentes et les trous d'insectes(Gonzalez-Adrados, 2005).

Parmi les principaux objectifs de cette étude :

- suivi du processus de fabrication à partir de la planche brute jusqu'au produit final à savoir le bouchon ou la rondelle
- estimation du rendement industriel des planches de liège ainsi leurs potentiels économiques
- quantification de la qualité du liège et des bouchons

L'étude de la qualité du liège est réalisée à partir des mesures de certains caractères physiologiques tels que ; la porosité, la nature et l'abondance des défauts naturels par l'utilisation des logiciels spécialisés d'Analyse d'Image (Image Pro7) et Cork class 1.1, disponibles au niveau du laboratoire de la qualité du liège à l'institut National de la Recherche Agronomique et Vétérinaire (INIAV) au Portugal.

L'étude de la largeur des accroissements a fait partie de cette étude, ce qui nous permettra de connaître l'âge du liège exploité, le rythme de sa croissance à travers l'étude des chronologies individuels et enfin l'évaluation de l'influence du climat (les précipitations et températures) sur les variations à court terme des accroissements annuels du liège.

Les démarches suivies pour le prélèvement des échantillons, les traitements, mesures et observations, ainsi que les analyses statistiques des résultats obtenus sont présentés en détails dans ce chapitre.

4.2- Plan d'échantillonnage

L'échantillonnage est l'étape préliminaire dans chaque étude, il doit être réalisé avec une grande précision pour que le choix des éléments parmi un ensemble très volumineux soit représentatif de cet ensemble, d'où le meilleur choix est celui qui maximise la précision et minimise le coût de l'opération (Letreuch-Belarouci, 1998 ; Rondeux, 1999 ; Ezzahiri et al., 2001).

Toutefois, sur un dépôt du liège, il est impossible d'étudier toutes les planches de liège, pour cela, nous faisons recours à l'inventaire par un échantillonnage plus adapté et par la suite nous avons généralisé les résultats obtenus à l'ensemble de la pile du liège et par conséquent à la forêt (Benkirane et al., 2001 ; Ezzahiri et al., 2001).

Dans notre étude, nous avons adopté un échantillonnage de type aléatoire qui ne prend pas en compte les empilages anarchiques des planches (Sghair et al., 2011).

En effet, dans ce type d'échantillonnage, toutes les combinaisons possibles des unités d'échantillonnage sont tirées de la population avec les mêmes chances d'être sélectionnées (planches de différentes épaisseurs, âges, défauts et porosités...) (Benkirane et al., 2001 ; Ezzahiri et al., 2001 ; Sghair et al., 2011).

4.2.1- Choix des planches de liège

Durant notre travail expérimental, nous avons trié 132 planches de liège provenant de 5 sites différents. En effet, l'échantillonnage a été réalisé au niveau des piles du liège stocké dans le parc de deux unités industrielles de transformation du liège en Algérie (fig.34 et 35).



Figure 34: Localisation géographique de 2 usines de transformation du liège

Au niveau de la première unité industrielle installée à Béni Mester (Tlemcen), nous avons trié :

- 30 planches du liège exploité en 2010 de la forêt domaniale de Zarieffet (Tlemcen),
- 17 planches du liège de la forêt domaniale de Zerdeb (Tlemcen) récolté en 2011,
- 30 planches du liège de la forêt domaniale de Hafir (Tlemcen), exploité en 2014
- 25 planches du liège de la forêt domaniale de M'Sila (Oran) exploité en 2014.

Tandis qu'au niveau de la société industrielle du bois et liège (SIBL), localisée à Taheir (Jijel), nous avons échantillonné 30 planches du liège exploité en 2014 provenant de l'une des forêts de la wilaya de Skikda.

En général, les piles de liège stocké dans les deux usines sont rectangulaires, bien que, ces dimensions sont variables ; elles sont de 8 mètres de longueur, 5 mètres de largeur et 3 mètres de hauteur dans la SIBL à Jijel, contre 5 mètres de longueur, 3 mètres de largeur et 2,5 mètres de hauteur à Beni Mester. Ces dimensions sont conformes aux recommandations de la confédération Européenne du liège (C.E.LIEGE) qui fixe un maximum de 6 m pour la largeur, 2 à 2,5 m de hauteur et une longueur indéterminée. Au Portugal, les piles ont habituellement 10 m de largeur et plus de 2 m de hauteur. En Espagne, elles sont soit carrées ou circulaires de moins de 2 m de hauteur (Anonyme, 2006).



Figure 35 : Parc à liège au niveau de l'usine de Béni Mester (à gauche) et la société industrielle du bois et liège (à droite) (Photos Ghalem, Beni mester 2012, Jijel 2015)

Durant notre sélection des planches au niveau des parcs, nous avons rencontré plusieurs difficultés qui résident dans la présence des planches de différentes qualités visuelles, différentes catégories d'épaisseurs, des petits morceaux et des défauts de diverses natures. Devant cette situation, nous avons été contraints d'éliminer toutes les planches très minces (<15 mm d'épaisseur), les planches présentant des défauts majeurs (rebut) et les planches trop crevassées qui ne peuvent pas être transformées en bouchons ou en rondelles naturels.

En effet, 77 planches-échantillons des trois forêts Zariéffet, Zerdeb et Skikda ont subi le procédé industriel normal de fabrication de bouchons et disques naturels, alors que le liège de Hafir et M'Sila n'ont pas été pris en considération dans cette partie à cause de la fermeture de l'unité industrielle de Beni Mester.

Nous avons distingué 2 catégories de planches de liège selon leur épaisseur et destination:

- les planches à épaisseur supérieure à 27 mm ; elles sont destinées à la fabrication des bouchons naturels,
- les planches à épaisseur inférieure à 27 mm : elles sont destinées à la fabrication des rondelles naturelles.

4.2.2- Choix des bandes et des bouchons de liège

Dans la chaîne de fabrication des bouchons et rondelles, les planches sont coupées en bandes d'une largeur légèrement supérieure à la longueur du bouchon à fabriquer (soit 50 mm). Parmi l'ensemble des bandes coupées de chaque planche, nous avons sélectionné la moitié des bandes par un échantillonnage alterné à partir de la première bande produite pour un examen visuel des défauts et leur classification en classe de qualité (fig.36).



Figure 36: Planche du liège après découpage en bandes, les bandes numérotées sont celles triées pour examen des défauts (Photo Ghalem, Beni Mester 2012)

Les bandes après l'examen visuel, sont ensuite tubées et perforées à l'aide d'une tubeuse pour fabriquer les bouchons de 24X45mm de diamètre. Cette étape est généralement semi automatique (fig.37). Les bouchons et les rondelles ainsi produits de chaque bande ont fait l'objet d'un examen visuel.



Figure 37: Les étapes de découpage et tubage dans le processus de fabrication des bouchons (Photos Ghalem, Beni Mester 2012 ; SIBL 2015)

4.3- Travail expérimental du rendement industriel (au niveau des usines)

La première partie de ce travail a été déroulée au niveau de deux unités de transformation du liège précédemment citées à savoir la bouchonnerie de Béni Mester et celle de la Société Industrielle Bois et Liège de Taheir (SIBL).

L'approche utilisée dans l'étude du rendement industriel des 77 planches du liège de trois provenances (Zarieffet, Zerdeb et Skikda) suit les étapes déjà définies par Pereira et al. (1994), Costa et Pereira (2004) et Pereira (2007). Par contre, l'analyse d'image pour apprécier la qualité du liège et l'étude des accroissements a suivi la méthodologie de Caritat et al. (1996) ; Pereira et al. (1996); Ferreira et al. (2000) ; Benkirane et al. (2001) ; Caritat et al. (2000) ; Costa et al. (2001, 2002 et 2003).

4.3.1- Présentation succincte des deux unités de transformation du liège

4.3.1.1- La bouchonnerie de Béni Mester

La bouchonnerie de Béni Mester est une unité de transformation du liège de petite taille. Elle est située à 8 km du chef lieu de la wilaya de Tlemcen, précisément dans le village de Béni Mester. Elle a démarré la production des bouchons et rondelles en liège en 2010 après la fermeture de l'ancienne unité de Sabra. Elle employait environ 10 ouvriers qui assurent l'ensemble du processus de fabrication, depuis l'empilage de la matière première jusqu'au tri visuelle du produit semi fini, les bouchons et rondelles naturelles.

Pendant trois ans, cette unité a été alimentée par le liège de l'ouest algérien et surtout le liège provenant des wilayas de Tlemcen et d'Oran (fig.38). Cette unité a cessé de fonctionner en 2014 à cause de plusieurs contraintes dont principalement le manque accru de la matière première. Suite à son fermeture, notre travail sur le rendement a été bloqué dont on n'a pas pu le continuer pour le liège de Hafir et M'Sila.



**Figure 38: La Bouchonnerie de Béni Mester à Tlemcen
(Photos Ghalem, Beni Mester 2012)**

4.3.1.2- La Société Industrielle Bois et Liège de Jijel « SIBL »

La SIBL se situe dans la zone industrielle d'Oueld Saleh à Taheir (Jijel); elle est fondée en 1993. Elle assure la fabrication des bouchons et disques du liège naturel mais aussi une multitude de produits à base du liège aggloméré (boudins, bouchons agglomérés, granulés raffinés, panneaux d'isolation) et Brocken (fig.39). Elle dispose une capacité de transformation qui arrive à 2000 tonnes/an. L'usine est alimentée par le liège provient de plusieurs conservations en l'occurrence Jijel, Souk-Ahras, Skikda, Taref, Mila, Sétif et Tizi Ouzou. Tous les produits de transformation sont exportés vers plusieurs pays dont principalement le Portugal.

La société a souvent assuré un emploi permanent d'environ 80 ouvriers, mais à cause de la rareté de la matière première ces dernières années, le nombre est réduit à plus de la moitié soit 30 ouvriers. Ces derniers assurent le contrôle visuel, tri des planches et les différentes étapes du processus de fabrication des produits issus du liège.

En 2004, la SIBL a signé un partenariat avec le groupe Amorim du Portugal connu pour ces performances dans le domaine de la transformation du liège dans le monde. Afin, d'assurer la pérennité et la productivité de la société, SIBL a développé une présence commerciale au niveau national et international.



Figure 39: La Société Industrielle Bois et Liège de Jijel (Photos Ghalem, Jijel 2015)

4.3.2- Préparation des planches de liège

Il est nécessaire de mentionner, que les planches de liège ramenées à l'usine doivent être empilées à l'extérieur durant une période de 6 mois au minimum avant le bouillage. Par

la suite, elles sont trempées dans l'eau bouillante pendant une heure à 100°C, afin de favoriser une expansion linéaire et volumétrique des planches d'une part et de les nettoyer par élimination des substances solubles dans l'eau (tanins, cires et autres) et même des microorganismes et améliorer la flexibilité et l'élasticité du liège d'autre part.

Après la cuisson, les planches sont laissées séchées à l'air libre durant une période de 1 à 3 jours selon les conditions climatiques (fig.40). Si la durée de séchage sera longue, le liège devient très sec et difficile à travailler ce qui nécessite un autre bouillage. Ce n'est qu'après cette période de stabilisation que se fait la sélection des planches.



Figure 40: Bouillage et stabilisation des planches au niveau de l'usine (Photos Ghalem, Jijel 2015)

Après la période de stabilisation, les planches sont destinées au processus de transformation (fig.41). En première étape, les planches sont dessinées à la coupe pour obtenir des morceaux de liège plus au moins homogènes en qualité et calibre. Cette étape est prise en considération dans la chaîne de production du liège au niveau de la SIBL, tandis qu'au niveau de l'unité industrielle de Beni Mester, elle est éliminée à cause de l'absence des ouvriers qualifiés et l'ignorance des méthodologies internationales dans la fabrication des bouchons en liège naturel.



Figure 41: Planche de liège destinée à la fabrication des bouchons (Photos Ghalem, Beni Mester 2012)

Une bande-échantillon de 15x15 cm de la partie la plus représentative de la planche est prélevée de chaque planche. Par la suite, chaque échantillon est identifié en mentionnant sa provenance (la forêt) et le numéro de la planche traitée de 1 à 30.

Enfin, tous les échantillons sont ramenés au laboratoire pour des mesures et observations ultérieures nécessaires pour la détermination de leur qualité.

4.3.3- Etude du rendement industriel des planches du liège

Le rendement industriel d'une planche de liège est directement lié à la surface de la planche du liège. En effet, les planches les plus larges avec une forme géométrique homogène ont un rendement potentiel en bouchon très élevé (Costa et Pereira, 2004 et Pereira, 2007). Mais souvent la surface d'une planche de liège n'est pas homogène, auquel s'ajoute la présence des défauts influençant sur son rendement.

Pour étudier le rendement industriel des planches sélectionnées, nous avons suivi le processus de fabrication des bouchons depuis le découpage des bandes, la perforation des bouchons ou rondelles, la sélection visuelle des bouchons puis l'emballage du bouchons semi-fini dans des sachets pour vente (fig.42).

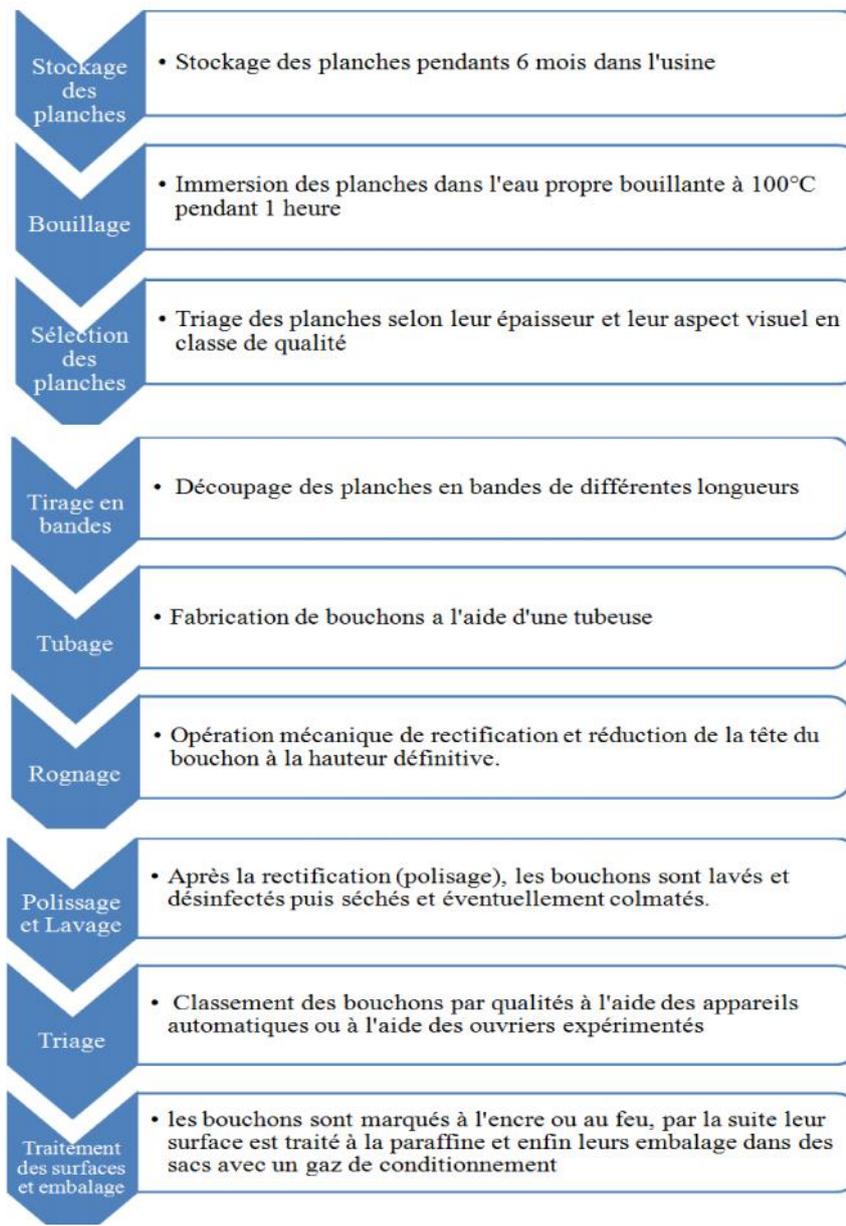


Figure 42 : Schéma simplifié du processus industriel de fabrication des bouchons naturels (originale)

Au cours de chaque étape nous avons effectué des mesures de différents paramètres avec un hygromètre, ruban mètre, puis à l'aide du logiciel Image J 1.49 à savoir ;

- **La longueur** : c'est la distance maximale mesurée verticalement entre deux points constituant les limites supérieure et inférieure de chaque planche.
- **La largeur** : représente la distance horizontale mesurée entre deux points constituant les limites latérales gauche et droite
- **L'épaisseur** : est mesurée à l'aide d'un pied à coulisse électronique, nous avons mesuré l'épaisseur de chaque planche des 4 cotés.
- **Le poids** ; à l'aide d'une balance nous avons réalisé des mesures du poids des planches, des bandes tubés, des bouchons, et des déchets.
- **L'humidité** ; elle est mesurée à 3 endroits différents dans la planche à l'aide d'un hygromètre « AQUA BOY » ; c'est un appareil digital travaillant avec des tables d'équivalence (fournies), spécialement conçu pour la mesure d'humidité dans le bois, le liège et les matériaux de construction.
- **La surface** ; la surface d'une planche de liège est généralement irrégulière, pour cela nous avons utilisé le logiciel Image J 1.49 pour le calcul de la planche-échantillon, après avoir délimité le contour de la planche (fig.43)

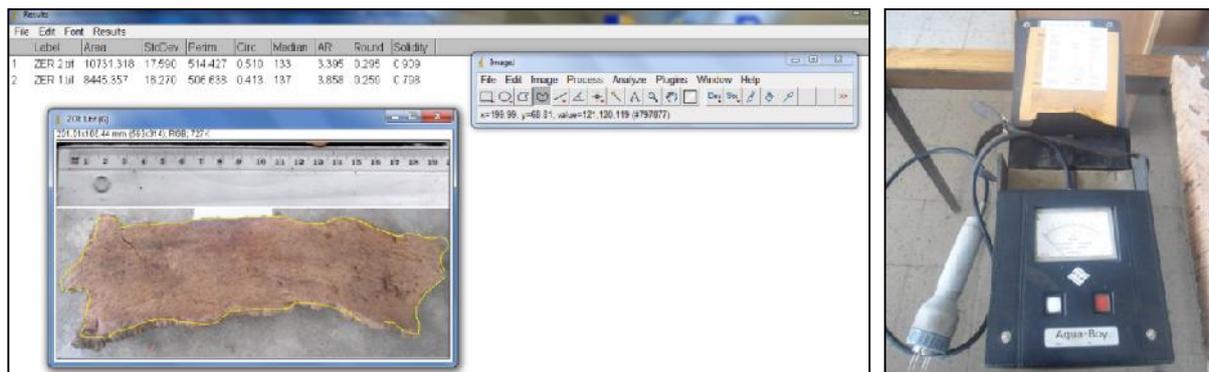


Figure 43: Calcule de surface de la planche du liège à l'aide du logiciel Image J 1.49 (a gauche) et l'humidité à l'aide d'Aqua Boy (a droite) ((Photos Ghalem, Jijel 2015)

4.3.4- Analyse visuelle et classification des planches du liège

A l'usine, l'étude n'a pas été limitée aux mesures du poids et dimensions des planches seulement, mais a été étendue à l'appréciation visuelle de 50% des bandes coupées de chaque planche. Pour cela, chaque bande est divisée en unité de surface de 50 cm² (10x5 cm) (fig.44).

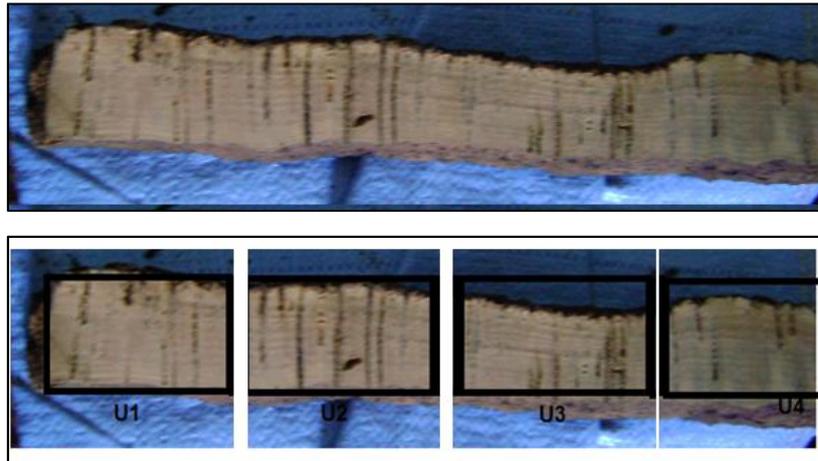


Figure 44 : Appréciation visuelle d'une bande-échantillon avant tubage (originale)

Par la suite, à l'aide d'un opérateur expérimenté nous avons utilisé des planches de référence IPROCOR imprimée, dont nous avons attribué à chaque unité une des classes de qualité appropriées selon la classification IPROCOR (fig.45).

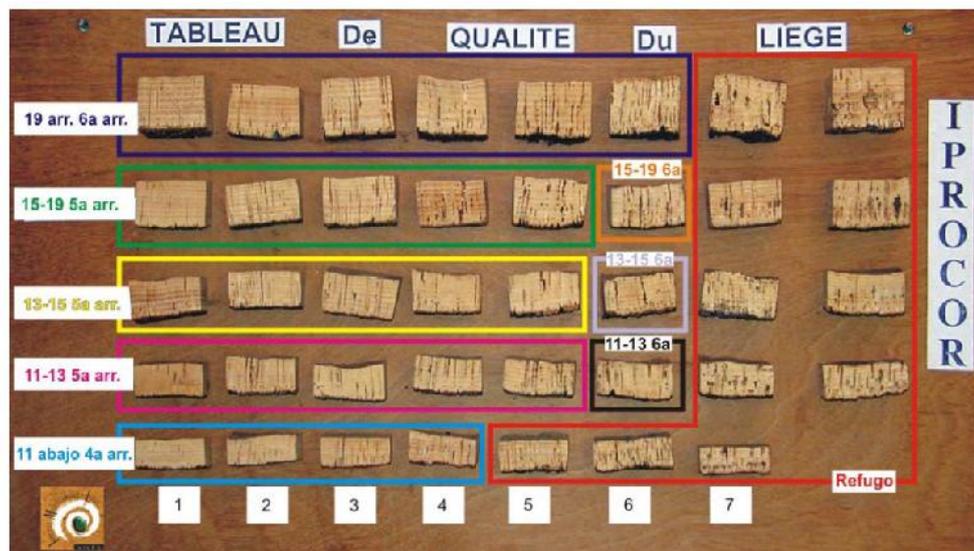


Figure 45: Tableau de qualité du liège, illustrant les 9 catégories de la classification de l'ICMC-IPROCOR (Beltran, 2009)

4.3.5- Etude des défauts

L'étude des défauts est une étape préliminaire dans la détermination et le classement de la qualité du liège (Benkirane et al., 1998 ; Ferreira et al., 2000). En effet, la détermination des défauts est faite par un examen visuel des échantillons à l'aide d'un opérateur expérimenté, et par l'utilisation des photos de référence du logiciel Cork Class 1.1 représentant tous les types de défauts (fig.46). L'évaluation est liée à plusieurs rangs, de façon que chaque défaut soit représenté par trois images pour chaque rang qui sera codé de 0 à 2 (fig.46).

Par la suite, les défauts détectés sont mentionnés dans une fiche de données pour chaque subéraie (fig.46). Ensuite, ils sont traités par l'analyse factorielle des correspondances (AFC) à l'aide du logiciel XI Stat 2016.

Les anomalies prises en considération sur la section transversale des planches sont distinguées selon les normes ISO DIS 633 et les critères de classification des bouchons publiés par la Fédération nationale des syndicats de liège et le *Cork Quality Council*.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
IDENTIDAD	Défaut >20%	Ventre	Croute	Exfoliation	Tron d'insecte	Fente	Tache jaune	tache noir	Liège vert	Liège doublé	Liège terreux	scufflure	autres taches	classe de qualité	
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															

Figure 46 : Fiche de notation des défauts du liège selon le logiciel CORKCLASS1.0 (à droite) et les photos de référence de quelques défauts (à gauche)

4.3.6- Analyse visuelle et classification des bouchons et rondelles naturelles

4.3.6.1- Les bouchons

La classification des bouchons est réalisée par l'examen visuel qui permet de déceler les défauts liés à la matière ou à la fabrication qui seraient susceptibles d'affecter l'étanchéité (Pereira et al., 1996 ; Oliveira et al.,2003 ; Anonyme, 2009). Les bouchons examinés sont comparés à des bouchons de référence sur une planche photographique de référence (FFSL), celle-ci répertorie 7 catégories qualitatives distinctes de 0 à 6 comprenant chacune 10 bouchons de taille 44x24 (fig.47). En effet, chaque bouchon est classé selon le nombre et la distribution des lenticelles, et la présence des défauts naturels. A la fin, nous avons compté le nombre de bouchons produits dans chaque classe de qualité.

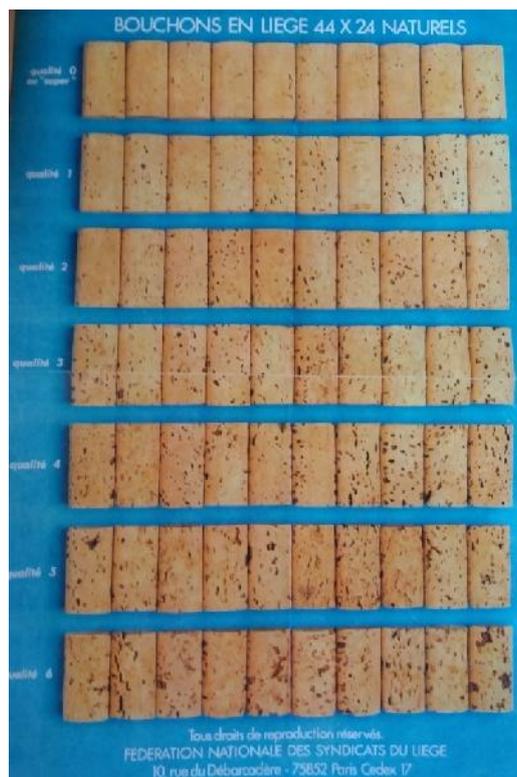


Figure 47 : Planche de référence des classes de qualité des bouchons FFSL

La qualité visuelle des bouchons en liège est classée en 7 catégories d'après l'abondance et la taille des lenticelles ainsi que la présence des défauts naturels ; extra ou 0, 1°, 2°, 3°, 4°, 5°, 6° et rebut (tab.18) (Montoya Oliver, 1988 ; Pereira et al., 1994 ; Lopes et Pereira, 2000 ; Anonyme, 2006 ; Costa et Pereira, 2006 ; FFSL, 2006).

Le contrôle dimensionnel est très nécessaire dans l'opération de classification car il vérifie la longueur et le diamètre des bouchons (Anonyme, 2006 ; 2007). Mais, dans notre étude, nous nous sommes basés sur les défauts naturels liés au liège.

Tableau 18 : Classes de qualité des bouchons de liège (Pereira et al., 1994 ; Lopes et Pereira, 2000 ; Anonyme, 2006 ; FFSL, 2006).

Classe de qualité	Norme Internationale	Durée de conservation, suivant calibres
0	Extra	10 à 20 ans
1	1 ^{ère}	6 à 12 ans
2	2 ^{ème}	4 à 10 ans
3	3 ^{ème}	3 à 7 ans
4	4 ^{ème}	2 à 4 ans
5	5 ^{ème}	6 mois à 18 mois
6	6 ^{ème}	3 mois à 5 mois

4.3.6.2- Les rondelles

Dans la classification des rondelles de liège en classe de qualité, nous avons introduit la notion de gamme avec trois niveaux décroissants d'exigence "A, B et C", dont la catégorie "C" représente la qualité minimum, "A" la qualité supérieure et "B" la qualité moyenne (Lopes et Pereira, 2000 ; Costa et Pereira, 2004 ; Costa et Pereira, 2006 ; Anonyme, 2009). Chaque gamme recouvre plusieurs niveaux de choix et chaque niveau peut montrer plusieurs présentations visuelles puisqu'il existe des variations naturelles dans l'apparence du liège (porosité, couleur). Lors d'un examen visuel, il est possible de distinguer différents niveaux de choix dans chaque gamme (Anonyme, 2009). Les paramètres prisent en compte pour déterminer le choix visuel sont ; la porosité, les fentes, la présence de la croûte, la tâche jaune, le liège vert, les trous de fourmi... (fig.48).

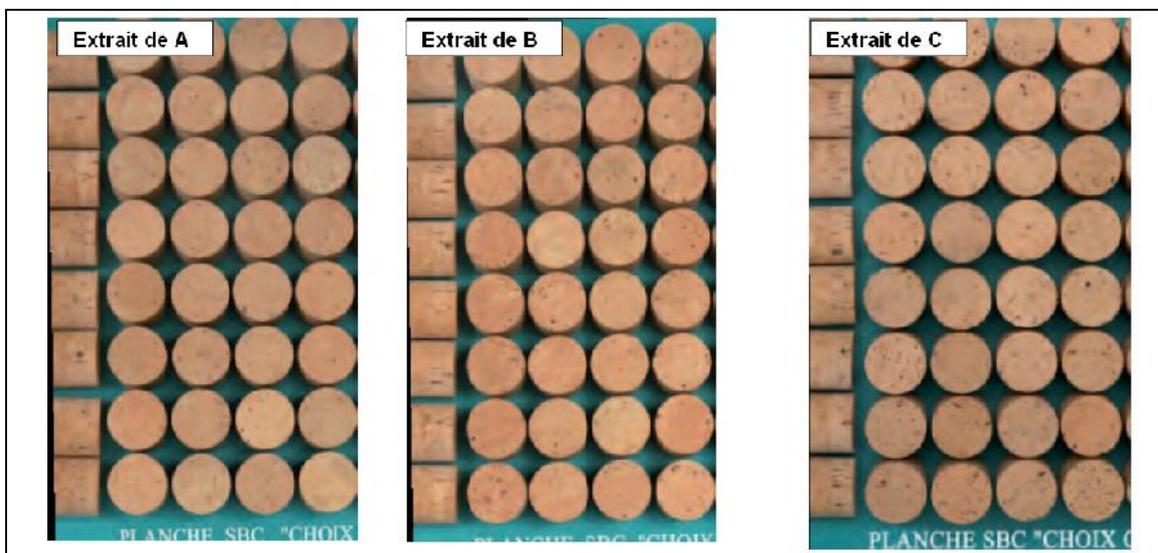


Figure 48 : Planche de référence des classes de qualité des rondelles (Anonyme, 2009)

4.4- Au laboratoire

Les échantillons du liège sont ramenés au laboratoire pour l'étude des épaisseurs, les accroissements annuels, la porosité et leur classification automatique en classe de qualité.

En effet, grâce à la disponibilité de l'outil « analyse d'image » en l'occurrence le logiciel Image Pro Plus 7 au niveau du laboratoire INIAVI au Portugal, nous avons étudié les accroissements annuels et la qualité du liège de Zariéff et de Zerdeb récolté en 2014. Par la suite, nous avons comparé les résultats de la porosité avec celle du liège Portugais prélevé du Mantado dans la région sud Ouest du Portugal « Benavente ».

Par ailleurs, les accroissements annuels des lièges de M'Sila et de Hafir sont mesurés à l'aide de la machine LINTAB 5, disponible au niveau de la station de l'INRF de Tizi Ouzou à Azazga en 2015.

4.4.1– Préparation des échantillons du liège

Au laboratoire, les échantillons sont triés une 2^{ème} fois selon leurs aspect visuel et épaisseur. Les échantillons de liège rebut, trop crevassés sont éliminés du lot avec certains échantillons présentant des défauts majeurs qui rend impossible leur étude.

À la fin de cette opération, nous avons retenu 27 échantillons du liège de Zarieffet, 14 échantillons de Zerdeb, 25 échantillons de M'Sila et 30 échantillons de Hafir. Au total, 96 échantillons ont été pris à l'étude.

Par la suite, les échantillons du liège ainsi sélectionnés sont préparés aux mesures après avoir subi un ponçage sur les deux sections transversales au moyen d'une ponceuse dotée de papier abrasif (papier vert). Cette opération assure une parfaite observation de moindre détail de la structure du liège. Elle permet aussi une nette observation des cernes avec leurs limites qui sont marquées par une zone de couleur claire correspond aux cellules formées en printemps-été et celle foncée formée de cellules d'automne.

4.4.2 - Acquisition d'image numérique

Après l'opération du ponçage, les échantillons sont ensuite scannés sur les deux faces transversales à l'aide d'un scanner Epson GT1500, pour obtenir une base des données numériques des échantillons. Les images sont scannées avec une règle décimale pour permettre son calibration, car le calibrage préalable permet d'obtenir les résultats comme valeur réelle (fig.49).

Les images sont enregistrées en format TIFF sans compression (tif ou tiff) qui permet de garder la qualité de l'image après chaque réenregistrement et ne cause aucune perte d'information à chaque manipulation comme si le cas du format JPEG (jpeg ou jpg) (Anonyme, 2009).

Les images scannées sont stockées dans un dossier référencié par la provenance du liège et l'année d'exploitation ainsi que chaque échantillon est référencié par un numéro et le nom de la forêt.



Figure 49: Exemples d'Images scannées des échantillons du liège de Hafir dans les deux sections transversales (Photos originales)

4.4.3 – Etude des accroissements

Les accroissements constituent un véritable stock d'information sur l'état physiologique de l'arbre et les conditions climatiques durant sa période de croissance. En effet, l'étude des accroissements annuels du liège permet de reconstituer l'histoire de l'arbre du chêne liège durant une courte période n'accédant pas une décennie (Caritat et al., 1996 ; Caritat et al., 2000 ; Costa et al., 2003 ; Ghalem, 2010).

4.4.3.1- Inter datation

Avant de procéder aux opérations de mesures des accroissements, un visuel inter datation des cernes du liège est nécessaire (Caritat et al., 1996 ; Costa et al., 2002). C'est une opération préalable à toute étude dendrochronologique (Fritts, 1976 ; Fritts et Swetnam, 1989). Elle s'agit de remettre à chaque cerne l'année exacte de sa formation (Lebourgeois et Merian, 2012). Cette étape est moins compliquée sur les échantillons du liège en comparaison avec le bois, grâce à la connaissance de l'année du dernier cerne au dessous de l'écorce d'une part et le court cycle de croissance du liège d'autre part.

En effet, le principe d'inter datation repose sur l'utilisation d'années caractéristiques pour lesquelles la grande majorité des échantillons présente le même comportement (Demartin, 1974 ; Schweingruber, 1986 ; Lebourgeois et Merian, 2012). L'année caractéristique marque donc des événements extrêmes survenus au cours de la vie de l'arbre, et plus généralement de l'action limitante ou stimulante des facteurs climatiques sur la croissance, qui se détermine par des cernes plus étroits ou plus larges que la moyenne (Fritts, 1976 ; Messaoudène, 1989 ; Caritat et al., 1996 ; Lebourgeois et Merian, 2012).

4.4.3.2- Mesure de la largeur des accroissements annuels du liège

Les systèmes de mesure de la largeur des cernes sont multiples. Dans notre étude deux méthodes ont été utilisées :

- **1^{ère} méthode :**

Cette méthode se base sur les mesures de la largeur des accroissements à partir des images scannées à l'aide du logiciel Image Pro Plus 7. Elle est réalisée au niveau du laboratoire INIAVI au Portugal en 2014 pour les échantillons de Zariéff et Zerdeb.

Pour une nette visibilité des limites des cernes sur l'écran de l'ordinateur, l'image peut être grossie après la détermination de l'échelle, ce qui nous permet de tracer un trait à l'aide de la souris qui marque le début et la fin de chaque cerne.

Les résultats sont obtenus avec une précision de 1/100^{ème} mm, elles sont exportés vers un fichier Excel identifié par le nom de l'image. En effet, tous les accroissements sont mesurés, incluant les deux demi accroissements correspondant à l'année du déliègeage précédent et l'année de l'échantillonnage (2010. 2011).

En effet, au cours du processus de mesure, un contrôle visuel est effectué on comparant la série graphique par la largeur réelle des accroissements. En fin, les résultats sont exportés vers un fichier Excel (fig.50).

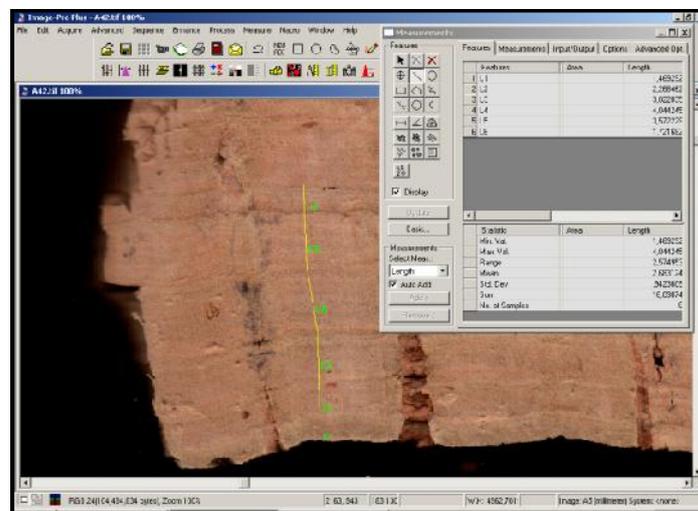


Figure 50: Mesure des accroissements du liège par la méthode d'analyse d'image (Photo originale)

- **2^{ème} méthode :**

Cette méthode est utilisée dans les mesures de la largeur des cernes de bois avec une longue série chronologique. Dans notre étude et grâce à la disponibilité de la machine LINTAB 5, nous avons réalisé les mesures de la largeur des accroissements du liège provenant de M'Sila et Hafir au niveau de la station de l'INRF de Tizi Ouzou .

Toutefois, la machine LINTAB 5 est dotée d'une loupe binoculaire permettant d'obtenir en partie l'échantillon et le grossissement du cerne (x50); elle est liée à un ordinateur doté d'un logiciel TSAPWIN qui permet un enregistrement automatique des mesures. La précision des mesures est de $1/1000^{\text{ème}}$ mm (fig.51). Les mesures sont effectuées sur la section transversale des échantillons dans trois endroits à distance égale marqués avec un stylo très fin, de façon à former 3 lignes verticales aux accroissements.

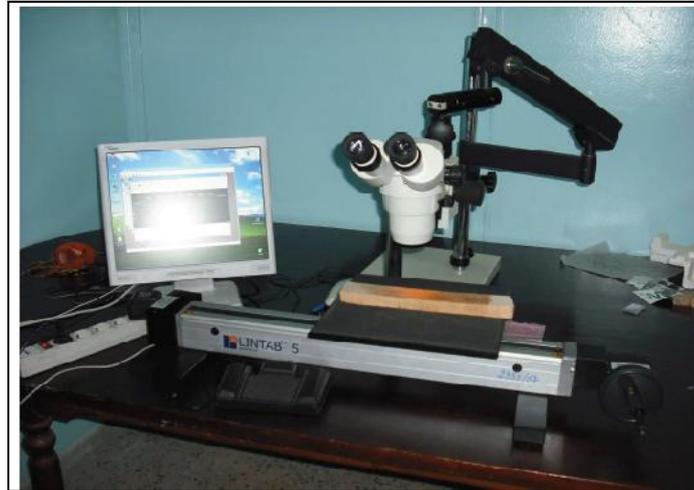


Figure 51: Dispositif de mesure des accroissements du liège LINTAB 5 (Photo originale)

4.4.4- Etude de la qualité du liège

La qualité du liège est un facteur clé pour établir l'utilisation finale du liège brut et par conséquent le rendement économique. D'ailleurs, les principaux paramètres pris en compte dans l'évaluation de la qualité du liège sont ; l'épaisseur et l'aspect (la porosité et les défauts). Ce dernier paramètre est mesuré par la technique d'analyse d'image qui permet d'éliminer une certaine subjectivité dans la classification commerciale du liège. Durant ces dernières années, cette technique est utilisée au niveau des usines de fabrication des bouchons et des rondelles du liège pour la classification automatique de ce produit semi-fini au Portugal et en Espagne (Baros et Pereira, 1987 ; Montoya Oliver, 1988 ; Lopes et Pereira, 1994;1998 ; Gonzales-Adrados et Pereira,1996 ; Pereira et al., 1996 ; Pereira,1998 ; Gonzales-Adrados et al., 2000 ; Ferreira et al., 2000 ; Ofélia et al., 2011).

4.4.4.1-Analyse d'image

C'est une technique informatisée permettant, à partir des capteurs (appareils photos, scanners lasers, microscope électronique à balayage...) la transformation des objets élémentaires constituant une image en valeurs binaires par le réglage de l'intensité de la lumière et de la couleur (*threshol*). Elle se base sur l'intensité des couleurs (RGB) ou bien par le choix d'un thershold adéquat du niveau du gris afin de distinguer les canaux lenticulaires et autres défauts sur le liège. Par conséquent, elle permet la quantification de la porosité et la possibilité de distinguer les différents défauts du liège (Gonzalez-Adrados et Pereira, 1996 ; Benkirane et al., 2001 ; Surovy et al., 2009). Enfin, les résultats obtenus peuvent être

exportés directement sur des tableurs pour traitement statistique. Cette technologie trouve des applications très importantes dans de nombreux domaines: sciences des matériaux, sciences de la vie, médecine, télédétection, géologie, robotique (Benkirane et al., 2001 ; Pereira, 2007).

4.4.4.2- Quantification de la porosité

Les pores ont une couleur plus foncée que la masse de liège et peuvent être délimités comme objets sur l'image par sélection d'un niveau de gris. Le niveau de couleur du *threshold* des lenticelles est compris entre 80 et 95 pour la section transversale (Pereira et al., 1996).

L'étude de la porosité du liège de Zarieffet et Zerdeb est réalisée avec le logiciel Image Pro plus 7 suivant la méthodologie développée par Pereira et al. (1996). La quantification de la porosité est réalisée selon les étapes suivantes :

1- Binarisation d'image

Les images numériques obtenues sont analysées par logiciel d'analyse d'image dont certaines applications font appel à une image binarisée (c'est-à-dire en noir et blanc). Alors, l'image en couleur doit être transformée en échelle de gris qui varie de 0 à 254 correspondants successivement au noir et blanc (fig.52).

Selon Pereira et al. (1996), le niveau du gris pour le tissu du liège varie entre 100 et 120 tandis que les canaux lenticulaires ont un niveau de gris entre 170 et 220. Le niveau du thershold peut être contrôlé aussi manuellement par un opérateur. Il varie approximativement entre 126 et 164 pour le Rouge (R), entre 114 et 158 pour le Vert (V) et entre 118 et 161 pour le Bleu (B) (Compos et Molinas, 1999; Mery, 2002 ; Pereira, 2007).

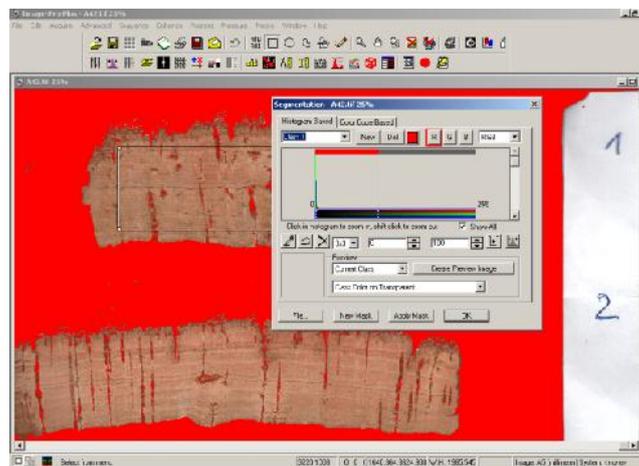


Figure 52 : Réglage manuel du niveau du thershold pour un échantillon du liège (Photo originale)

2- Extraction des paramètres

L'extraction des paramètres est l'opération qui consiste à une caractérisation globale de tous les défauts et les canaux lenticulaires présents dans l'échantillon analysé (fig.53). Cette

4.5- Récolte des données

4.5.1- Distribution des échantillons selon l'âge du liège

L'étude des accroissements annuels permet d'identifier l'âge du liège. Ceci est obtenu par le comptage du nombre des accroissements complets auxquels nous ajoutons un accroissement qui représente la somme des deux accroissements incomplets (1^{er} et le dernier accroissement).

Par exemple, un échantillon du liège âgé de 11 ans, est constitué de 10 accroissements complets et deux accroissements incomplets (Natividade, 1956 ; Canellas et Montero, 2002 ; Almeida et Tomé, 2008 ; Ghalem, 2010).

Enfin, les échantillons sont distribués en différentes classes d'âge en regroupant tous les échantillons du même nombre d'accroissement dans la même classe.

4.5.2- Etude des épaisseurs

Les échantillons prélevés des 4 suberaies sont soumis préalablement à des mesures de leur épaisseur à l'aide d'un pied à coulisse. Sur chaque échantillon, nous avons mesuré les 4 côtés et les résultats sont donc la moyenne des 4 mesures.

Chaque échantillon est ensuite classé dans l'une des 4 catégories selon son épaisseur correspondant au tableau 19 pour le liège algérien.

Tableau 19: Principales classes commerciales d'épaisseurs du liège et types de liège correspondants selon les normes internationales (IPROCOR, 1994)

Classes	Limites d'épaisseurs	Type de liège
1	< 22mm	Flotte
2	22-27 mm	Mince
3	27-32 mm	Juste
4	32-40 mm	Régulier
5	>40 mm	Epais

4.5.3- Etude de la densité

La densité du liège est l'une de ses caractéristiques les plus importantes au point de vue sa valeur commerciale et son utilisation industrielle (Boudy, 1950). Elle est déterminée pour chaque échantillon par la formule suivante :

$$D (\text{g/cm}^3) = P / V \quad \text{Avec} \quad V(\text{cm}^3) = E_p \times S$$

D: Densité (g/cm³)

P: Poids (g) (mesuré par la balance de précision 0,01 g)

V : Volume (cm³)

E_p : épaisseur de l'échantillon (cm)

S : Surface (cm²), dont S = (L) longueur X (l) largeur.

Les différentes dimensions des échantillons (épaisseurs, longueurs et largeurs) ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse. L'ensemble des valeurs de densité calculées pour les échantillons de chaque suberaie sont présentées suivant les 3 classes du tableau 20.

Tableau 20: Principales classes de densité du liège et type de liège (avec croûte) correspondants (Boudy, 1950)

Classes	Limites de densité	Type de liège
1	< 0,25	Moins dense
2	0,25 - 0.3	Moyennement dense
3	> 0,3	dense à très dense

4.5.4- Etude de la productivité

La productivité de l'arbre représente sa densité superficielle. Elle est estimée pour chaque planche de liège par la formule suivante :

$$\text{Prod (Kg/m}^2\text{)} = \text{P} / \text{S}$$

Dont ; **Prod** (Productivité), **P** (poids en Kg) et **S** (surface par m²).

4.5.5- Etude des accroissements

4.5.5.1- Distribution des échantillons en classes des accroissements moyens annuels

Les résultats des accroissements moyens annuels pour l'ensemble des échantillons sont ordonnés en 4 classes d'accroissements annuels (tab.21). Ceux-ci définissent les types de croissance du liège suivant le tableau dressé pour la première fois par Lamey (1893), puis repris par d'autres auteurs en l'occurrence Natividade (1956) et Normandin (1979).

Tableau 21: Principales classes des accroissements moyens annuels du liège (Lamey,1893 ; Natividade ,1956)

Classes	Limite des accroissements	Type du liège
1	0 ,8 – 1,5 mm	Faible
2	1,51 - 2 mm	Moyen
3	2,1 - 3 mm	Rapide
4	>3 mm	Très rapide

Dans cette partie, nous n'avons pas pris en considération les deux accroissements incomplets car ils résultent d'une demi-année d'activité du phellogène suivant la méthodologie utilisée par Boudy (1950) ; Natividade (1956) ; Pereira et al. (1996) ; Ferreira et al. (2000) ; Benkirane et al. (2001) ; Caritat et al. (2000) ; Oliveira et al. (2002) ; Costa et al. (2002) ; Dehane (2006) et Pereira (2007).

4.5.5.2- Courbes des accroissements

Les valeurs des accroissements annuels du liège des 4 suberaies sont représentées sous forme de courbes de croissance individuelles, moyennes et cumulés.

1- Les courbes des accroissements courants annuels (Chronologies individuelles)

L'étude des courbes individuelles nous permet de mettre en évidence les variations interannuelles de la largeur des cernes du même arbre. Ces variations sont influencées par les conditions du milieu (sol, exposition, pente, altitude, sylviculture, gestion, etc.), conditions climatiques et même la santé de l'arbre (Dehane et al., 2012 et 2014).

2- Les accroissements courants cumulés

L'accroissement moyen cumulé est la somme des épaisseurs des cernes obtenues sur un cycle de production. Si nous considérons $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ des valeurs des cernes annuels d'un échantillon, l'accroissement cumulé est égale à $C_1+C_2+C_3+\dots+C_n$, ce qui donne l'épaisseur du liège sous croûte pour chaque échantillon. Après le calcul des accroissements cumulés nous avons procédé au tracé des courbes cumulés pour chaque échantillon, ceci nous permis de mieux percevoir l'évolution générale de la largeur des cernes du liège au cour d'un cycle de production.

4.5.5.3- Analyse de la relation cerne-climat

La dendroclimatologie est la science qui étudie la relation entre la croissance du végétal et le climat sur une période pour laquelle des enregistrements climatiques sont disponibles (Fritts, 1976 ; Lebourgeois et Merian, 2012).

La disponibilité des données climatiques nécessite la présence des stations météorologiques fonctionnelles proches de la zone d'étude. Dans notre étude, les données sont présent des périodes (2004-2013) pour Hafir et M'Sila et (1995-2009) pour Zariéffet. A cause de manques des données climatiques pour la forêt de Zerdeb, nous n'avons pas étudié la relation cerne du liège et climat de ce site. Pour mettre en évidence l'impact du climat sur les accroissements annuels du liège, nous avons suivi la méthode la plus courante et la plus utilisée par les chercheurs tels que ; Caritat et al. (1996 ; 2000) ; Costa et al. (2001) ; Costa et al. (2002) et Ennajah el al. (2010).

En effet, après l'établissement des courbes de croissance sur des graphes (données brutes ou logarithmiques), une standardisation des courbes est nécessaire car elle maximise les fluctuations interannuelles due au climat par l'élimination des autres facteurs externes tel que la différence d'âge et de croissance entre les arbres échantillons (Fritts, 1976 ; Costa et al., 2001; Lebourgeois et Merian, 2012).

Les courbes de croissance du liège sont ajustées à deux types de courbes mathématiques ; une courbe exponentielle de croissance (Caritat et al., 1996 ; 2000 et Costa et al., 2002) ou une courbe polynomiale de seconde degré (Natividade, 1956 ; Ferreira et al., 1998). Ces courbes renferment les valeurs théoriques des largeurs des cernes annuels. Dans

cette optique, nous avons choisi pour tous les échantillons du liège de type $Y = a x^2 + bx + c$ où « Y » représente l'épaisseur de l'accroissement et « x » l'âge ou le numéro d'ordre de l'accroissement. Sur chaque courbe expérimentale (courbe individuelle), est ajustée une courbe polynomiale de second degré par la méthode des moindres carrés (Y_{theo}). Cette courbe constitue la valeur estimée d'un accroissement théorique qui se serait développé à l'année (t) du liège indépendamment de son âge.

L'ajustement des courbes nous permet ainsi d'extraire les valeurs de croissance des cernes sous formes **d'indice de croissance** qui est calculé par la division de la valeur courante d'accroissement (réelle) sur la valeur obtenue du courbe d'ajustement. Il est défini comme le quotient entre la valeur observée et la valeur théorique ($ICA = Y_{obs} / Y_{theo}$).

L'indice d'accroissement annuel est obtenu en traçant pour chaque échantillon de liège une courbe de croissance analogue aux variations annuelles des cernes complètes (Y_{obs}). Lorsque, l'indice se rapproche de la valeur 1, moins serait la différence entre la valeur estimée et la valeur théorique.

Pour dégager l'influence du climat sur la croissance du liège nous devons calculer les fonctions de réponse par le coefficient de corrélation Pearson entre les cernes et l'indice d'accroissement et certains facteurs climatiques ; pluviométrie mensuelle cumulée durant différentes période de l'année (t) et l'année ($t-1$), pluviométrie annuelle, températures annuelles, températures maximales, températures minimales.

Il nous a paru judicieux d'utiliser les précipitations accumulées pendant certaines périodes choisies.

4.5.6- Etude de la qualité du liège

4.5.6.1- Etude de la porosité

La quantification de la porosité est réalisée sur les deux sections transversales. Les résultats sont la moyenne des mesures des deux sections. Plusieurs variables des pores sont mesurés après le filtrage des données de porosité dont une partie est éliminée notamment les pores à surface inférieure à $0,5 \text{ mm}^2$ (Costa et Pereira 2007). La surface maximale observée a une largeur de $42 \times 10 \text{ cm}^2$, elle diffère selon les épaisseurs des échantillons étudiés

- **N° de pores par 10 cm** : nombre total de pores calculé sur 10 cm de longueur de l'échantillon,
- **Dimensions des pores en mm** : longueur et largeur spécifiques, périmètre, diamètre,
- **Facteur de forme** : mesure l'irrégularité du contour des pores (1 pour un cercle, 0 pour les objets très irréguliers), ce paramètre est calculé comme suit ; $(4 \times 3,14 \times S) / P^2$ où S est la superficie et P le périmètre de l'objet,
- **Facteur de géométrie**: quotient entre les diamètres minimum et maximum (une forme circulaire a la valeur 1 et linéaire 0),

- **Orientation angulaire** : correspond à la plus longue ligne qui relie le centre de gravité vers la périphérie du pore,
- **Dimensions des pores en mm** : longueurs et largeurs spécifiques,
- **Coefficient de porosité CP (%)** : est défini par le pourcentage de la superficie totale des pores contenus dans la superficie totale du liège, il se répartit en 3 classes (tab.22) (Natividade,1956 ; Montoya Oliver, 1988).

Tableau 22: Classes de coefficient moyen de porosité (Ferreira et al., 2000 ; Pereira et al., 1996)

Classes	Coefficient de porosité	Type de liège
1	$C_p < 2\%$	Faiblement poreux
2	$2\% < C_p < 4\%$	Moyennement poreux
3	$C_p > 4\%$	Poreux à très poreux

- **Nombre et superficie moyenne des pores** : ils sont répartis par classes de superficie : $< 1 \text{ mm}^2$, $1 - 2 \text{ mm}^2$ et $> 2 \text{ mm}^2$, représentant respectivement les pores de petite, moyenne ou grande superficie (tab.23).

Tableau 23 : Classes de superficie moyenne des pores (Ferreira et al., 2000)

Classes	Superficie moyenne	Type de pore
1	$< 1 \text{ mm}^2$	Petit
2	$1 \text{ mm}^2 - 2 \text{ mm}^2$	Moyen
3	$> 2 \text{ mm}^2$	Grand

4.5.6.2- Comparaison entre le liège Algérien et Portugais

Dans cette partie, nous avons comparé les différents résultats de la porosité du liège de Zarieffet (Algérie) avec ceux de Benavente (Portugal). Les données de porosité sont filtrées par surface des pores ; seulement les pores à surface supérieure à $0,5 \text{ mm}^2$ qui sont retenus pour l'analyse. Par contre, les pores à faible surface sont éliminés car ils apportent que des grandes variances et variabilité pour les échantillons du liège, bien qu'ils n'aient pas une influence sur la qualité du liège (Costa et Pereira, 2007).

L'analyse de la porosité du liège a été réalisée dans la section transversale de l'échantillon sur une région d'intérêt (AOI) au premier lieu, puis nous avons divisé cette région d'intérêt (AOI), en trois sous-unités de la mie vers la croûte. Dans chaque sous-unité (interne, intermédiaire et externe) nous avons mesuré les différents paramètres de la porosité. Les résultats obtenus sont comparables indépendamment de l'âge, l'épaisseur et le cycle de production du liège.

4.5.6.3-Classification du liège

L'opération de classification permet d'affecter chaque échantillon analysé à l'une des classes de qualité appropriée. Au début, les échantillons sont classés en 7 classes de qualité selon la classification IPROCOR (IPROCOR, 1994): de la première, au sixième et rebut. Par la suite, ces 6 classes sont regroupées en 3 classes mixtes ; Bonne qualité (1^{re} – 3^e), qualité moyenne (4^e – 5^e) et faible qualité (6^e). Le rebut correspond aux planches de liège qui n'ont pas la qualité nécessaire pour la production de bouchons (tab.24) (Pereira et al.,1996 ; PAMAF,1999 ; Gonzalez-Adrados et al., 2005 ; Pereira, 2007).

Tableau 24: Classification simplifiés du liège (Pereira et al.,1996)

Catégories	Classes de qualité	Qualité de liège
1	1 ^{re} – 3 ^e	Bonne
2	4 ^e – 5 ^e	Moyenne
3	6 ^e	Faible
4	Rebut	Rebut

Liège de meilleure qualité se traduit par son homogénéité et sa propreté. En revanche, la présence de défauts avec leur taille et leurs distributions affectent la qualité du liège et le rend la planche impropre à la fabrication des bouchons. Ces défauts se distribuent d'une façon aléatoire dans la masse du liège et se présentent sous différentes formes et tailles. En effet, le classement de qualité pourrait être effectué en utilisant des coefficients de porosité comme critères de sélection pour discriminer les classes (tab.25).

Tableau 25: Analyse de la porosité et classe de qualité en section tangentielle (Gonzalez-Adrados et al., 2005 ; Pereira et al.,1996).

Classes de qualité	Bonne	Moyenne	faible	Rebut
	1 ^{re} – 3 ^e	4 ^e – 5 ^e	6 ^e	Rebut
Cp%	> 4,5%	4,5%-6%	6%-7%	>7%

4.6-L'analyse statistique

Les différents résultats obtenus sont soumis à différents tests statistiques réalisés par le logiciel PSPP et XL stat. Il nous permet de calculer la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation à un intervalle de confiance de seuil 5%.

L'analyse de la variance à un seul facteur (ANOVA 1) a été appliquée pour l'ensemble des chronologies de synthèse pour comparer les moyennes des épaisseurs des cernes.

Le coefficient de corrélation linéaire simple, dit « Bravais-Pearson » sert avant tout à caractériser une relation linéaire positive ou négative. Plus la valeur est proche de 1 et plus la relation est forte (linéaire entre les deux variables), $r = 0$ indique l'absence de corrélation (Fritts, 1976 ; Coutois et masson, 1999 ; Jayaraman, 1999 ; Lebourgeois et Merian, 2012).

L'analyse factorielle des correspondances (AFC), ou l'analyse des correspondances simples, est réalisée par le logiciel XL stat. C'est une méthode exploratoire d'analyse des tableaux de contingence, qui sert à déterminer et à hiérarchiser toutes les dépendances entre les lignes et les colonnes du tableau (Jayaraman, 1999 ; Dagnelie, 2006 ; Bertrand et Véronique, 2011). Elle est réalisée pour les défauts naturels qui affectent la qualité du liège des subéraies de Zarieffet, Zerdeb, Hafir, M'Sila et Skikda. Ceci est obtenu par l'élaboration des tableaux de contingence basée sur la présence des défauts (1), leur absence (0) et leur abondance (2,3).

L'analyse discriminante est utilisée pour distinguer entre les caractéristiques de porosité du liège Algérien et Portugais, et de trouver les caractéristiques des pores qui contribuent le plus à distinguer ces régions (SPSS vs. 21.0) (Gonzalez-Adrados et al., 2001 ; Costa et Pereira, 2006). Les fonctions discriminantes par étapes ont été évaluées à l'aide de la valeur de Wilk, dont la valeur la plus importante est la variable indépendante ou caractéristique du discriminant canonique (Wilks Lambda significatif à $p < 0,001$). Cette analyse statistique crée un nombre réduit de variables, appelées fonctions discriminantes canoniques, chacune étant une fonction linéaire de la fonction indépendante originale variable ; dans ce cas la porosité du liège au niveau des pores.

Tableau 26 : Liste des abréviations

Abréviation	Description
Variables des pores	
a	Area (Surface)
pe	Perimeter (Périmètre)
di	Diameter (Diamètre)
le	Length (Longueur)
wi	Width (Largeur)
Mpa	Mean area (Surface moyenne)
Maxpa	Maximum area (Surface maximale)
Mpe	Mean perimeter (Périmètre moyen)
Mdi	Mean diameter (Diamètre moyen)
Mle	Mean length (longueur moyenne)
Mwi	Mean width (Largeur moyenne)
sh	Shape factor (Facteur de forme)
as	Aspect ratio (Rapport d'aspect)
fr	Fractal dimension
ro	Roundness (Rondeur)
Msp	Mean shape factor (Facteur de forme moyen)
Mas	Mean aspect ratio (
Mfr	Mean fractal dimension
Mro	Mean roundness (Rondeur moyenne)
np	Number (Nombre)
Menn	Mean nearest neighbor distance

af	Area fraction (Coefficient de porosité)
Défauts	
V	Ventre
C	Crouete
Ex	Exfoliation (Liège doublé)
TI	Trou d'insecte
F	Fente
TJ	Tache jaune
TN	Tache noire
TB	Tache bleue
LV	Liège vert
LT	Liège terreux
S	Soufflure
IB	Inclusion boisé
AT	Autre tache
Autres	
CL	Benavente
ZA	Zarieffet
t	année
t-1	Année-1
ACM	Accroissement moyen annuel
Ic	Indice de croissance
INIAV	l'institut National de la Recherche Agronomique et Vétérinaire
SIBL	la Société Industrielle Bois et Liège de Taheir

Chapitre V

Traitement des résultats

5.1- Etude du rendement industriel des planches de liège

L'étude du rendement industriel des planches de liège est jugé nécessaire pour l'économie du secteur de la transformation. Une planche de liège est considérée comme de bonne qualité, si l'on peut y maximiser la production de bouchons naturels. Pour cela il faut limiter le volume de déchets généré (Sghaier et al., 2011).

5.1.1-Variation du poids sec des planches de liège en fonction des surfaces

Les résultats de la caractérisation générale des planches de liège (poids et surface) pour les 3 forêts sont illustrés dans la figure 55.

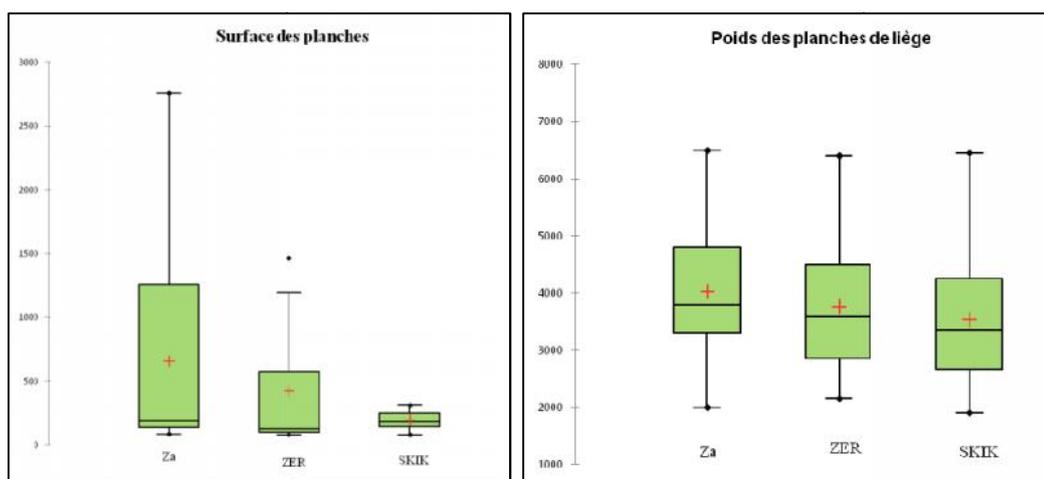


Figure 55: Variation du poids secs et surfaces des planches de liège

La lecture de la figure, nous montre que la surface des planches de liège est très variable dans les piles de Zariéffet et Zerdeb. Cette différence est due à la présence des planches à faible surface de 78 cm² à 80 cm² voire 85 cm² contre des planches à grande surface de 3107 cm² à 2320 cm² pouvant atteindre 1740 cm² respectivement à Skikda, Zariéffet et Zerdeb. La surface moyenne des planches étudiées est plus élevée à Zariéffet 656 cm², contre 420 cm² à Zerdeb et 339 cm² à Skikda.

En ce qui concerne, le poids des planches de liège, il varie entre 3204 g à Zerdeb et 3564 g à Skikda voire 3954 g à Zariéffet. Nous remarquons aussi que le liège de Skikda est le plus lourd car il pèse entre 1900 g et 6450 g (tab. 27). Ce poids élevé par rapport à la surface est dû aux taux d'humidité élevés que contiennent ces planches 12% contre seulement 7% dans les planches de Zariéffet et Zerdeb.

L'étude de la surface des planches nous renseigne sur la qualité de l'opération de récolte du liège, d'où la présence des planches à faibles surfaces dans le liège de Zariéffet et Zerdeb, montre que son arrachage à partir de l'arbre est fait d'une façon moins adéquate le long du tronc ; dans ces deux cas leleveur récolte le liège par des petits morceaux, ce qui peut causer des blessures à la mère. En revanche, le liège de Skikda est enlevé d'une façon plus adéquate, car les planches sont plus au moins homogènes et de grandes surfaces (tab.27).

Tableau 27 : Variation des poids et surface des planches de liège en piles

	Poids (g)			Surface (cm ²)		
	Zarieffet	Zerdeb	Skikda	Zarieffet	Zerdeb	Skikda
Moyenne	3954 (1409)	3204 (1531)	3564 (1179)	656,88 (40,47)	420,67 (31,15)	339,88 (67,11)
minimum	950	950	1900	85,25	80,11	78,29
maximum	5900	5450	6450	2320,41	1740,78	3107,6
CV (%)	35%	48%	33%	27%	27%	34%

L'étude de la relation entre le poids sec d'une planche du liège et sa surface est présentée dans la figure 56.

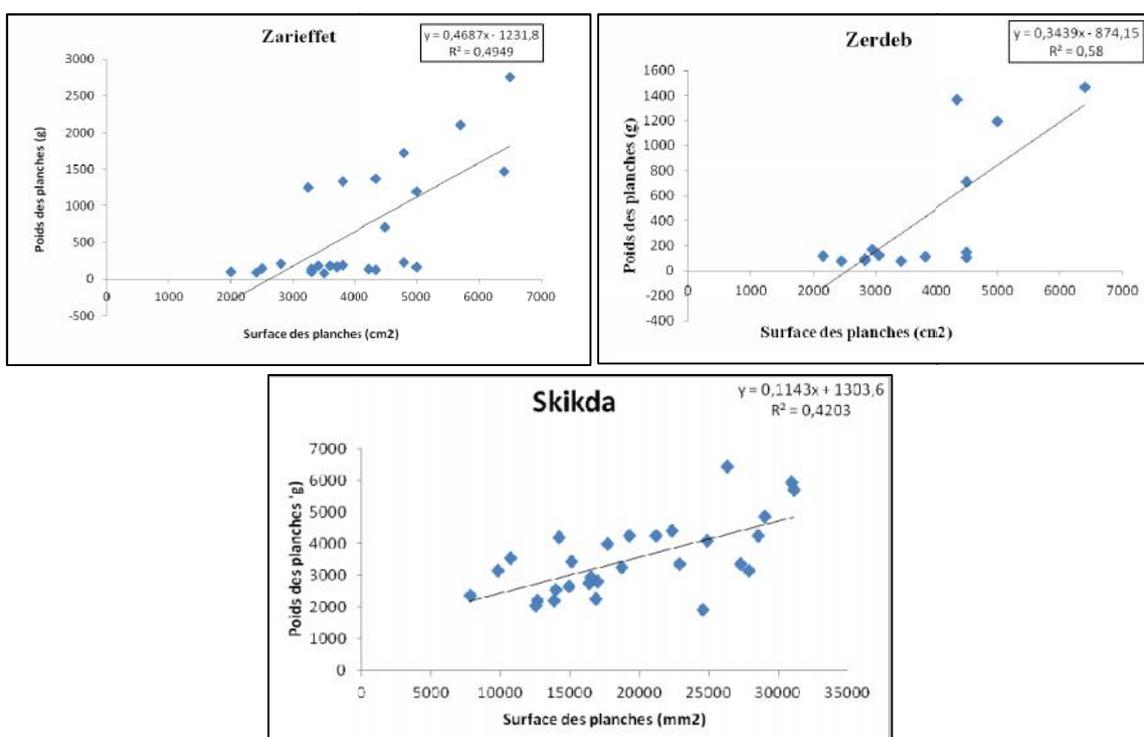


Figure 56 : Variation du poids secs des planches de liège en fonction des surfaces

Selon cette figure, nous constatons une bonne corrélation linéaire entre la surface des planches du liège et leur poids. En effet, les valeurs élevées du coefficient de corrélation (Skikda $r=0,64$, Zarieffet $r= 0,70$ et Zerdeb $r= 0,75$) montrent que le poids de la planche du liège dépend largement de sa surface.

5.1.2- Relation entre la production nette des bouchons et le poids sec des planches

La variation du poids des bouchons produits à partir des planches de liège est illustrée dans la figure 57.

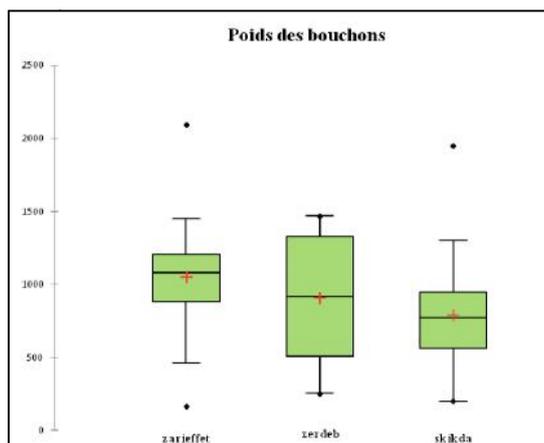
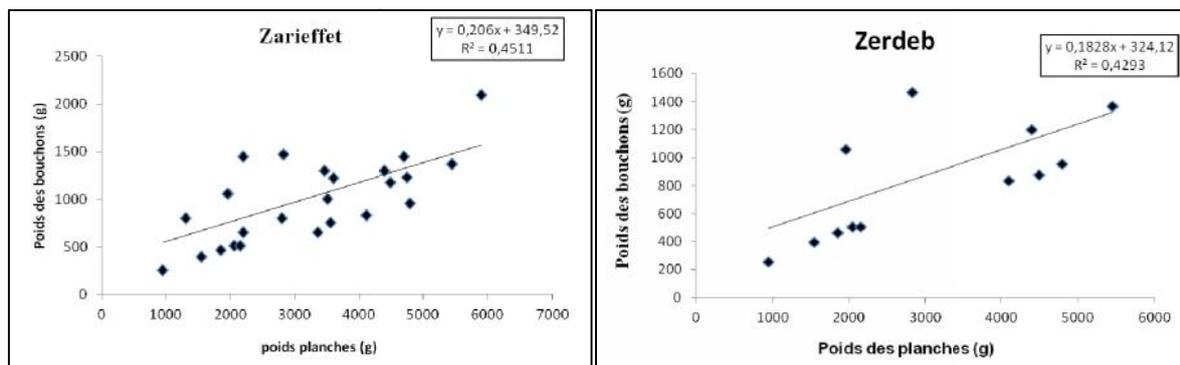


Figure 57 : Variation du poids secs des bouchons produits des planches de trois suberaies

D'après cette figure, nous remarquons que le poids moyen des bouchons extraits de chaque planche est de 1050 g ce qui correspond à 259 bouchons pour le liège de Zariéffet contre 224 bouchons (910 g) à Zerdeb. En littoral, le poids des bouchons produits descend jusqu'à 800 g à Skikda, ce qui correspond à 197 bouchons. Ce poids représente donc 26% du poids initial de la planche de Zariéffet, 28% de Zerdeb et 22% de Skikda. Ces résultats nous permettent de conclure que le taux du déchet est très élevé dans la fabrication des bouchons.

Par ailleurs, nous notons une variabilité élevée des taux de bouchonnage des différentes planches du liège. Elle est de 30% à Zariéffet et beaucoup plus élevée à Zerdeb et Skikda (45%). Cette variabilité est ainsi confirmée par l'écart interquartile élevé à Zerdeb, où la moitié des planches produit entre 508 g et 1327 g de bouchons. Tandis qu'à Skikda et Zariéffet, le poids des bouchons produits diffère faiblement dans la moitié des planches. Ceci est mis en évidence par la faible valeur de l'écart interquartile dans ces deux forêts où le poids varie entre 562- 950 g à Skikda et 883-1205 g à Zariéffet.

L'étude de la relation linéaire entre le poids sec des planches du liège et le poids des bouchons est illustrée dans la figure 58.



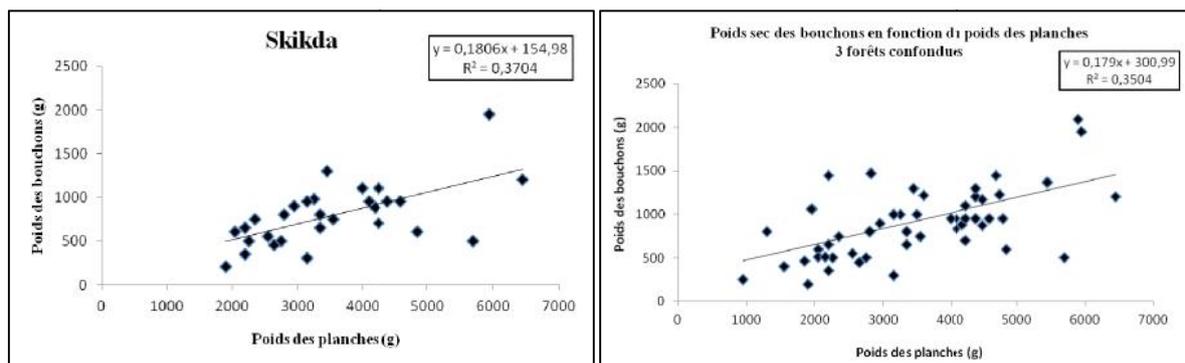


Figure 58 : Relation entre le poids sec des planches et le poids des bouchons fabriqués

D’après la figure, nous relevons dans les trois subéraies une nette relation linéaire entre les deux paramètres, le poids sec des planches et le poids des bouchons fabriqués. Ceci signifie que le rendement en bouchon est fortement lié aux poids des planches de liège, avec un coefficient de corrélation plus ou moins élevé à un seuil de confiance égale à 95%. Il oscille entre 0,57 pour le liège de Zarieffet, 0,64 pour le liège de Zerdeb et 0,59 à Skikda.

5.1.3- Relation entre la production nette des bouchons et la surface des planches

Souvent, les planches utilisées dans la fabrication des bouchons ne suivent pas une forme géométrique claire ce qui rend l’opération de découpage en bandes difficile d’une part et engendre un taux de déchet élevé d’autre part. L’étude de la relation entre le nombre des bouchons et la surface de la planche dans laquelle est tubée est illustrée dans la figure 59.

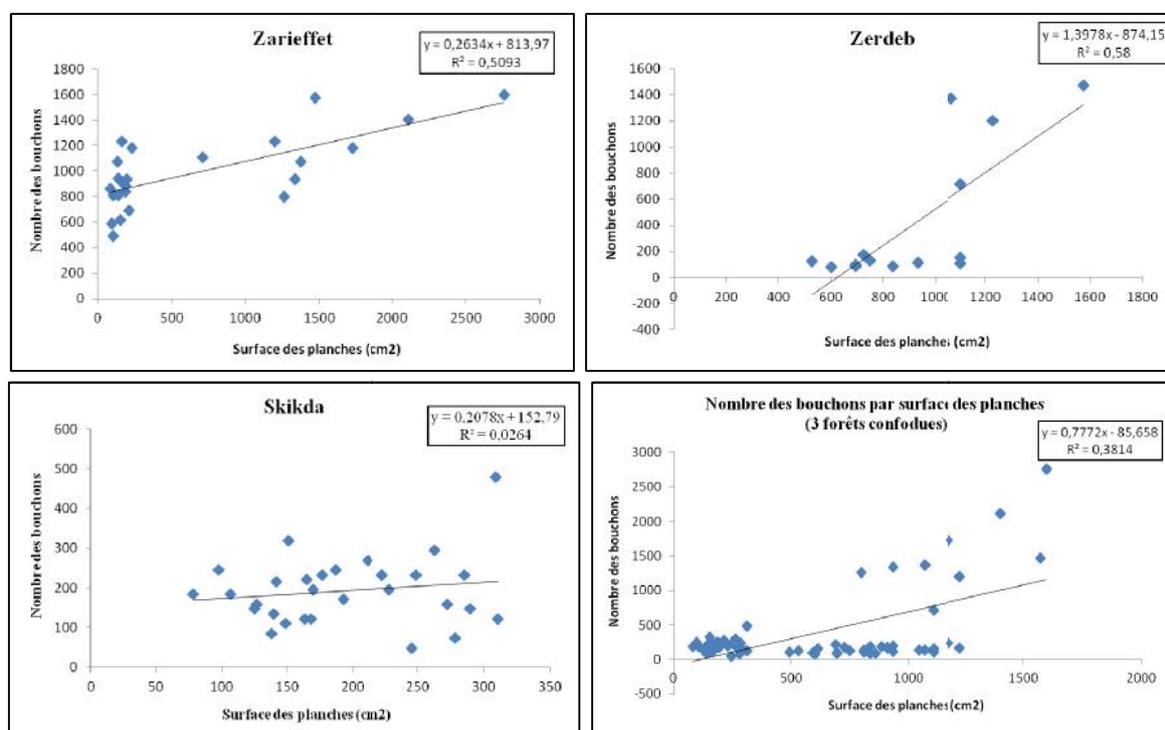


Figure 59: Relation entre la surface des planches et le nombre des bouchons fabriqués

Selon la figure, nous remarquons une relation linéaire entre le poids des bouchons et la surface des planches. En effet, une bonne corrélation est enregistrée dans les planches de Zarieffet ($r=0,70$) et Zerdeb ($r=0,76$) par contre elle est très faible dans les planches de Skikda ($r=0,16$), ce qui confirme que le taux de déchets est très élevé dans ce liège.

Le nombre maximal des bouchons atteint 1599 bouchons produits d'une planche de 2756 cm^2 à Zarieffet, tandis que, le nombre minimal est de 49 bouchons issu d'une planche de $245,72 \text{ cm}^2$ à Skikda. En revanche, la faible surface de $78,29 \text{ cm}^2$ a produit que 184 bouchons, ce qui explique que la qualité de la planche (la forme géométrique et la présence des défauts) influe grandement sur son rendement en bouchons.

5.1.4- Relation entre le poids des planches et les déchets régénérés

Durant le processus de fabrication des bouchons de liège, plusieurs parties de la planche du liège sont éliminées sous forme de déchets. La figure 60 montre le poids de déchets extraits par rapport aux poids de planches et bouchons.

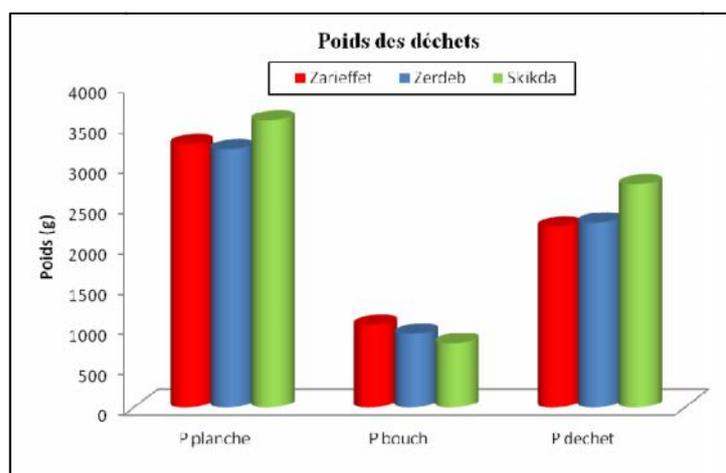


Figure 60 : Variation des poids (g) de déchets régénérés par les planches de liège des trois subéraies

D'après cette figure, qu'après le tubage, nous enregistrons une grande quantité du liège de déchets dans les planches de 3 provenances. Cette quantité atteint 74% pour les planches de Zarieffet contre 72% pour celles de Zerdeb. Par contre elle est très élevée dans les planches de Skikda qui atteint 78% du poids initial.

En conséquence, les quantités des bouchons extraits sont ordinairement faibles, ils varient entre 22% à Skikda, 26% à Zarieffet et 28% à Zerdeb.

Les premiers déchets régénérés après le découpage des bandes de liège, sont sous forme de petits morceaux, mais la grande quantité est issue après le tubage des bouchons sous forme de bandes tubés (fig.61). En effet, dans l'industrie du liège rien ne se perd et tous ces déchets vont être broyés par la suite et utilisés dans la fabrication du liège aggloméré.

Tableau 28 : Valeurs moyennes des poids (g) bouchons et déchets extraits des planches des 3 forêts. Les chiffres entre parenthèses (écart-type).

	Zarieffet			Zerdeb			Skikda		
	poids planche	poids bouchon	poids déchets	poids planche	poids bouchon	poids déchets	poids planche	poids bouchon	poids déchets
Moyenne	3954 (1409)	1050 (377)	2904 (1481)	3204 (1531)	910 (427)	2294 (1292)	3564 (1179)	800 (350)	2764 (1005)
Minimum	950	254,4	500	950	254,4	695,6	1900	200	1450
Maximum	5900	2090	4080	5450	1469	4080	6450	1950	5250
C.V (%)	35%	36%	51%	48%	47%	56%	33%	44%	36%

La lecture de ce tableau révèle que le poids des déchets est très variable entre les planches de chaque forêt. Les taux de variabilité sont très élevés dans les planches de Zarieffet (51%) et Zerdeb (56%). Par contre, les planches de Skikda marquent relativement une faible variabilité de l'ordre de 36% ; mais dans ce dernier type de liège nous enregistrons le plus grand taux de résidu et ceci est dû aux défauts présents qui ne permettent pas d'extraire des bouchons dans la totalité de la planche. Dans ces conditions, l'ouvrier est obligé d'éliminer des parties non bouchonables.

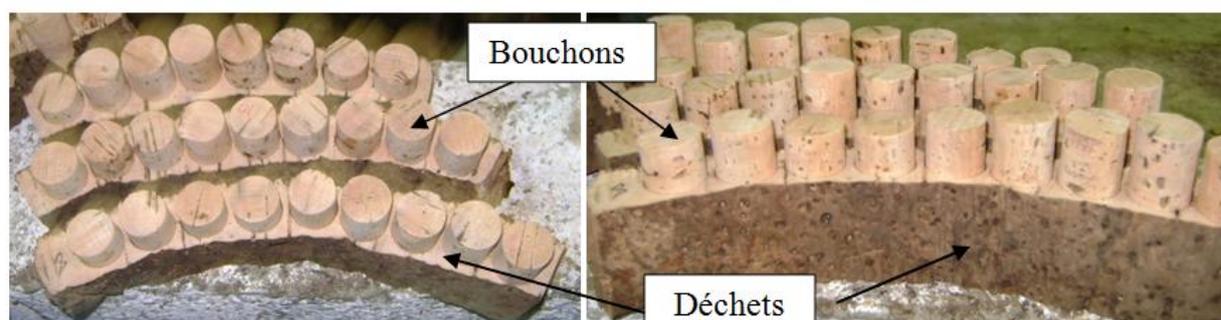


Figure 61: Les bandes de liège tubées en bouchons (original)

5.1.5- Relation entre la production nette des bouchons et l'épaisseur des planches de liège

Il existe des épaisseurs optimums pour la planche de liège en dessous de laquelle la planche est dite trop mince et ne peut pas être tubée et transformée en bouchons naturels de 24 ou 21mm de diamètre, mais en rondelles (disques). De même pour la planche de liège trop épaisse, si elle permet la fabrication de bouchons, elle produit par ailleurs une très grande quantité de déchets (Ferreira et al., 2000 ; Costa et Pereira, 2004).

La figure 62 illustre la distribution des planches de liège en fonction des classes d'épaisseurs.

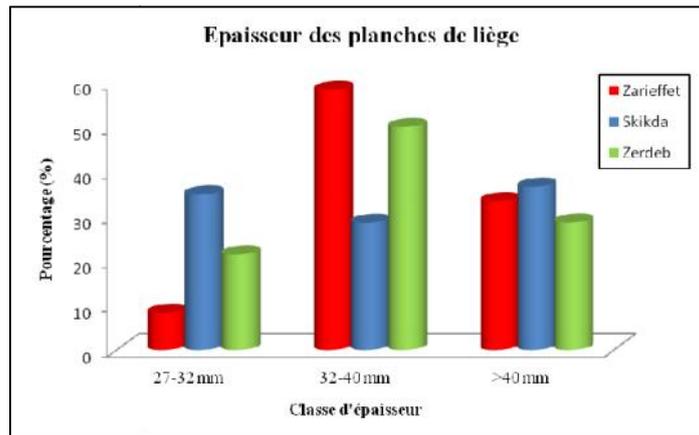
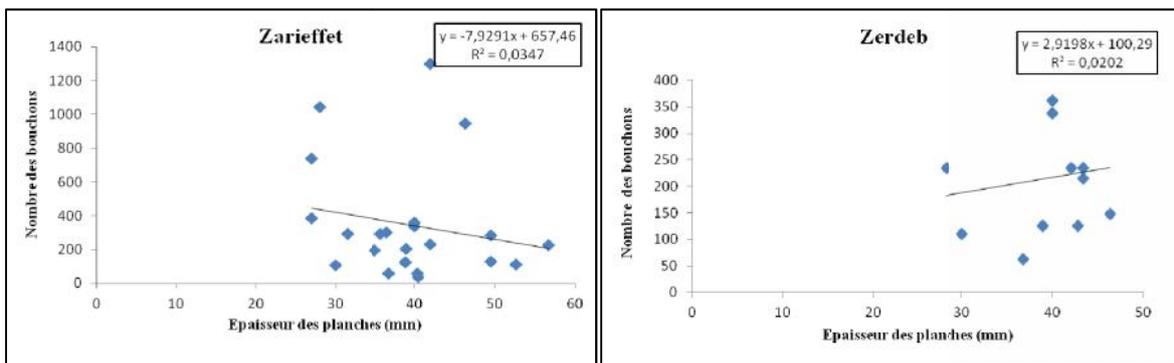


Figure 62: Distribution des planches-échantillons du liège selon les classes commerciales d'épaisseur par forêt

D'après cette figure, nous remarquons l'absence du liège mince et flotte dans les 3 provenances ; ces types de liège ne sont pas utilisés dans la fabrication des bouchons mais destinés plutôt vers d'autres utilisations telles que les rondelles et les lames de liège.

Le liège juste est fortement présent à Skikda (35%) et avec un degré moindre à Zerdeb (21%) mais rare à Zariéffet (8%). Tandis que, le liège régulier le plus demandé par les transformateurs (32-40mm) est majoritaire dans les planches de Zariéffet (58%) et Zerdeb (50%), contre 29% à Skikda. En ce qui concerne la classe du liège épais, cette catégorie est enregistrée fortement à Skikda (37%) mais avec un degré relativement moindre dans les planches de Zariéffet (33%) et de Zerdeb (29%).

Pour étudier l'effet des épaisseurs des planches sur leur rendement en bouchons, nous avons présenté les résultats dans la figure 63.



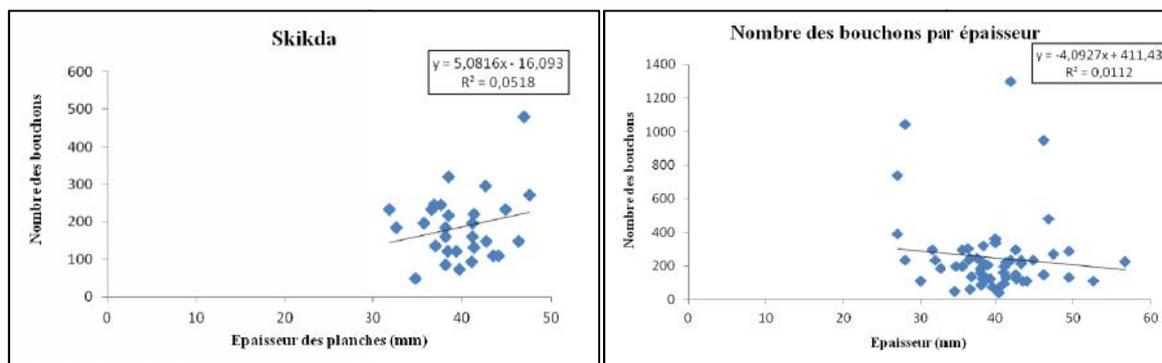


Figure 63: Relation entre le poids des bouchons et l'épaisseur des planches de liège

Selon les courbes de régression linéaire établies pour les lièges de 3 provenances, nous notons l'absence d'une corrélation linéaire entre l'épaisseur du liège et le rendement en bouchons. Une faible corrélation est enregistrée dans les planches de Zariéffet ($r=0,29$), Zerdeb ($r=0,14$) et Skikda ($r=0,22$).

En effet, quelque soit la provenance du liège, l'épaisseur de la planche n'a aucun effet sur son rendement en bouchons. Ceci est confirmé par le faible coefficient de corrélation ($r=0,1$) lorsque nous utilisons toutes les planches confondues.

Toutefois, des grandes quantités de résidus sont obtenues dans le traitement industriel des bouchons surtout dans la catégorie du liège épais ($> 40\text{mm}$). Ce type de liège engendre souvent énormément de déchets lors de la fabrication des bouchons d'une part et perd d'autre part d'élasticité des bouchons, aspect mécanique exigé (Costa et Pereira, 2010).

5.1.6- Détermination des défauts du liège

Depuis longtemps, l'estimation de la qualité du liège a été la chasse gardée des industriels bouchonniers, des propriétaires du liège et même des chercheurs forestiers. En effet, une planche de liège est dite de bonne qualité si elle ne représente pas de défauts. Mais l'appréciation des défauts est difficile à cause de certains défauts qui ne sont pas visibles une fois le liège est récolté. Actuellement, la détermination de la qualité du liège s'appuie sur des procédés automatiques à base de la technique d'analyse pour mieux définir son prix. La classification du liège est bénéfique au niveau de la fiabilité du contrôle et de la rapidité de décision.

La distribution des principaux défauts naturels relevés du liège des 5 suberaies est consignée dans le tableau 29 suivant et illustrés dans la figure 64.

Tableau 29: Défauts naturels du liège des Cinq provenances

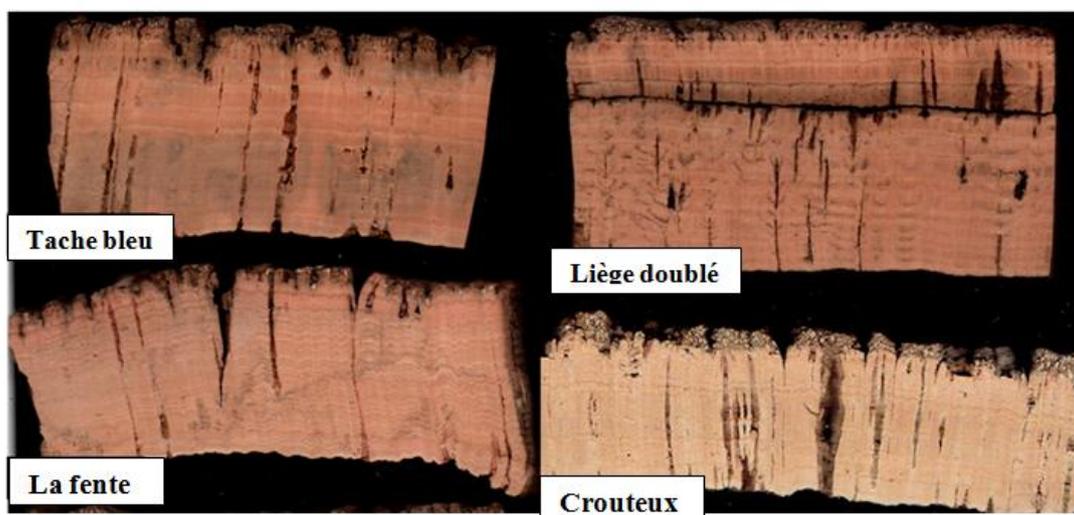
	Ventre	Croûte	Exfoliation	Trou d'insecte	Fente	Tache jaune	Tache noire	Liège vert	Liège terreux	Soufflure	Tache bleue	Liège ligneux
Zarieffet	21%	30%	6%	2%	20%	2%	12%	3%	0%	2%	3%	0%
Zerdeb	20%	33%	5%	0%	22,5%	0%	8,5%	6%	0%	0%	0%	5%
Skikda	15%	24%	6%	4%	14%	6%	11%	4%	0%	1%	7%	8%
Hafir	13%	34%	11%	2%	21%	0%	2%	2%	13%	2%	0%	0%
M'Sila	36%	29%	7%	0%	13%	4%	2%	2%	0%	0%	4%	4%

L'examen visuel des échantillons du liège des différents sites montre la présence de divers défauts naturels connus sur la masse du liège de reproduction. En effet, ces défauts sont fortement présentés en littoral dans les lièges de Skikda et M'Sila. Tandis qu'en montagne, le liège abrite moins de défauts naturels.

Les défauts les plus dominants dans le liège des 3 subéraies de montagne (Zarieffet, Zerdeb et Hafir) sont la croûte épaisse, la fente et le ventre avec la présence de la tache noire. Ces défauts sont présents dans 10% des échantillons surtout à Zarieffet. Le liège terreux et exfoliation sont enregistrés plus dans les échantillons de Hafir (11% et 13%). En revanche, les autres défauts sont rarement relevés dans cette forêt.

Nous notons, par ailleurs l'absence du liège ligneux, tache jaune, tache noire, tache bleue et liège ligneux dans le liège de Hafir. Tandis qu'à Zerdeb nous enregistrons l'absence du liège vert et la tache bleue.

Dans le liège de M'Sila, nous remarquons l'absence des trous d'insectes, liège terreux et soufflure. En ce qui concerne le liège de Skikda, nous notons l'absence d'un seul type de défaut liège terreux.



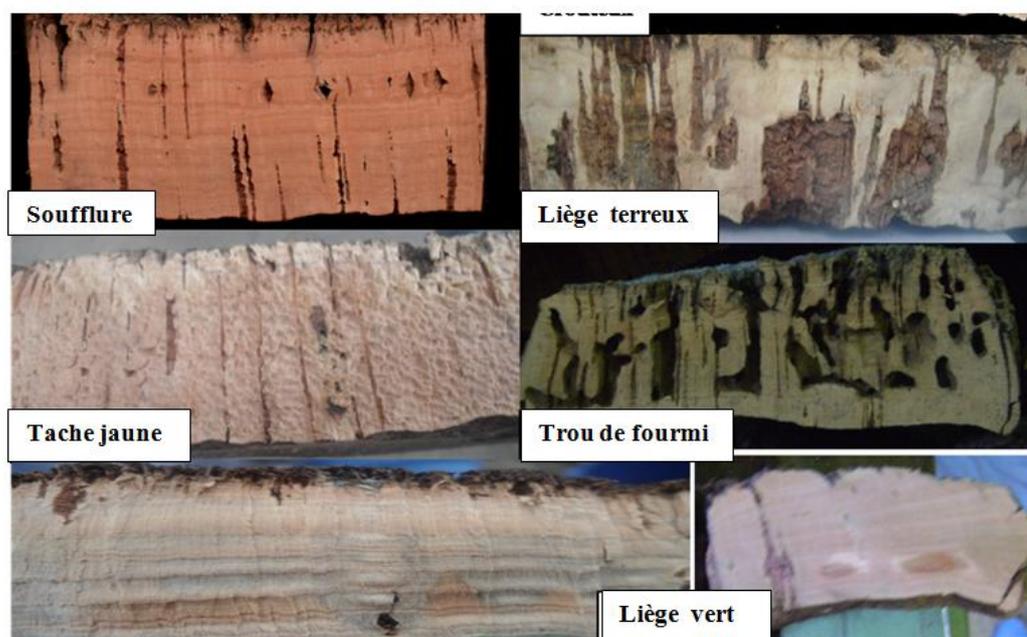


Figure 64 : Echantillons du liège présentant des défauts naturels du liège (original)

5.1.6.1- Interprétation statistique

Dans l'objectif d'obtenir une hiérarchisation de toutes les dépendances entre les défauts du liège et les échantillons de chaque subéraie, une analyse factorielle des correspondances est réalisée. Elle étudie l'inertie du nuage de points ayant pour coordonnées les valeurs présentes sur les lignes du tableau de données. Les valeurs propres issues de l'AFC permettent de retenir le plan factoriel 1*2 dans tous les cas étudiés, car l'ordre d'information donnée par les axes factoriels est toujours décroissant. Le 1^{er} axe fournit le plus d'informations (près de 22%) et le seconde n'est qu'une correction du précédent et ainsi de suite (Cibois, 1987 ; Bertrand et Véronique, 2011).

➤ Zariéffet

Les résultats de l'AFC réalisée sur les échantillons du liège de Zariéffet sont présentés dans le tableau 30 et illustrés dans la figure 65.

Tableau 30: Valeurs propres et pourcentages d'inertie (Zariéffet)

	F1	F2	F3
Valeur propre	0,470	0,377	0,321
Inertie (%)	21,893	17,556	14,968
% cumulé	21,893	39,449	54,417

D'après ce tableau, nous avons pris en compte les défauts et les échantillons qui ont une forte contribution sur l'un des 2 premiers axes du plan factoriel qui totalisent un taux d'inertie de l'ordre de 39%. Tandis que, les échantillons qui n'exposent à aucun défaut sont éliminés de l'analyse et ils représentent 11% du total du liège de Zariéffet (Za 7,8 et 28).

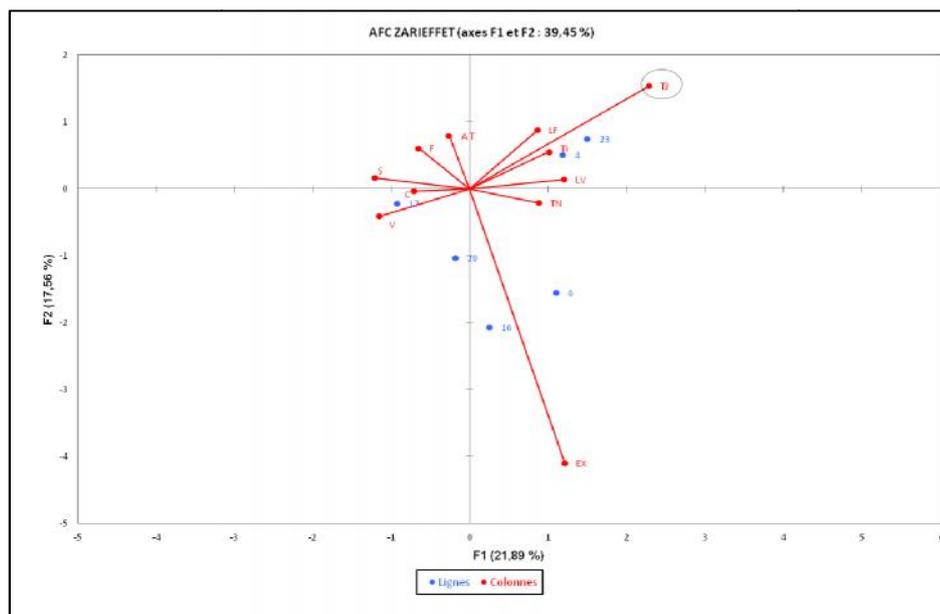


Figure 65 : Représentation graphique des résultats d'Analyse Factorielle des Correspondances des défauts du liège de Zariéffet

La première lecture de la figure, montre 3 groupes distincts de défauts. En effet, les défauts de la tache jaune et l'exfoliation contribuent fortement dans l'axe 1 du plan factoriel (17%), contre les 9 autres défauts recensés dans le liège de Zariéffet. Ces derniers sont regroupés dans le centre du graphe et elles ont une faible contribution sur la qualité du liège.

Nous remarquons aussi, que la tache jaune s'oppose à l'exfoliation par rapport à l'axe 2. Ces défauts ont un effet majeur sur l'utilisation finale du liège. Une planche avec la tache jaune ou liège doublé est éliminée du processus de fabrication des bouchons. Par contre, les autres défauts, malgré qu'ils diminuent la qualité du liège, peuvent être utilisés dans la production.

Dans la partie positive de l'axe 1, se projette dans le côté positif les principaux défauts en l'occurrence la tache jaune, l'exfoliation, la tache noire, les trous d'insectes et le liège vert. Ces défauts sont le résultat des agressions externes du milieu quelque soit de nature biotique ou abiotique. Ces défauts ont une forte influence sur la qualité du liège. Tandis que les autres défauts comme la fente, le ventre, la croûte ont un effet mineur sur la qualité du liège.

Il ressort de cette AFC, l'effet des défauts sur la qualité du liège et le fonctionnement du phellogène mais aussi elle traduit les défauts majeurs sur la qualité et l'utilisation du liège.

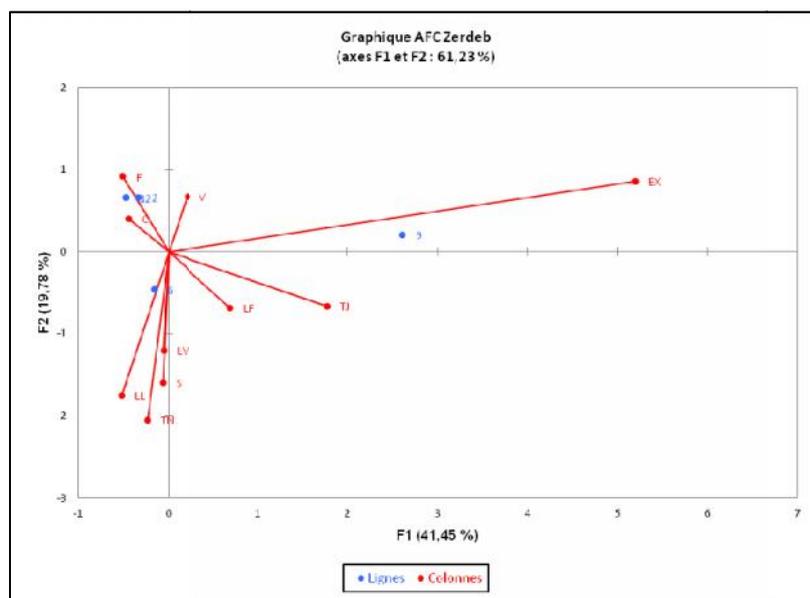
➤ Zerdeb

Les résultats de l'AFC réalisée sur les échantillons du liège de Zerdeb sont présentés dans la figure 66.

Tableau 31: Valeurs propres et pourcentages d'inertie (Zerdeb)

	F1	F2	F3
Valeur propre	0,503	0,240	0,188
Inertie (%)	41,450	19,780	15,509
% cumulé	41,450	61,230	76,740

D'après le tableau 31, nous avons pris en compte les défauts et les échantillons qui ont une forte contribution sur l'un des 2 premiers axes du plan factoriel qui totalisent un taux d'inertie de l'ordre de 61,23%.

**Figure 66 : Représentation graphique des résultats d'Analyse Factorielle des Correspondance des défauts du liège de Zerdeb**

A travers cette figure, nous constatons que les défauts du liège en particulier le vert, le liège ligneux, la tache noire et la soufflure contribuent fortement dans le côté négatif de l'axe 2 du plan factoriel (19%). Mais sur l'axe 1 qui renferme 41% des informations, apparaît les principaux défauts qui ont une forte influence sur la dépréciation de la qualité du liège. Il s'agit surtout des défauts suivants : exfoliation, liège flambé et tache noire (liège marbré).

Nous remarquons aussi quelques défauts mineurs comme le ventre, la croûte et la fente. Ce groupe de défauts s'oppose aux défauts à effet moyen sur la qualité du liège en l'occurrence le liège vert, liège ligneux, soufflure et la tache noire.

Le liège flambé s'oppose à la croûte, ce qui signifie que lors du passage du feu, la croûte est flambé ce qui diminue son épaisseur et ses irrégularités. Sur un liège flambé, nous ne trouvons pas le défaut crouteux puisqu'il est généralement consommé par le feu.

En conclusion, l'axe 1 mis en évidence les défauts majeurs qui caractérisent la qualité du liège de Zerdeb.

➤ Skikda

Les résultats de l'AFC réalisés sur les échantillons du liège de Skikda sont illustrés dans la figure 67. Les deux premiers axes de l'analyse cumulent un taux d'inertie de 39% environ (tab.32).

Tableau 32: Valeurs propres et pourcentages d'inertie (Skikda)

	F1	F2	F3
Valeur propre	0,351	0,282	0,253
Inertie (%)	21,624	17,336	15,542
% cumulé	21,624	38,960	54,503

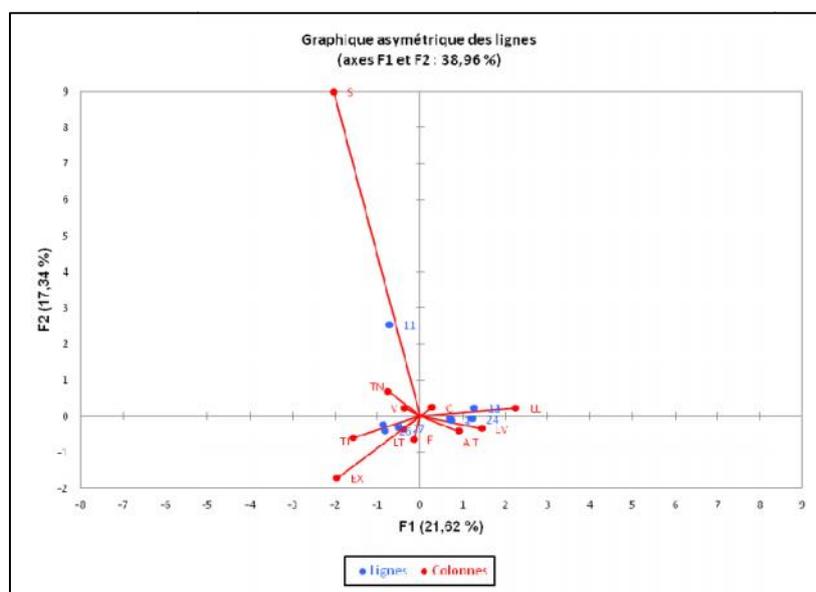


Figure 67: Représentation graphique des résultats d'Analyse Factorielle des Correspondance des défauts du liège de Skikda

Sur le premier axe, nous constatons une forte contribution de l'ensemble des défauts sur le liège de Skikda. Les principaux défauts qui se distinguent assez nettement des autres sont représentés par le liège ligneux, la tache jaune et l'exfoliation. Mais d'autres anomalies du liège peuvent contribuer d'une façon non négligeable dans la dépréciation de la qualité du liège tels que, liège vert et la tache noire. Par contre, les autres défauts ont un effet mineur.

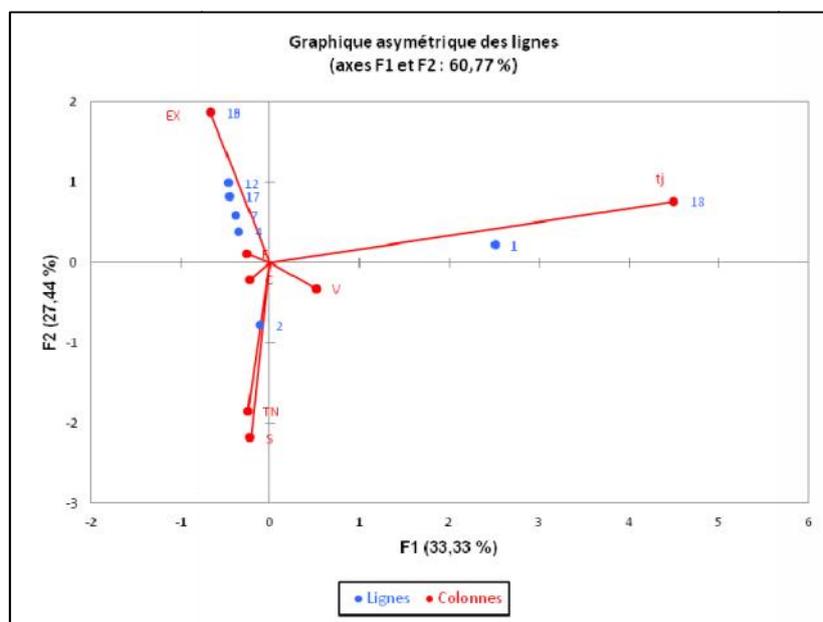
Selon l'axe 2, nous dégagons nettement les soufflures et avec un degré moindre l'exfoliation. Ces deux défauts sont dus aux facteurs externes du milieu.

➤ Hafir

Les résultats de l'AFC faite sur les échantillons du liège de Hafir sont illustrés dans la figure 68. Les deux premiers axes totalisent un taux d'inertie d'environ 61% (tableau 33).

Tableau 33: Valeurs propres et pourcentages d'inertie (Hafir)

	F1	F2	F3
Valeur propre	0,779	0,641	0,491
Inertie (%)	33,328	27,438	21,026
% cumulé	33,328	60,766	81,792

**Figure 68 : Représentation graphique des résultats d'Analyse Factorielle des Correspondance des défauts du liège de Hafir**

Sur l'axe 1 s'individualise un seul défaut à savoir la tache jaune qui est due à une attaque parasitaire. Ce défaut s'oppose à tous les autres défauts d'ordre physiologique excepté la tache noire et la soufflure. Ces défauts ont certainement un effet important sur la qualité du liège. Les trois défauts liés aux formes (ventre, croûte et fente) se retrouvent ainsi regroupés comme dans les lièges de Zariéffet et Zerdeb. Ces anomalies contribuent faiblement dans la caractérisation de la qualité du liège de Hafir. Malgré que ces types de défaut sont plus abondants dans les échantillons de cette forêt, leurs effets sur la dépréciation de la qualité du liège est minime.

Sur l'axe 2 qui dispose 27% d'information, les défauts phytopathologiques de la tache jaune et l'exfoliation se distinguent nettement sur le côté positif de l'axe. Ces anomalies sont liées au trouble de fonctionnement de phellogène qui remplace une partie du suber par le tissu pulvérulent des lenticelles pour le liège terreux et une interruption de phellogène à cause des facteurs externes pour l'exfoliation ou incendie (liège doublé). Dans le côté négatif de l'axe, les défauts de la tache noire et les soufflures sont regroupés.

Sur l'axe 2, nous observons que la partie négative concerne plus les défauts soufflure et tache noire s'opposant à l'exfoliation de la partie positive. Nous pouvons dire donc que les

principaux défauts caractérisant le liège de Hafir sont en nombre de 4 à savoir (soufflure, tache, exfoliation et tache jaune).

Dans cette forêt, environ le quart des échantillons est fortement influencé par des défauts majeurs qui peuvent affecter d'une façon non négligeable la qualité du liège. Tandis que, 40% des échantillons sont inertes de défauts ce qui confirme que le liège de Hafir est un liège de bonne qualité par rapport aux autres types de liège étudiés.

➤ M'Sila

L'ensemble des informations recueillies à partir du tableau croisé pour les échantillons du liège de M'Sila est analysé et présenté sur la figure 69. Les deux premiers axes totalisent un taux d'inertie d'environ 61% (tab.34).

Tableau 34: Valeurs propres et pourcentages d'inertie (M'Sila)

	F1	F2	F3
Valeur propre	0,031	0,024	0,019
Inertie (%)	25,762	19,958	16,126
% cumulé	25,762	45,719	61,846

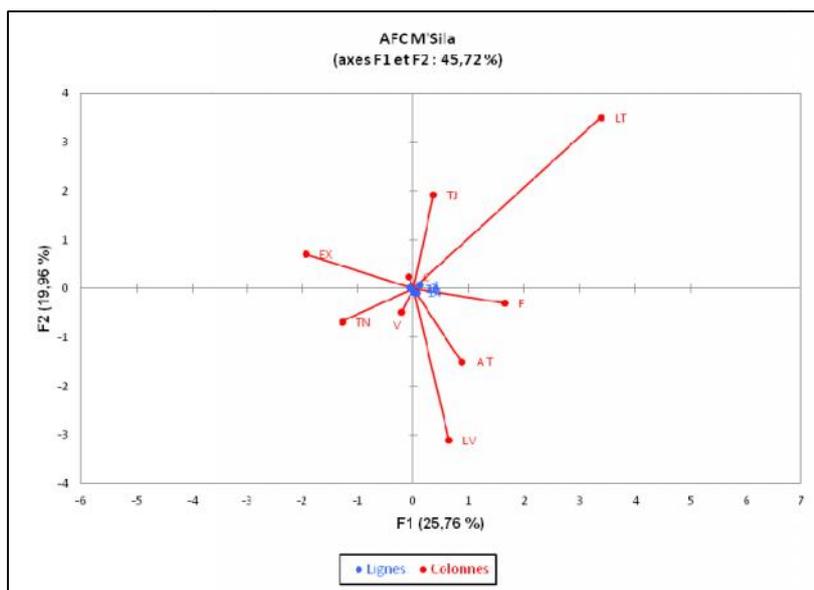


Figure 69 : Représentation graphique des résultats d'Analyse Factorielle des Correspondances des défauts du liège de M'Sila

La lecture de cette figure, nous montre une forte contribution de la majorité des défauts inventoriés. En effet, sur le premier axe qui fournit 26% seulement de l'inertie totale, le liège terreux s'individualise nettement sur le coté positif en s'opposant aux autres anomalies en l'occurrence exfoliation mais aussi tache noire.

En revanche, sur l'axe 2 (20 % d'information), les défauts dominants sont ceux qui sont liés au trouble de fonctionnement du phellogène pouvant provoquer l'apparition du liège doublé (exfoliation) mais surtout du liège terreux et le liège vert. Les défauts d'exfoliation et

autres taches contribuent faiblement dans la caractérisation de la qualité du liège. A travers cette analyse, nous pouvons dire que le liège de M'Sila abrite plusieurs types de défauts mais ceux qui influent négativement sur sa qualité nous citons le liège terreux et le liège vert.

5.1.6.3- Différents types de défaut sur bouchons

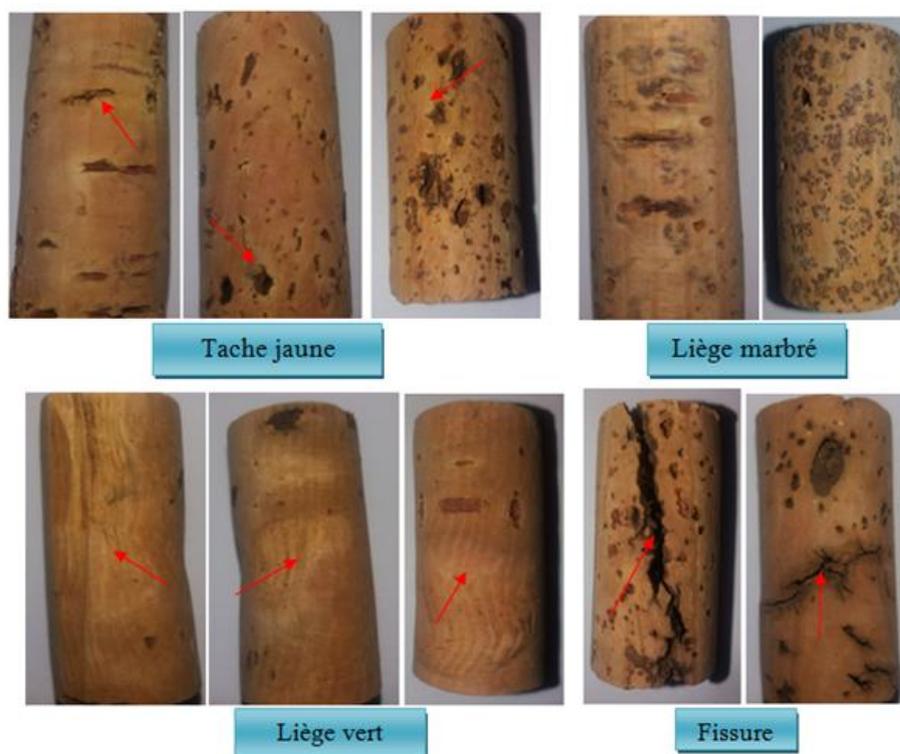
L'examen visuel permet de déceler les défauts liés à la matière première ou à la fabrication qui seraient susceptibles d'affecter l'étanchéité du bouchage. Les principaux défauts recensés sont regroupés dans le tableau 35 et figure 70.

Tableau 35: Défauts naturels des bouchons de liège des trois provenances

Défauts	TJ	LV	TI	TN	TB	TF	LT	B	F	LF	EX	LP	LL
Zarieffet	4,4%	3,3%	3,3%	0%	4,4%	0%	3,3%	0%	15,4%	4,4%	2,2%	59,3%	0%
Zerdeb	0%	05%	20%	40%	0%	0%	10%	0%	15%	0%	0%	0%	0%
Skikda	51,5%	17,0%	0%	0,5%	1,2%	17,2%	0%	0,2%	3,7%	0%	0%	0%	8,7%

La lecture du tableau, montre la dominance de la tache jaune (51%) dans les bouchons de Skikda. Ce défaut cause un goût de moisi dans les liquides, ce qui le rend rejeté par l'acheteur. Le liège vert diminue l'élasticité du bouchon, et il se rétrécit au séchage, ce qui a un impact économique négatif dans l'industrie du liège. Ce défaut est présent dans 15% des bouchons de Skikda et 5% à Zerdeb, contre seulement 3% à Zarieffet.

Le liège poreux (59%) est dominant dans les bouchons du liège de Zarieffet. Cette porosité diminue la qualité des bouchons, qui nécessitent un colmatage. Tandis que dans le liège de Zerdeb, nous enregistrons la forte présence de la tache noire (40%).



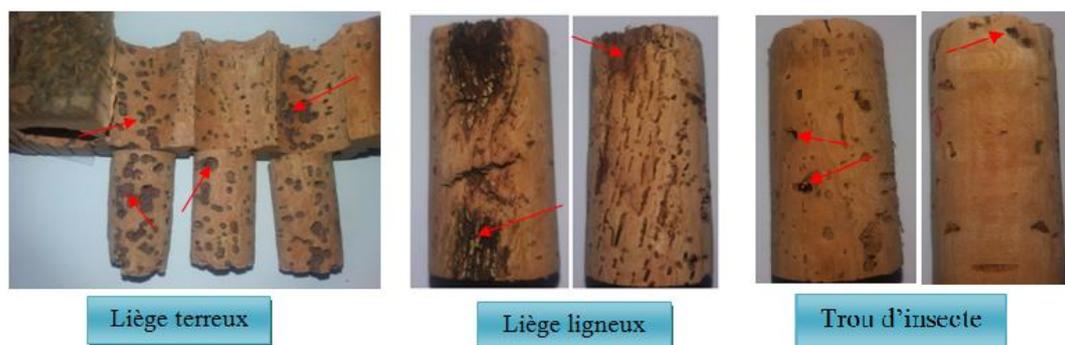


Figure 70: Les bouchons du liège présentant des défauts naturels du liège (original)

5.1.7- Classification des planches de liège selon la méthode d'IPROCOR

Les résultats d'observation visuelle des différentes bandes de liège extraites de la même planche nous a permis d'attribuer à chaque planche de liège une classe de qualité, selon la classification d'IPROCOR (1 à 7 classe). Par la suite, nous avons regroupé les 7 classes en 4 classes de qualité dont ; 1-3 bonne qualité, 4-5 moyenne qualité, 6 faible qualité et 7 Rebut. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 36 et la figure 71.

Tableau 36: Distribution des échantillons par classe de qualité selon IPROCOR (en pourcentage).

Classes de qualité	Bonne			Moyenne		Faible	Rebut
	1	2	3	4	5	6	7
Zarieffet	11	15	04	07	13	15	35
Zerdebe	00	05	07	15	09	20	44
Skikda	00	02	6	11	06	24	51
Hafir	23	20	14	20	08	10	05
M'Sila	15	25	10	14	16	08	12

La lecture de ce tableau, nous permet de constater que le liège de 1^{ère} classe est absent dans les échantillons de Zerdeb et Skikda, mais fortement présent dans le liège de Hafir 23%. Ce dernier contient une faible quantité du rebut (5%), contre une forte présence de cette dernière classe à Skikda (51%), Zerdeb (44%) et Zarieffet (35%).

En ce qui concerne les lièges de 2^{ème} et 3^{ème} qualité, ils sont bien représentés dans les échantillons de Hafir (34%) et M'Sila (35%). Par contre à Zarieffet, il représente un taux de 19% mais 12% seulement à Zerdeb voire 8% à Skikda.

Le liège de 4^{ème} classe est très difficile à distinguer de celui de la 5^{ème} classe. Il est fortement présent à Hafir (20%), alors que celui de la 5^{ème} classe, il varie entre 6% (Skikda) et 16% (M'Sila). Le liège de faible qualité (6^{ème} classe) se trouve dans les 5 subéraies, il atteint 20% à 24% respectivement à Zerdeb et Skikda. Il est très faible dans le liège de Zarieffet (15%), Hafir (10%) et M'Sila (8%).

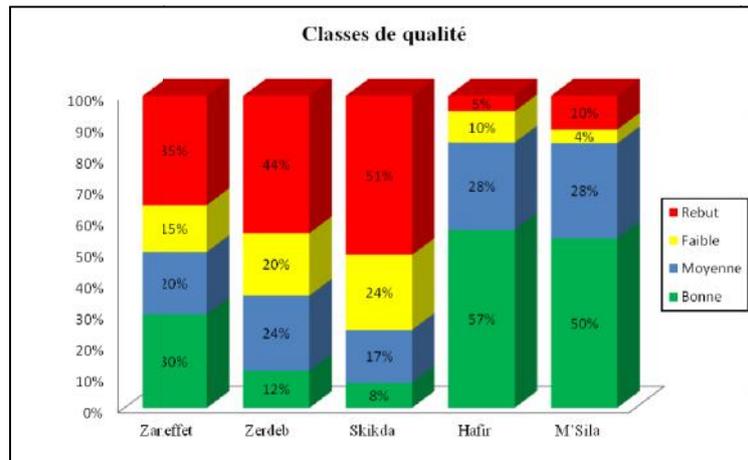


Figure 71: Distribution du liège des Cinq subéraies par classe de qualité selon la méthode de classification visuelle

D’après la figure, nous remarquons la dominance du liège de bonne qualité qui renferme les 3 premières classes de qualité (1^{er} -3^{eme}) à Hafir (57%), M’Sila (50%) et Zarieffet (30%). En revanche, elle est de faible présence à Zerdeb (12%) et Skikda (8%). Le liège de moyenne qualité est fortement présent dans les 3 subéraies de montagne, allant de 20% (Zarieffet) à 28% (Hafir) et en littoral dans le liège de M’Sila (28%). En ce qui concerne le liège de faible qualité et rebut est fortement présent à Skikda (75%).

5.1.8- Relation entre la qualité du liège et les bouchons produits

5.1.8.1- Poids des bouchons

Le rendement des planches est estimé par le nombre de bouchons utiles que nous pouvons obtenir par kilogramme ou mètre carré de matière première. La variation du poids moyen des bouchons produit dans chaque classe de qualité pour le liège des trois subéraies est illustrée dans la figure 72.

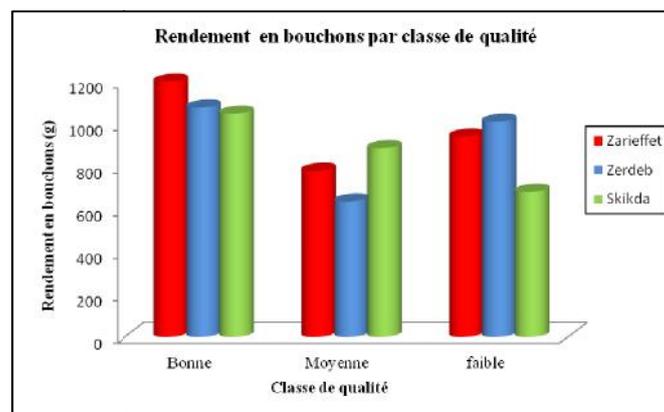


Figure 72: Rendement des planches de liège par classes de qualité (poids de bouchons)

D'après la figure, nous remarquons que le rendement (poids net) en bouchons est très élevé dans le liège de bonne qualité dans les 3 provenances. Il diminue avec la diminution de la qualité de la matière première. En effet, les planches de la 1^{ère} classe de qualité produit de 1050g (Skikda) à 1200 g (Zarieffet). Tandis que, les planches de liège de qualité moyenne produit 1012 g à Zerdeb, 781g à Zarieffet et 682g à Skikda. Toutefois, le liège de faible qualité produit une très faible quantité de bouchons contre une grande quantité de résidus. Ces derniers sont issus lors de l'opération de tubage manuel, où l'ouvrier élimine les parties à défauts ce qui diminue la quantité des bouchons produits surtout à Zerdeb (637 g), Zarieffet (942 g) et Skikda (887 g). Les planches de la classe rebut sont éliminées du processus de fabrication des bouchons ; elles sont directement destinées au broyage. Donc, la qualité du liège a une influence capitale sur le rendement des produits extraits (bouchons).

5.1.8.2- Qualité des bouchons : Relation entre les qualités planches- bouchons

Les bouchons obtenus ont à leur tour été triés visuellement afin de classer chacun d'eux en une des classes appropriées (1^{ère} à 7^{ème}). Les résultats de la classification sont illustrés dans le tableau 37 et la figure 73.

Tableau 37: Relation entre la qualité de la planche du liège et la qualité des bouchons (en pourcentage).

Planche Bouchon	Bonne (1-3)			Moyenne (4-5)			Faible (6 ^{ème})			Rebut (7 ^{ème})		
	Zerdeb	Zarieffet	Skikda	Zerdeb	Zarieffet	Skikda	Zerdeb	Zarieffet	Skikda	Zerdeb	Zarieffet	Skikda
0	10	20	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	30	40	10	0	5	0	0	0	0	0	0	0
2	40	10	20	9	4	6	0	0	0	0	0	0
3	15	15	40	18	27	28	35	15	10	0	0	0
4	5	10	15	18	36	44	25	8	50	0	0	0
5	0	5	10	10	5	6	15	17	20	35	33	30
6	0	0	0	45	23	17	25	60	20	65	67	70

D'après ce tableau, nous constatons que le liège de bonne qualité produit 60% des bouchons de gamme supérieure (0 - 1^{ère}) à Zarieffet contre 40% à Zerdeb et 15% à Skikda. Les bouchons de gamme standard (2^{ème} - 4^{ème} classe) sont fortement présents dans le liège de bonne qualité avec 35%, 65% et 75% respectivement à Zarieffet, Zerdeb et Skikda. Alors que, les bouchons de 5^{ème} classe sont présents avec 5% à 10% à Zarieffet et Skikda.

Dans le liège de qualité moyenne, nous remarquons l'absence des bouchons de qualité extra (0) et la 1^{ère} classe. Par contre, les bouchons de gamme standard varient de 27% (Zerdeb) à 33% (Skikda). Les bouchons d'entrés de gamme (4^{ème}-5^{ème}) sont fortement présents à Skikda et Zarieffet avec 51% et 41% respectivement contre seulement 18% à Zerdeb. En ce qui concerne les bouchons de la 6^{ème} classe, nous enregistrons une proportion de 45% à Zerdeb, 23% à Zarieffet et 17% à Skikda.

Le liège de faible qualité produit des bouchons de gamme standard en faible pourcentage soit 35% à Zerdeb, 15% à Zarieffet et 10% à Skikda. Les bouchons d'entrée de gamme représentent 35%, 25% et 70% des bouchons produit à Zerdeb, Zarieffet et Skikda respectivement. Les bouchons de la 6^{ème} classe sont fortement présents dans le liège de Zarieffet avec 60% contre 25% à Zerdeb et 20% à Skikda.

Dans les planches de liège rebut, nous enregistrons une quantité élevée des bouchons de 6^{ème} classe avec 65% à Zerdeb, 67% à Zarieffet voire même 70% à Skikda. Les bouchons de la 5^{ème} classe de qualité sont ainsi présents avec 35%, à Zerdeb 33% à Zarieffet et 30% à Skikda.



Figure 73 : Sélection visuelle des bouchons de liège (original)

5.1.9- Distribution des principales défauts selon les classes de qualité

L'identification visuelle des anomalies est réalisée pour chaque classe de qualité dans les 3 provenances du liège dans le but de confirmer les différences entre les classes de qualité. Il s'agit en effet, des défauts d'irrégularité du ventre, croûte, exfoliation, trous d'insectes, fente, liège vert, liège terreux, soufflure, tâche jaune, tâche noire et autres taches.

5.1.9.1- Principaux défauts dans le liège de bonne qualité

Les principaux défauts recensés sur la section transversale des échantillons des 1^{er}-3^{ème} classes de qualité sont mentionnées dans le tableau 38.

Tableau 38: Type des défauts recensés dans le liège de bonne qualité (1^{er}-3^{ème}) (chiffre en pourcentage).

	V	C	EX	TI	F	TJ	TN	LV	TB	LT	S	A T	IB
Zarieffet	7,14	10,71	0	0	3,33	0	14,29	0	0	0	0	3,57	0
Zerdeb	7,14	14,29	0	0	14,29	0	0	0	0	0	0	0	0
Skikda	3,33	6,67	0	0	14,29	0	3,33	3,33	0	0	0	3,33	3,33
Hafir	6,67	3,33	5	0	3,33	0	0	0	0	3,33	0	0	0
M'Sila	17,86	25,00	3,57	0	3,57	0	3,57	0	0	0	0	3,57	0

D'après ce tableau, nous constatons que le liège de bonne qualité présente peu de défauts, surtout dans les échantillons de Zariéffet et Hafir. Nous notons l'absence des trous d'insectes, la tache jaune, le liège vert et les soufflures dans les 5 provenances. En effet, les défauts fortement présents sont la croûte épaisse (14%) à Zerdeb et la fente (14%) à Zerdeb et Skikda. La tache noire est présente dans 14% du liège de Zariéffet. En revanche, les défauts d'exfoliation, le liège vert, le liège doublé, le liège terreux, inclusions boisés et autres taches sont rares dans le liège de bonne qualité de l'ensemble des échantillons.

5.1.9.2- Principaux défauts dans le liège de moyenne qualité

Les plus importants défauts recensés dans les échantillons du liège de la classe de qualité moyenne (4^{ème}-5^{ème}) sont mentionnées dans le tableau 39.

Tableau 39: Type des défauts recensés dans le liège de moyenne qualité (4^{ème}-5^{ème})

	V	C	EX	TI	F	TJ	TN	LV	LT	S	A T	IB
Zariéffet	14,3	21,4	7,2	0	14,3	0	14,3	3,6	0	0	0	0
Zerdeb	21,4	42,9	14,3	0	28,6	0	0	0	0	0	0	0
Skikda	26,7	40,0	10,0	10,0	26,7	10,0	10,0	10,0	3,3	0	0	0
Hafir	3,3	3,3	13,3	0	13,3	0	0	0	0	0	0	0
M'Sila	10,7	7,2	7,1	0	10,7	0	0	3,6	3,6	0	0	0

Dans le liège de qualité moyenne, nous recensons plus la présence des défauts mineurs comme l'exfoliation, les taches jaune et noire, liège vert, liège terreux, les trous d'insectes et les inclusions boisés. Nous notons aussi l'absence des soufflures et autres taches. Les défauts fortement présents dans cette classe de qualité sont donc le ventre irrégulier, la croûte épaisse, l'exfoliation et la fente. Il convient de signaler, que le liège de Skikda contient plus ces défauts.

5.1.9.3- Principaux défauts dans le liège de faible qualité

Les principaux défauts relevés sur les échantillons du 6^{ème} classe de qualité sont mentionnés dans le tableau 40.

Tableau 40: Types de défauts recensés dans le liège de faible qualité (6^{ème})

	V	C	EX	TI	F	TJ	TN	LV	LT	S	A T	IB
Zariéffet	18,2	27,3	9,1	0	18,2	4,6	18,2	4,6	0	3,6	4,6	0
Zerdeb	21,4	40,9	14,3	0	28,6	0	7,1	5,0	0	0	0	7,1
Skikda	24,7	40,0	10,0	10	25,7	10,0	10,0	10,0	0	10,0	13,3	16,7
Hafir	10,0	20,0	3,3	3,3	13,3	0	3,3	0	0	4,0	0	0
M'Sila	25,0	14,3	0	0	7,1	7,1	0	0	0	0	3,6	0

Dans ce type de liège, nous constatons la présence des soufflures et liège terreux, contre une faible répartition de certains défauts tels que les trous d'insectes, la tache jaune, le liège vert, les inclusions boisés et autres taches. En outre, le défaut du ventre irrégulier est

fortement présent dans les lièges de Skikda (27%), M'Sila (25%), Zerdeb (21%) et Zariéffet (18%). Par ailleurs, le défaut de croûte épaisse est fortement présent dans le liège de Zerdeb (40%), Skikda (40%), Zariéffet (27%), Hafir (20%) et M'Sila 14%. Le liège doublé est présent dans 14% des échantillons de Zerdeb et 10% de Skikda.

5.1.9. 4- principales défauts dans le liège rebut

Les défauts relevés des échantillons de la classe rebut sont présentés dans le tableau 41.

Tableau 41: Types des défauts relevés dans le liège rebut

	V	C	EX	TI	F	TJ	TN	LV	LT	S	A T	IB
Zariéffet	18,2	13,6	4,6	4,6	18,2	13,6	13,6	9,1	4,6	0	13,6	0
Zerdeb	35,7	42,9	28,6	0	57,1	0	28,6	0	0,	0	0	14,3
Skikda	13,3	26,7	3,3	3,3	16,7	20,0	20,0	3,3	0	3,3	10,0	10,0
Hafir	0	3,3	0	0	13,3	0	0	0	0	4.0	0	0
M'Sila	7,1	7,1	0	0	7,1	7,	0	0	7,1	0	0	0

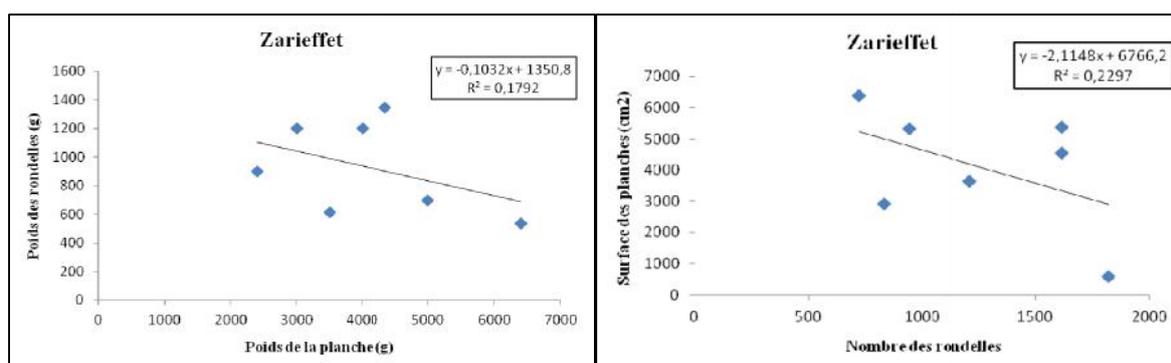
Dans ce type de liège destiné à la trituration, nous rencontrons tous les types de défauts dans les lièges de toutes les provenances mais avec une différence de répartition. Certains défauts sont très élevés que d'autres et tous contribuent à la dépréciation davantage de la qualité du liège et le rend impropre à toute utilisation bouchonnière.

La présence de la tache jaune rend la planche inutilisable dans la fabrication des bouchons. Ce défaut est identifié dans 20% du liège de Skikda, 14% du liège de Zariéffet et 7% du liège de M'Sila. Il est absent dans le liège de Zerdeb et Hafir.

Nous remarquons aussi que le liège de Skikda représente plus de défauts, suivi par le liège de Zerdeb et Zariéffet. Tandis que les lièges rebut de M'Sila et Hafir présentent moins de défauts.

5.1.10- Relation entre le poids des planches et les rondelles

Les planches de liège (<27mm) sont destinées à la fabrication des rondelles. Ces dernières représentent 20% du liège de Zariéffet, et elles sont absentes dans les lièges de Zerdeb et Skikda. Le résultat de la relation entre le poids, la surface et l'épaisseur des planches sur le rendement net en rondelle (nombre des rondelles) est illustré dans la figure 74.



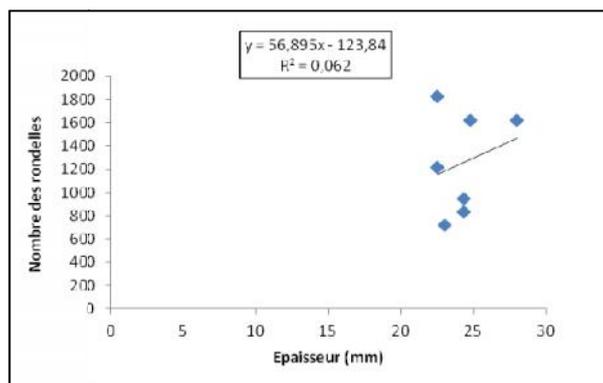


Figure 74 : Relation entre le poids, la surface et l'épaisseur des planches sur le rendement net en rondelle (nombre des rondelles)

D'après cette figure, nous constatons que le nombre des rondelles produit par une planche de liège est fortement indépendant de son poids, son épaisseur et même sa surface. Ceci est dû à l'effet de la méthode de découpage des planches en lame selon l'épaisseur de la planche lors du processus de production des rondelles.

La fabrication des rondelles de liège se fait d'une manière automatique, d'où toutes les lames de liège coupées sont transformées en rondelles. La figure 75 montre le poids de déchets extraits par rapport aux poids initiaux des planches, et les poids moyens des rondelles issues de chaque classe de qualité.

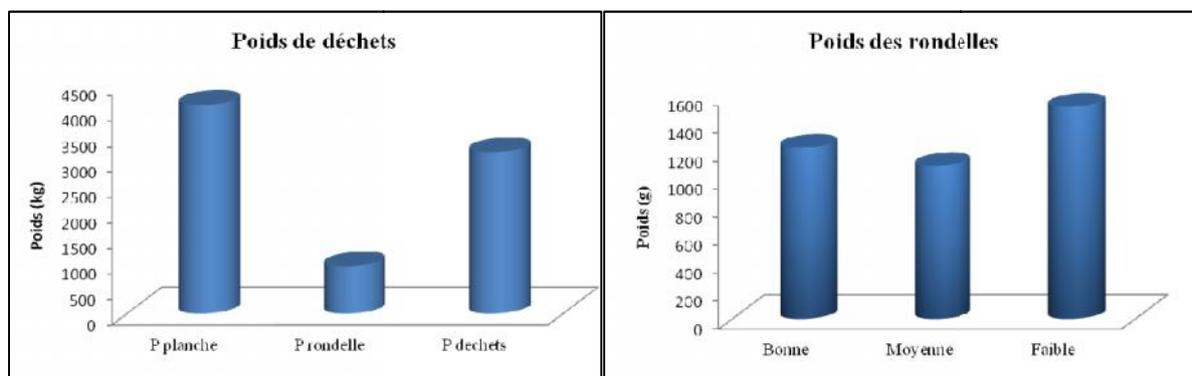


Figure 75: Variation des poids (g) de déchets régénérés et des rondelles par les planches de liège des trois subéraies

D'après cette figure, nous enregistrons une grande quantité de déchets où ils atteignent 77% du poids initial de la planche du liège contre 23% des rondelles.

Dans ce cas, nous constatons que la qualité de la planche du liège n'influe pas sur son rendement en rondelles. Elle atteint des valeurs plus élevées dans le liège de faible qualité 1518 g contre 1225 voire 1095 g dans les planches de bonne et faible qualité.

5.1.11- La qualité des rondelles produite

Les résultats de la classification visuelle des rondelles de liège obtenus à partir des planches de liège de Zariéffet <27 mm d'épaisseur sont illustrés dans la figure 76.

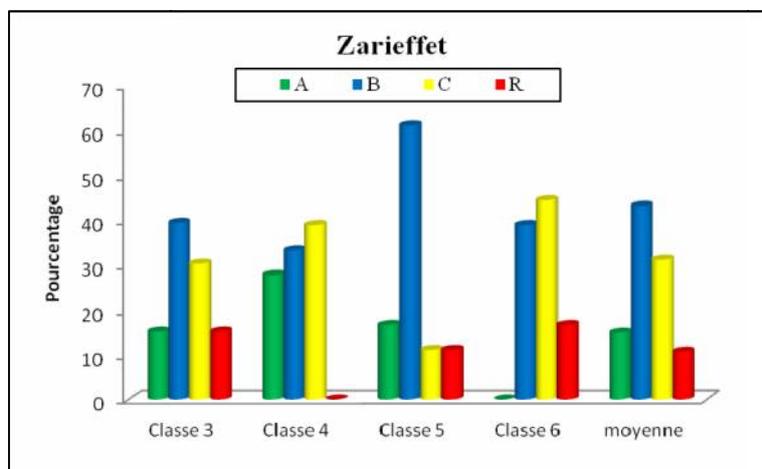


Figure 76 : Distribution des classes de qualité des rondelles par les classes de qualité des planches de liège

La distribution des rondelles par classe de qualité montre la dominance de la classe B de moyenne qualité dans toutes les planches de liège (43%), et la classe C qui regroupe les rondelles à faible qualité (31%). Tandis que les rondelles de bonne qualité (A) ne représentent que 15% de la production contre 11% de rebut. Ce dernier est éliminé à cause de la présence des défauts à savoir ; les fissures, les inclusions boisés et les trous d'insectes.

Lorsque nous prenons en considération la qualité de la planche, nous constatons que sa qualité n'influe pas souvent sur la qualité des rondelles produites (tab.42). En effet, des planches de la classe de la 5^{ème} qualité produit plus de rondelle de la classe B (61%), contre 39% dans la 3^{ème} classe et 33% de la 4^{ème} classe. Alors que, les rondelles de bonne qualité (A) sont fortement présentes dans la production à partir des planches de la 4^{ème} classe avec 28% contre 15% de la 3^{ème} classe. Nous remarquons aussi, l'absence de cette classe dans les planches de 6^{ème} classe de qualité. Les rondelles de la classe de qualité C sont présentes dans toutes les classes de qualité, elle varie entre 11% et 44% respectivement dans les classes 5 et 6. Les rondelles rebuts sont présentes avec des faibles valeurs (11% à 16%) dans toutes les classes excepté la classe 4.

Vu le nombre minimal des planches, ces résultats restent primaires et nécessite d'autres études dans l'avenir avec plus d'échantillon.

Tableau 42 : Analyse de la variance a un facteur de la variable classe de qualité des rondelles

	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	1	3	0,33333	0,00094	0,99996	3,23887
A l'intérieur des groupes	5697,85	16	356,115			
Total	5698,85	19				

5.2- Etude de la porosité

Les résultats présentés sur la porosité sont la moyenne des mesures sur les deux sections transversales de chaque échantillon, sachant que les lenticelles sur cette section apparaissent sous forme de canaux rectangulaires de variables largeurs. Par contre, dans la section tangentielle, ces canaux sont approximativement circulaires ou elliptiques (Natividade, 1956 ; Ferreira, 2000 ; Pereira et al.,1996).

5.2.1- Opération de filtrage des pores

L'opération de filtrage des pores est une étape préliminaire dans l'étude de la porosité du liège. Elle permet de filtrer les pores sélectionnés par zone d'intérêt. Seuls les pores ayant une surface supérieure ou égale à $0,5 \text{ mm}^2$ qui sont conservés pour l'analyse, car les pores à faibles surfaces ($<0,5 \text{ mm}^2$) n'ont pas d'incidences majeures sur la qualité du liège. En plus, la majorité d'entre-eux ne sont pas visibles à l'œil nu. Mais ces pores peuvent apporter une certaine variance et une variabilité plus élevées à l'échantillon de liège (Costa et Pereira, 2007). La figure 77 présente la variation des effectifs des pores retenus pour l'analyse de chaque échantillon du liège des 2 forêts.

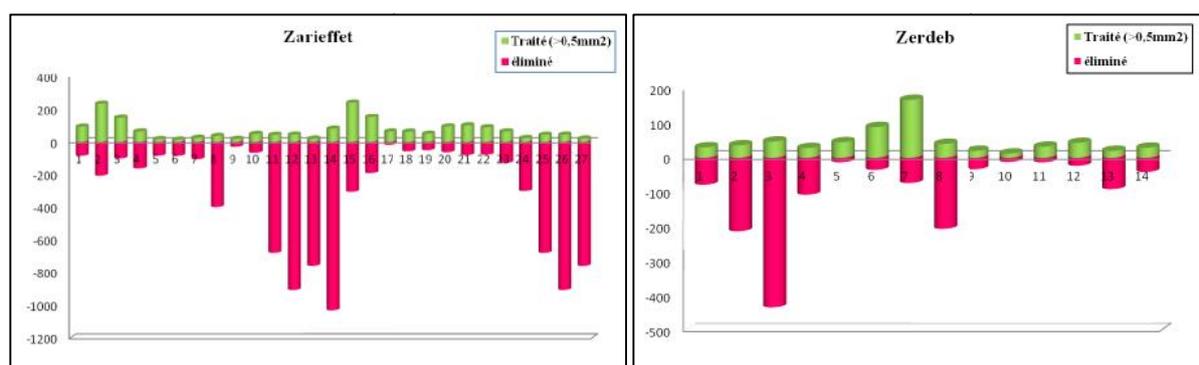


Figure 77 : Variation du nombre des pores traités durant l'opération de filtrage selon leur surface pour le liège de Zarieffet et Zerdeb

Selon cette figure, nous constatons que la majorité des pores présents sur la masse du liège des 2 sites d'étude sont invisibles à l'œil nu et qui influent faiblement sur la qualité du liège. Ces pores varient entre 70% à Zerdeb et 80% à Zarieffet. Les pores visibles à surface supérieure ou égale à $0,5 \text{ mm}^2$ sont donc représentés avec une proportion variant de 20 % à

Zarieffet à 30% à Zerdeb. C'est ce type de pores qui sont retenus dans l'étude de la porosité du liège et la caractérisation de leurs différents paramètres.

5.2.2- Caractérisation générale des différents paramètres de la porosité transversale

Les résultats de la caractérisation macroscopique de chaque échantillon du liège à partir de 13 variables des pores mesurées sur les deux sections transversales sont mentionnés dans le tableau 43 suivant.

Tableau 43 : Caractérisation de la porosité du liège des subéraies de Zarieffet et Zerdeb. Les chiffres entre parenthèse indiquent l'écart-type.

Variables de porosité	Zarieffet	Zerdeb
Dimension des pores		
Surface moyenne des pores (mm ²)	4,50 (4,02)	7,95 (5,12)
Surface maximale des pores (mm ²)	29,20 (37,70)	39,14 (23,66)
Périmètre moyen (mm)	14,60 (6,01)	17,40 (4,71)
Diamètre moyen (mm)	2,20 (0,74)	2,60 (0,39)
Longueur moyenne des pores (mm)	6,20 (2,65)	7,34 (1,47)
Largeur moyenne des pores (mm)	1,10 (0,47)	1,55 (0,31)
La forme des pores		
Rapport aspect moyen	6,20 (2,24)	6,60 (2,8)
Dimension fractal moyen	1,10 (0,02)	1,10 (0,04)
Moyenne rondeur des pores (Sphéricité)	8,90 (3,6)	5,76 (2,02)
Densité (Concentration)		
Nombre total des pores	280 (116)	236,05 (73,88)
Coefficient de porosité (%)	9,10 (4,48)	10,30 (2,71)

La lecture de ce tableau montre que les variables de porosité du liège des 2 forêts présentent des similitudes dans la variation de leurs valeurs.

En ce qui concerne les caractéristiques de dimension, la variabilité intrinsèque est élevée à Zarieffet qu'à Zerdeb. Nous enregistrons une surface moyenne des pores de 4,5 mm² à Zarieffet contre 7,95 mm² à Zerdeb. La surface maximale des pores est très élevée à Zerdeb avec 39 mm² contre 29 mm² à Zarieffet.

Les dimensions moyennes des périmètres, diamètres et largeurs des pores sont similaires dans les lièges des deux subéraies avec des variabilités intrinsèques élevées. Mais les pores sont 5 à 6 fois plus longs que larges avec une longueur spécifique de 6,2 mm à 7,34 mm contre une largeur de 1,1 mm à 1,55 mm respectivement à Zarieffet et Zerdeb.

Les caractéristiques de formes telles que le rapport d'aspect, le coefficient de porosité et la sphéricité ont montré des valeurs similaires dans les deux sites d'étude. La dimension moyenne fractale est de 1,1 en moyenne dans le liège des deux forêts. Le rapport aspect et la rondeur des pores sont plus élevés dans le liège de Zarieffet avec 6,2 et 8,9 respectivement que dans celui de Zerdeb avec 6,5 et 5,76.

Sur le plan caractéristique de concentration des pores, le liège de Zerdeb présente un nombre moyen de 236 pores par 100 cm² contre 280 pores par 100 cm² à Zariéffet. En règle générale, la surface moyenne des pores et le nombre maximal de ces pores influent directement sur la qualité du liège. En effet, à partir de ces résultats, nous constatons que le liège de Zariéffet qui renferme un nombre élevé de pores mais à petite surface est moins poreux que celui de Zerdeb. Mais les deux types de liège se classent dans le liège poreux (>4%), avec des valeurs moyennes de 9,2% à Zariéffet voire 10,30% à Zerdeb.

5.2.3- Densité des pores

Les résultats de dénombrement total des pores du liège de chaque échantillon provenant des deux subéraies de Zariéffet et Zerdeb sont présentés dans la figure 78.

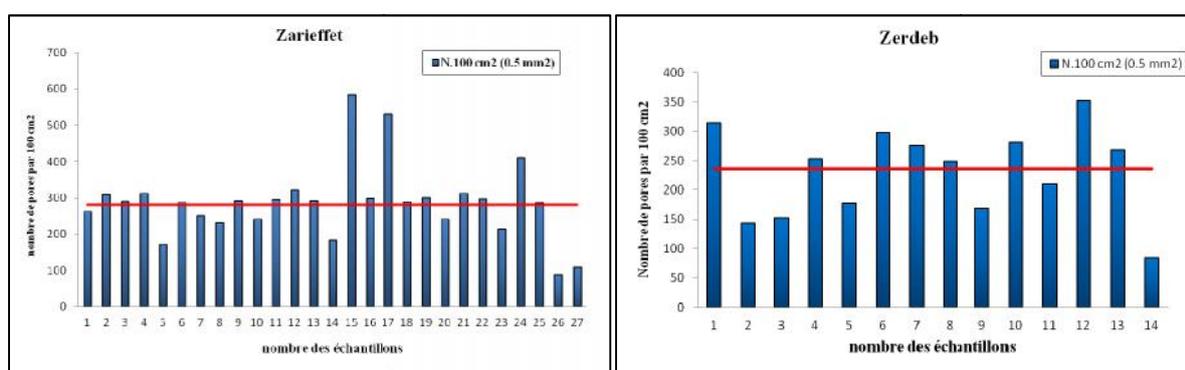


Figure 78: Variation de la densité des pores par échantillon du liège dans les deux subéraies

Cette figure montre une densité des pores par surface de 100 cm² plus élevée à Zariéffet de l'ordre de 280 pores contre une densité de 236 pores à Zerdeb. Le coefficient de variation marque aussi une variabilité assez forte entre les échantillons du liège de Zariéffet de l'ordre de 41% contre 31% à Zerdeb. La faible variabilité dans le liège de Zerdeb est peut-être expliquée par le nombre assez faible des échantillons qui est de 14 contre 27 échantillons à Zariéffet. Toutefois, les valeurs extrêmes chevauchent entre 49 et 295 pores pour le liège de Zariéffet et entre 48 et 282 pores pour le liège de Zerdeb.

L'analyse de la variance à un facteur a permis de tester statistiquement l'effet de la provenance sur la variation de la densité des pores. Les résultats de ce test sont présentés dans le tableau 44.

Tableau 44: Analyse de la variance du paramètre de la densité des pores

	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	27060,88	1	27060,88	3,0092	0,0907	4,0913
A l'intérieur des groupes	350712,74	39	8992,63			
Total	377773,62	40				

Ce tableau montre que la densité des pores du liège ne diffère pas significativement entre les deux forêts avec un seuil de signification de 5%.

La distribution moyenne des densités des pores des lièges de Zarieffet et Zerdeb par la boîte à moustache (Box plot) est très dispersée dans les échantillons (fig.79).

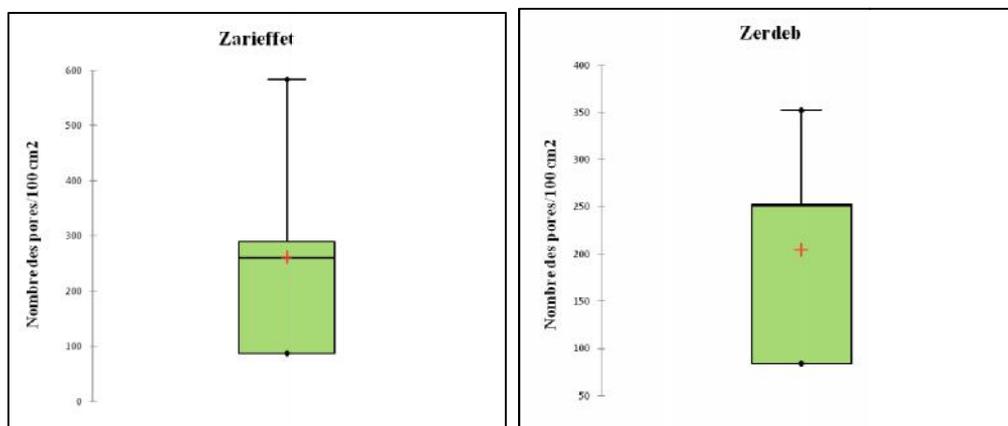


Figure 79 : Valeur moyenne de la variable « densité des pores » des 2 forêts

La densité des pores varie de 84 à 253 pores par 100 cm² dans 50% des échantillons du liège de Zerdeb. Par contre à Zarieffet, ce taux d'échantillons voit sa densité varier entre 87 à 261. Ceci nous montre l'effet individuel de l'arbre dans la formation des lenticelles.

5.2.4- Superficie des pores

Le nombre et la grosseur des pores exercent une influence prépondérante sur la qualité du liège (Boudy, 1950 ; Pereira et al., 1996). Le tableau 45 englobe les paramètres moyens caractérisant l'ensemble des échantillons du liège observés de chaque subéraie. Tandis que, la figure 80 montre les variations individuelles entre les échantillons.

Tableau 45: Caractérisation de la superficie totale des pores du liège; les chiffres entre parenthèse indiquent l'écart-type

Variables de pores	Zarieffet	Zerdeb
Superficie totale occupée par les pores (mm ²)/AOI	186,51 (172,05)	214,21 (124,26)
Superficie minimum occupée par les pores (mm ²)/AOI	12,58	39,84
Superficie maximum occupée par les pores (mm ²)/AOI	616,71	391,27
Superficie moyenne des pores (mm)	4,50 (4,02)	7,95 (5,12)
Superficie maximale des pores (mm)	29,20 (37,70)	39,14 (23,66)
Superficie minimale des pores (mm)	1,86	3,56

D'après ces résultats, nous constatons que la surface totale occupée par les lenticelles est très variables entre les échantillons de Zarieffet qu'à Zerdeb; elle oscille entre des valeurs extrêmes de 12,58 à 616,71 mm² à Zarieffet et entre 39,84 et 391,27 mm² à Zerdeb. En moyenne, la surface occupée par les lenticelles est plus élevée dans la masse du liège de Zerdeb avec 222,18 mm² contre 186,51 mm² à Zarieffet.

La même différence est constatée dans la comparaison entre les superficies moyennes des pores. Les pores du liège de Zerdeb engendrent les plus grandes aires avec $7,95 \text{ mm}^2$ contre $4,5 \text{ mm}^2$ à Zariéffet, mais dans ce dernier une grande dispersion est constatée dans la surface des lenticelles traversant la masse du liège.

Selon Natividade (1956) ; Pereira et al. (1996) et Pereira (2007), le nombre et les dimensions des pores ont une large variation entre les échantillons et même dans les différentes parties de la même planche du liège. La figure 80 illustre les variations individuelles des surfaces totales occupées par les lenticelles dans la section transversale dans les deux subéraies.

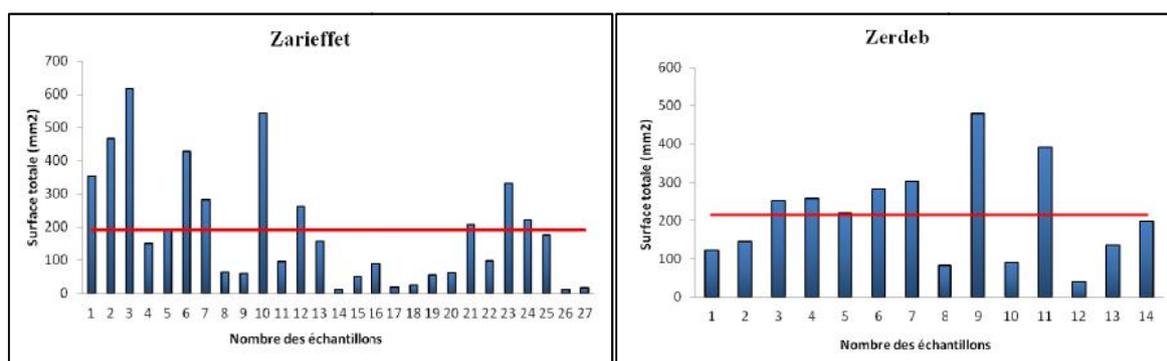


Figure 80: Variation de la surface totale des pores par échantillon du liège dans les deux subéraies

D'après cette figure, nous remarquons que la surface totale occupée par les pores est très variables dans les échantillons. Elle est généralement plus élevée à Zerdeb qu'à Zariéffet malgré que les deux subéraies se situent dans le même faciès naturel (montagne). Toutefois, plus de la moitié des échantillons ont une surface totale moins de la moyenne à Zerdeb (50%) et Zariéffet (63%). En effet, l'espace occupé par ces perforations exprime le rang de coefficient de porosité de chaque planche (Natividade, 1956 ; Costa et Pereira, 2004).

Selon la boîte à moustache illustrée dans la figure 81, nous confirmons les résultats présentés dans le tableau 46 et la figure 81, où la surface moyenne des pores est plus élevée à Zerdeb. De plus, l'élongation maximale en millimètre carré des lenticelles du liège occupe des valeurs plus élevées à Zerdeb avec $39,14 \text{ mm}^2$ contre $29,20 \text{ mm}^2$ à Zariéffet. Alors que, les pores de petites surfaces se trouvent plus dans le liège de Zariéffet avec $1,86 \text{ mm}^2$ contre $3,56 \text{ mm}^2$.

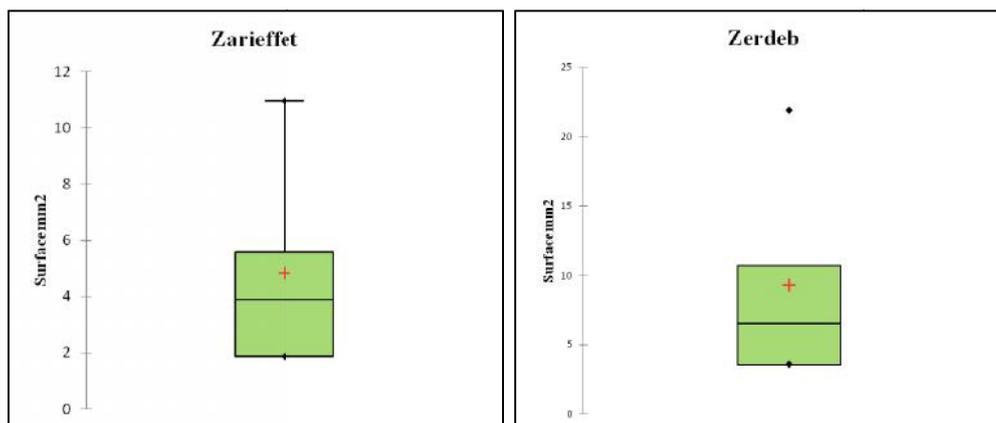


Figure 81: Valeur moyenne de la variable la surface moyenne des pores (mm^2)

D'après cette figure, nous constatons aussi que 50% des pores de Zariéffet ont des superficies moyennes entre 1,80 et 5,58 mm^2 contre 3,56 et 10,69 mm^2 pour le liège de Zerdeb. En outre, 75% des pores ont une superficie moyenne égale ou inférieure à 3,89 mm^2 par contre à Zerdeb, elle est de 10,69 mm^2 (3^{ème} quartile).

D'ailleurs, l'écart interquartile est élevé à Zerdeb ce qui montre que la surface moyenne des pores dans les échantillons du liège est dispersée. Cela est confirmé par l'étendue plus large à Zerdeb qu'à Zariéffet.

L'analyse de variance montre qu'il existe une différence significative entre la surface moyenne des pores formés dans les calas de liège de Zariéffet et Zerdeb (tab.46).

Tableau 46: Analyse de la variance à un facteur de la variable de la surface moyenne des pores

	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	193,08	1	193,08	11,92	0,0013	4,091
A l'intérieur des groupes	631,86	39	16,20			
Total	824,93	40				

5.2.5- Coefficient de porosité

Le coefficient de porosité caractérise la distribution des pores ou canaux lenticulaires qui traversent radialement la masse du suber dans toute son épaisseur. Il est défini comme étant le volume de vides rapporté au volume total du liège (Boudy, 1952 ; Vivas, 1995 ; Ferreira et al., 2000). Les résultats de mesure de la variation des coefficients de porosité pour le liège de chaque subéraie sont présentés dans la figure 82.

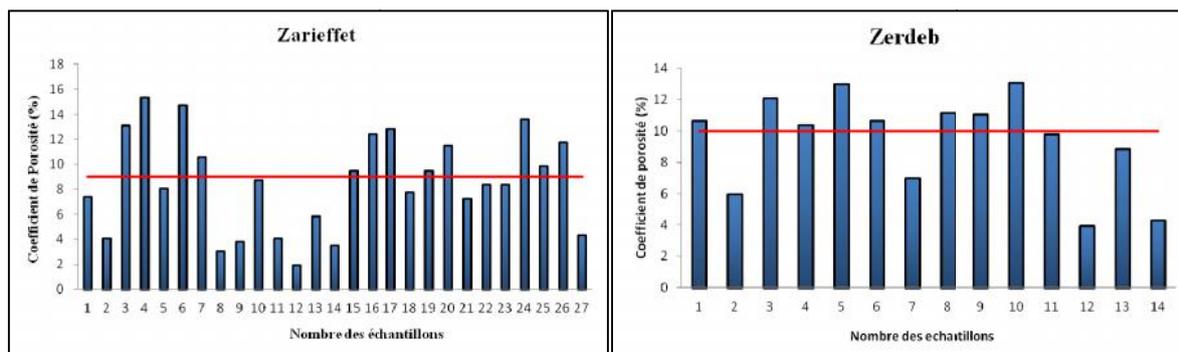


Figure 82 : Variation des coefficients de porosité par échantillon du liège dans les deux subéraies

D'après cette figure, nous enregistrons une variabilité intrinsèque dans les valeurs du coefficient de porosité du liège des deux subéraies. Globalement, cette variabilité est plus marquée à Zarieffet (C.V=49%) qu'à Zerdeb (C.V=26%). Ceci confirme l'effet prépondérant de l'arbre comme source de variation. En plus, les valeurs du coefficient de porosité s'échelonnent entre 1,94% et 15,34% à Zarieffet et de 3,93% à 12,98% à Zerdeb.

Pour mieux apprécier la variation du coefficient de porosité des échantillons nous avons élaboré la boîte à moustache (Box plot) présentée dans la figure 83.

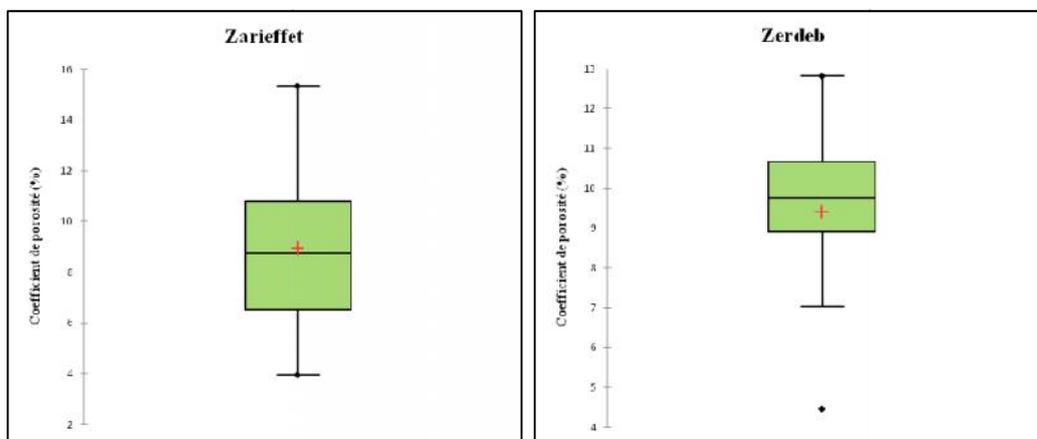


Figure 83: Variation des coefficients de porosité (C.P%) des deux forêts

Le coefficient de porosité moyen est estimé de 9,2% à 10,30% respectivement pour le liège de Zarieffet et Zerdeb, caractérise bien liège très poreux. En effet, ce coefficient est plus dispersé dans les échantillons de Zarieffet avec un écart interquartile plus élevé qu'à Zerdeb. Les échantillons à coefficient de porosité au dessous de la moyenne varient de 36% à 51% respectivement à Zarieffet et Zerdeb.

Le tableau 47 met en évidence une différence non significative du coefficient de porosité du liège des 2 subéraies. Donc, le liège de ces forêts qui se localisent dans la même zone géographique a la même porosité.

Tableau 47 : Analyse de la variance à un facteur de la variable coefficient de porosité (C.P %)

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	1,97	1	1,97	0,23	0,633	4,091
A l'intérieur des groupes	332,66	39	8,53			
Total	334,63	40				

5.2.5.1- Corrélation entre coefficient de porosité et nombre et surface des pores

La corrélation entre le coefficient de porosité, le nombre des pores, les surfaces moyenne et totale des pores est illustrées dans la figure 84.

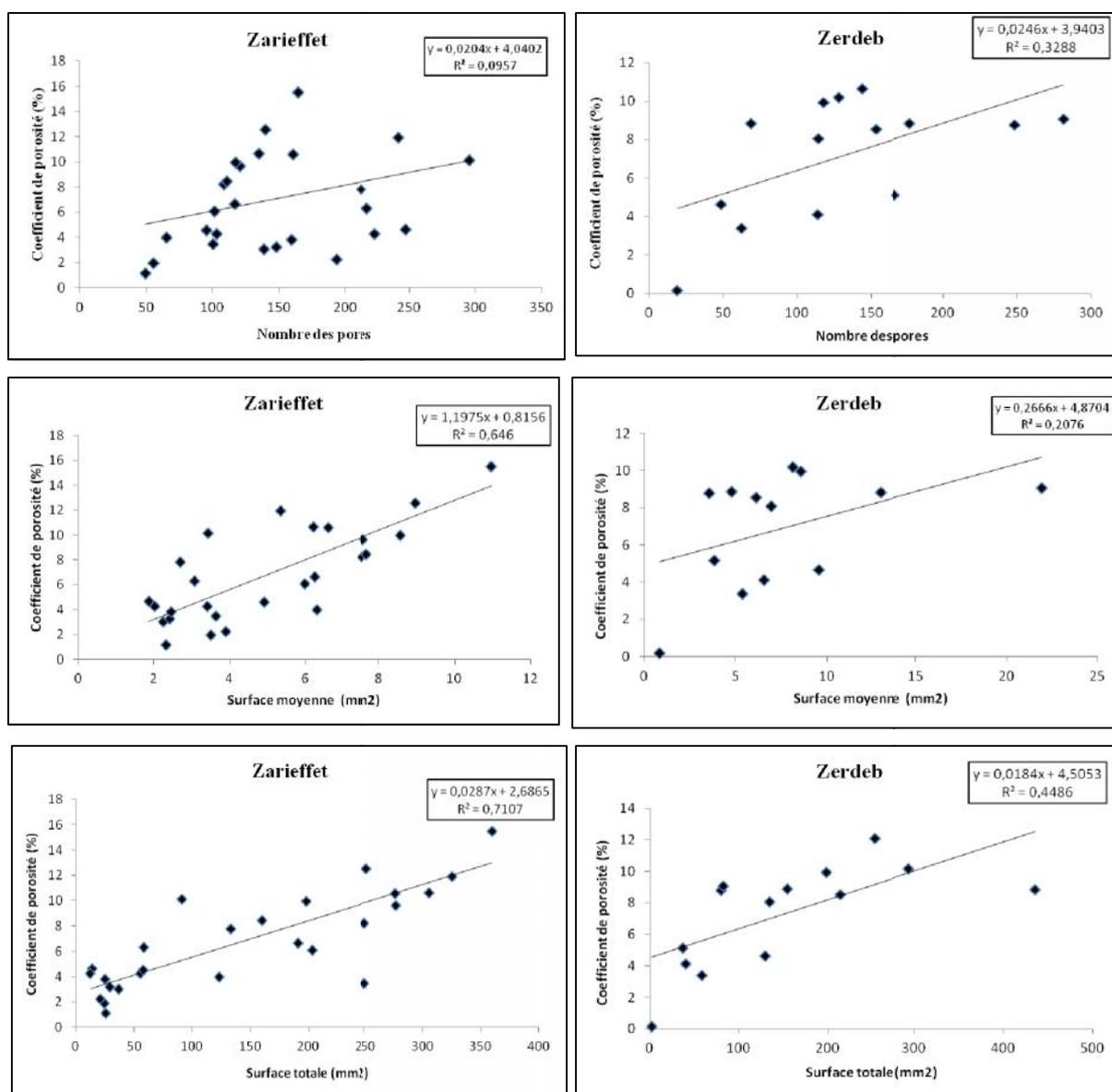


Figure 84 : Corrélation entre le coefficient de porosité et 3 paramètres de porosité (nombre des pores, surface moyenne et surface totale des pores) dans les 2 forêts

D'après la figure, nous constatons une relation linéaire positive entre le paramètre « surface des pores » et le coefficient de porosité. En effet, une forte corrélation existe entre la surface totale des pores et la porosité du liège des deux types forêts avec un coefficient de corrélation (r) variant entre 0,84 à Zariéffet et 0,66 à Zerdeb (tab.48). Tandis que, la surface moyenne du liège est fortement corrélée au coefficient de porosité du liège de Zariéffet ($r=0,80$) que celui de Zerdeb ($r=0,42$) (tab.48). En revanche, l'impact de nombre des pores est très faible sur la porosité du liège de Zariéffet avec un coefficient de corrélation faible ($r=0,31$), mais moyennement corrélé pour le liège de Zerdeb ($r=0,55$) (tab.48).

Ces résultats confirment que, la qualité du liège est plus influencée par la superficie des pores que par leur nombre. Une planche ayant un grand nombre de pores de petites surfaces est considéré de bonne qualité qu'une planche de petits pores à grande surface (Boudy, 1950 ; Pereira et al.,1996).

Tableau 48 : Valeur du coefficient de corrélation entre coefficient de porosité et 3 paramètres de porosité (nombre des pores, surface moyenne et surface totale des pores)

Forêts	Zariéffet	Zerdeb
Nombre des pores	0,31	0,55
La surface moyenne des pores (mm ²)	0,80	0,42
La surface totale des pores (mm ²)	0,84	0,66

5.2.5.2- Distribution des échantillons par classe de porosité

La répartition des échantillons du liège par classe de porosité est présentée dans la figure 85.

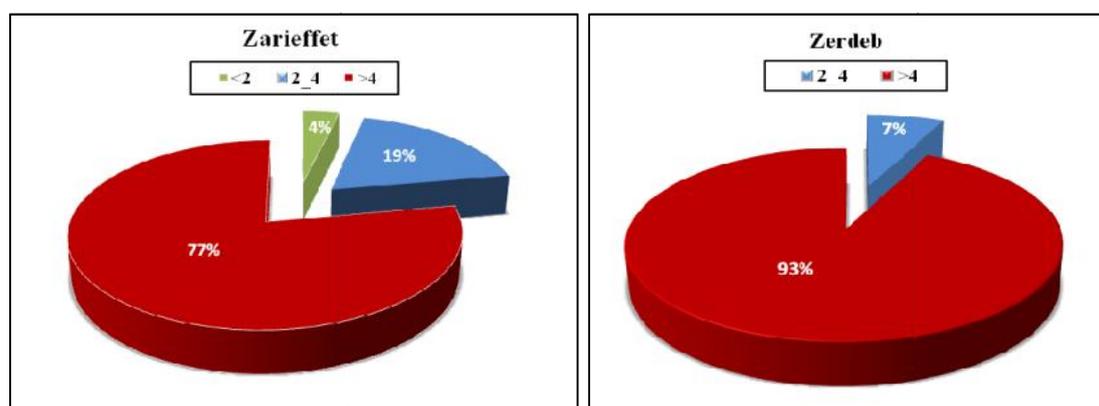


Figure 85: Distribution des échantillons selon le type de porosité

D'après cette figure, nous remarquons la présence de 3 classes de porosité dans le liège de Zariéffet. Le liège faiblement poreux de la première classe est rare dans les échantillons, il est présent avec une proportion de 4% seulement contre 11% du liège moyennement poreux (2-4%). Enfin, la porosité excessivement élevée de la 3^{ème} classe de porosité (C.P > 4%) est nettement dominant avec 85%.

A Zerdeb, nous notons avant tout l'absence des échantillons de la 1^{ère} classe du liège faiblement poreux. C'est la classe 2 de porosité moyenne qui apparaît mais avec un taux faible de l'ordre de 7%. Le reste des échantillons est considéré comme poreux (>4%) à fortement poreux (C.P > 4%).

Globalement, les lièges de Zerdeb et Zariéffet se classent parmi le liège poreux car la majorité des échantillons présentent un coefficient de porosité élevé (C.P> 4%). Dans cette dernière classe nous recensons de 48% à 57% du liège a porosité très élevé (C.P>6%) respectivement à Zariéffet et Zerdeb, ce qui explique la moyenne élevée dans les deux forêts.

5.2.6- Variables de la forme

Les pores apparaissent comme des canaux traversant les sections radiale et transversale, mais juste quelques pores traversent la totalité de l'épaisseur du liège. En effet, ces canaux lenticulaires se caractérisent par une large variation des caractéristiques de la forme. D'ailleurs, le nombre des pores dans ces deux sections est faible par rapport à la section tangentielle tandis que la surface moyenne des pores est plus large (Pereira, 2007). Les résultats des variations de forme par ses différents paramètres (facteur de forme, facteur géométrique et angle d'orientation) sont illustrées dans le tableau 49 et figure 86.

Tableau 49: Variable de forme des lenticelles dans la section transversale (Ecart-type)

Forêts	Zariéffet	Zerdeb
Facteur de forme	0,35 (0,27)	0,37 (0,19)
Facteur de géométrie	0,18 (0,09)	0,14 (0,04)
Orientation angulaire (degré °)	79,40 (22,24)	93,04 (17,97)
Longueur moyenne des pores (mm)	6,20 (2,65)	7,34 (1,47)
Largeur moyenne des pores (mm)	1,10 (0,47)	1,55 (0,31)
Sphéricité (roundness)	8,90 (3,60)	5,75 (2,03)

Le facteur de forme mesure l'irrégularité du contour des pores ; plus la valeur est proche de 1 et plus le pore à la forme d'un cercle. D'après les résultats de mesures obtenus, les lenticelles traversant la section transversale du liège sont de forme irrégulière, puisque les valeurs se rapprochent de 0 dans les deux types de liège, où ils atteignent 0,35 à Zariéffet et 0,37 à Zerdeb. La variation de la forme des pores est très prononcée à Zariéffet avec une valeur élevée du coefficient de variation de 77% contre seulement 51% à Zerdeb.

En ce qui concerne le facteur de géométrie, ceci confirme que les pores des lièges ont une forme linéaire et non circulaire dans les 2 forêts avec des valeurs proches de 0 allant de 0,18 à 0,14 respectivement à Zariéffet et Zerdeb.

L'orientation angulaire des pores de Zerdeb est verticale et les lenticelles sont perpendiculaires à la mie. En revanche, ces lenticelles sont inclinées avec un angle de 79° dans le liège de Zariéffet.

D'une façon générale, les pores sont de 5 à 6 fois plus longs que larges dans le liège de Zarieffet (longueur spécifique 6,2 mm, largeur spécifique 1,1mm) que dans celui de Zerdeb (longueur de 7,34mm, largeur 1,55 mm).

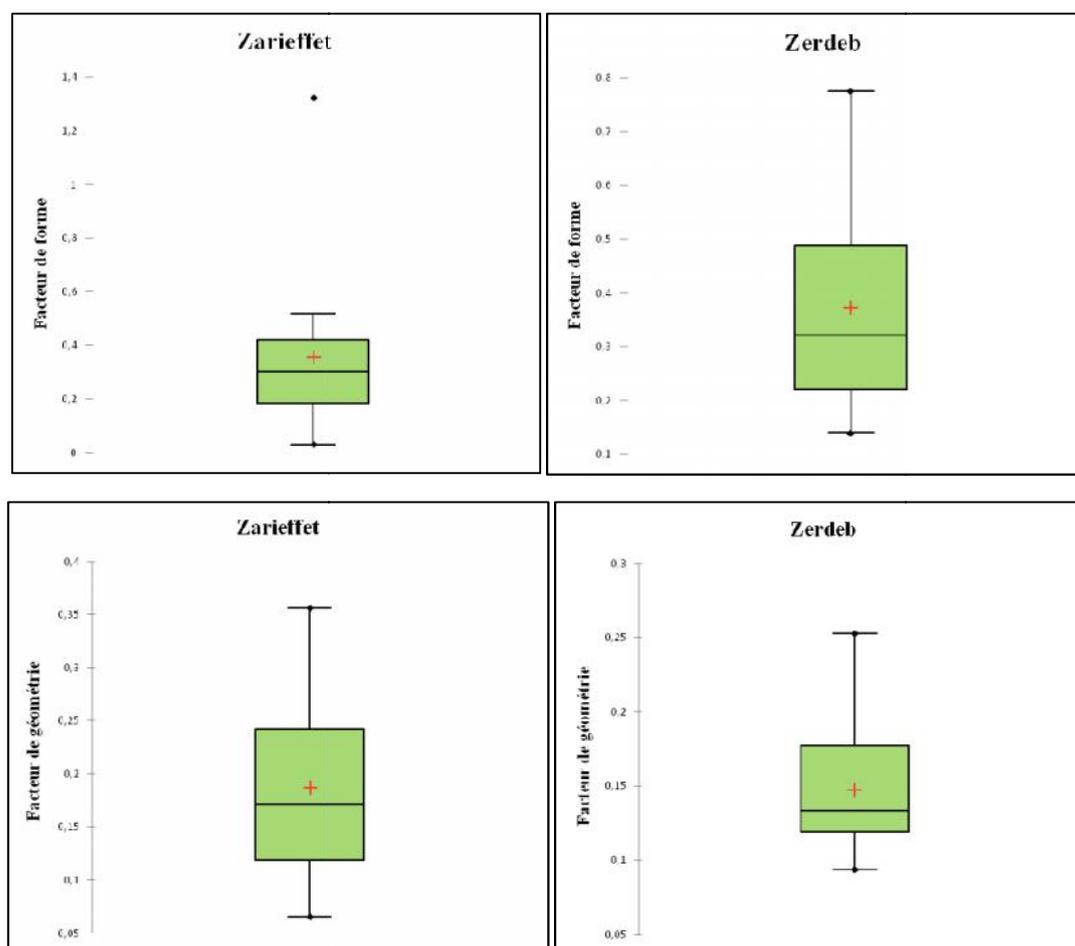


Figure 86: Variation des valeurs du facteur de forme et de géométrie

D'après la figure 86, nous constatons que la majorité des pores ont la même forme irrégulière à Zarieffet. Cela est confirmé par la faible étendue de l'écart interquartile. La valeur du facteur de forme des 75% des pores est égale ou inférieure à 0,4 (3^{ème} quartile). En revanche, les lenticelles traversant la masse du liège de Zerdeb sont tous d'une forme irrégulière dont le facteur de forme oscille entre 0,14 et 0,77. La forme de 50% des pores est dispersée, entre 0,2 et 0,5 avec un écart interquartile élevée.

En ce qui concerne le facteur de géométrie des pores, ceci occupe des valeurs très diversifiées dans le liège de Zarieffet qu'à Zerdeb, mais la majorité des pores sont d'une forme irrégulière. Ceci confirme les résultats du facteur de forme. En effet, cette irrégularité est très prononcée dans le liège de Zerdeb, avec des valeurs du facteur de géométrie proche de 0 entre 0,07 et 0,37. Tandis qu'à Zarieffet, les valeurs sont plus prononcées et elles atteignent 0,35.

5.2.7- Variation de la porosité par classe de surface des pores

L'étude de la répartition des pores par classe de surface joue un rôle primordial dans l'affectation des échantillons selon leur classe commerciale. Les résultats de la distribution des différentes caractéristiques du liège des deux subéraies selon les classes de surface sont consignés dans le tableau 50 et illustrés dans la figure 87.

Tableau 50: Distribution des pores des échantillons de liège des deux subéraies par classes de surfaces (< 1mm², 1-2mm², > 2mm²)

Variable		Zarieffet (Za)	Zerdeb (Ze)
Nombre de pores (% total)	<1 mm ²	31	10
	1-2 mm ²	27	25
	>2 mm ²	42	65
Surface moyenne (mm ²)	<1 mm ²	0,75	0,89
	1-2 mm ²	1,44	1,4
	>2 mm ²	9,54	10,32
Coefficient de porosité (%)	<1 mm ²	0,16	0,3
	1-2 mm ²	0,30	0,5
	>2 mm ²	3,02	3,24

La lecture attentive de ce tableau, montre des similitudes dans la distribution des pores par classe de superficie entre les deux sites de même zone naturelle.

En effet, les pores au dessus de 2 mm² ont la contribution la plus importante dans le liège de Zerdeb (65%) avec une surface moyenne de 10,32 mm² contre 42% à Zarieffet avec une surface moyenne de 9,54 mm². Tandis que, les pores moins de 1 mm² présentent 31% des pores du liège de Zarieffet avec une très petite dimension moyenne de 0,75 mm² et seulement 10% à Zerdeb avec une surface moyenne de 0,89 mm². En ce qui concerne, les pores de 1-2 mm² de surface, ils se présentent dans des proportions de 25% à 27% dans le liège de Zerdeb et Zarieffet respectivement.

Cependant, la surface élevée des pores (>2 mm²) augmente de manière significative le coefficient de porosité des échantillons du liège où il atteint 3,02 (Zarieffet) voire 3,24 (Zerdeb). Il est par contre de très faibles valeurs pour les petits pores <1 mm² avec des valeurs de 0,16 à Zarieffet et 0,3 à Zerdeb.

La distribution des pores par classe de superficies (mm²) nous renseigne sur l'envergure des perforations que traversent radialement la couche du liège et par conséquent le poids de chaque classe sur l'atténuation ou l'augmentation de la porosité (C.P%) figure 87.

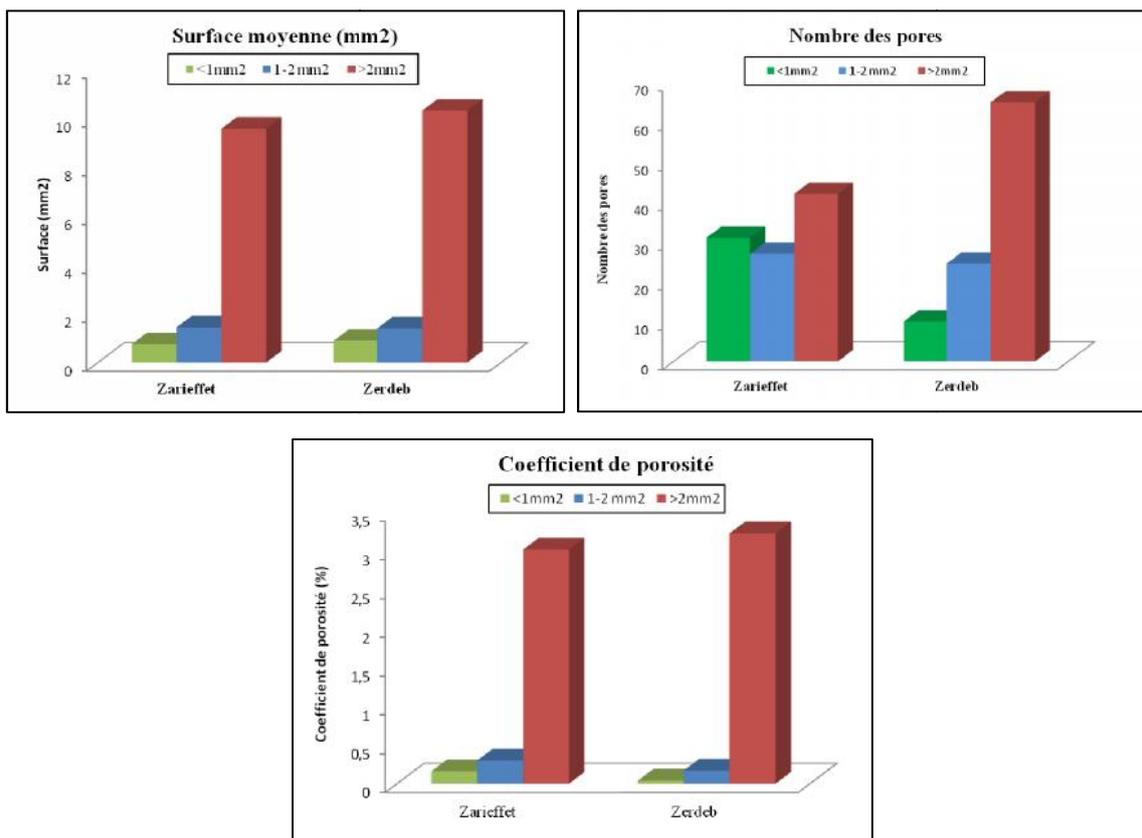


Figure 87: Distribution des pores des échantillons par classes de surface (c1<1mm², c2 :1-2 mm², c3 :>2 mm²)

D'après la figure 88, nous constatons que la surface moyenne des pores augmente avec l'augmentation de la surface des pores dans les deux types de liège, ce qui confirme que la surface des pores contribue fortement dans la qualité que le nombre des pores. Une planche à un grand nombre de pores à surface élevée est de bonne qualité par rapport à une planche à petit nombre de pores et de grande surface (Natividade, 1956 ; Pereira, 2007).

5.3- Classification automatique (Cork class 1.0)

La classification automatique par le logiciel Cork class 1.0 utilise les valeurs du coefficient de porosité et les principaux défauts recensés. Les résultats de cette classification sont présentés dans la figure 88 pour les échantillons du liège de Zariéffet et Zerdeb.

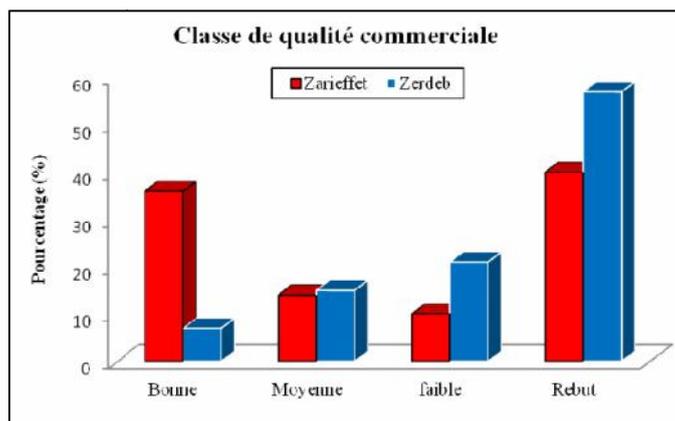


Figure 88: Distribution des échantillons du liège de Zarieffet et Zerdeb dans les classes de qualité

La qualité du liège à une grande variabilité entre les arbres d’une même suberaie comme le montre la répartition des échantillons par classe de qualité commerciale. En effet, la variabilité est très élevée à Zarieffet (56%) qu’à Zerdeb (40%).

D’après la figure, nous remarquons la dominance du liège de bonne qualité à Zarieffet qui renferme les trois premières classes de qualité (1^{er} -3^{ème}) avec un taux de 36% contre 10% seulement à Zerdeb. Tandis que, le liège de qualité moyenne est également présent dans les deux subéraies avec un taux de 14% à Zarieffet et 15% à Zerdeb. Le liège de faible qualité est faiblement présent avec 8% des échantillons de Zerdeb contre 10% de Zarieffet. Le rebut est fortement présent dans les deux subéraies mais surtout à Zerdeb (67%) contre 40% à Zarieffet.

5.3.1- Comparaison entre classification automatique et visuelle de la qualité du liège

La détermination des classes de qualité du liège a été réalisée comme nous avons déjà signalé par deux méthodes; l’appréciation visuelle des planches à l’aide des planches de référence IPROCOR, et la classification automatique du liège à l’aide du logiciel Cork Class1.0. Les résultats de cette détermination nous ont permis d’attribuer à chaque échantillon sa classe commerciale après le traitement de plusieurs paramètres. Les résultats ainsi obtenus sont consignés dans la figure 89.

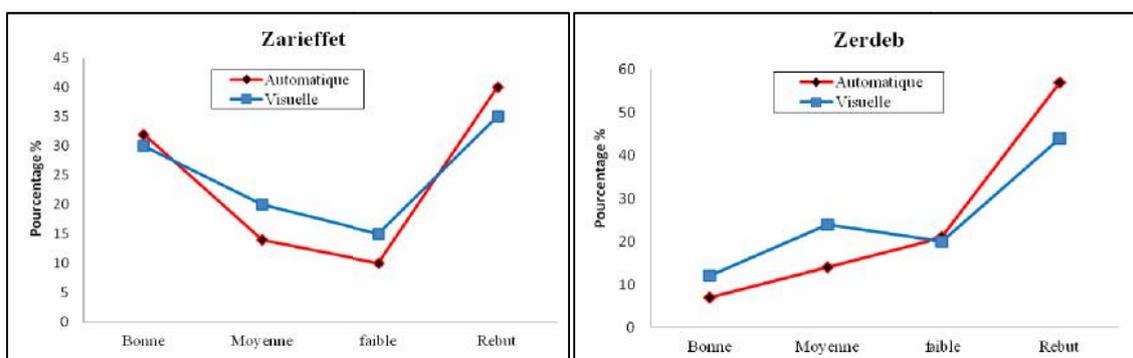


Figure 89 : Comparaison entre classification automatique et visuelle des qualités des échantillons du liège de deux forêts

D'après cette figure, nous remarquons que les 2 méthodes automatique et visuelle marquent une grande différence dans la classification des lièges de moyenne et faible qualité de Zarieffet. Par contre, pour la 1^{ère} classe de bonne qualité, les 2 méthodes proposent pour les mêmes échantillons.

Dans les échantillons du liège de Zerdeb, les 2 méthodes donnent les mêmes résultats pour le liège de faible qualité. Par contre, nous enregistrons pour les échantillons du liège de bonne et moyenne qualité des différences entre les méthodes.

En effet, la classification automatique propose une qualité plus élevée que la classification visuelle à Zarieffet. Les mêmes remarques sont enregistrées pour le liège rebut où la classification automatique est relativement plus forte.

Nous pouvons dire à travers ces résultats que la classification visuelle est plus subjective, ce qui montre tout l'intérêt et la nécessité de passer à la classification plus technologique ou automatique.

5.3.2- Distribution du coefficient de porosité et superficie moyenne des pores par classes commerciale

Les coefficients de porosités moyennes obtenus pour chaque classe de qualité sont ordonnés dans le tableau 51 et la figure 90.

Tableau 51: Distribution des valeurs du coefficient de porosité par classe de qualité commerciale (%)

	Zarieffet		Zerdeb	
	Coefficient de Porosité (%)	Surface moyenne des pores	Coefficient de Porosité (%)	Surface moyenne des pores
Bonne	3,87%	3,37 mm ²	4,45%	4,52 mm ²
Moyenne	5,79%	3,92 mm ²	5,92%	6,68 mm ²
Faible	6,50%	4,00 mm ²	6,98%	6,97 mm ²
Rebut	10,50%	7,62 mm ²	10,39%	9,43 mm ²

Nous constatons à travers ce tableau que les valeurs du coefficient de porosité et la surface moyenne des pores varient d'une façon progressive du liège de bonne qualité jusqu'au liège de 6^{ème} classe et rebut. En effet, les valeurs de ce coefficient oscillent entre 3,87% à 10,5% à Zarieffet, et du 4,45% à 10,39% à Zerdeb. Cependant, la faible superficie des pores est enregistrée dans le liège de bonne qualité des deux subéraies, avec une moyenne de 3,37 mm² à 4,35 mm² respectivement à Zarieffet et Zerdeb. La plus large superficie est enregistrée dans la catégorie rebut avec des valeurs plus élevées pouvant atteindre 9,43mm².

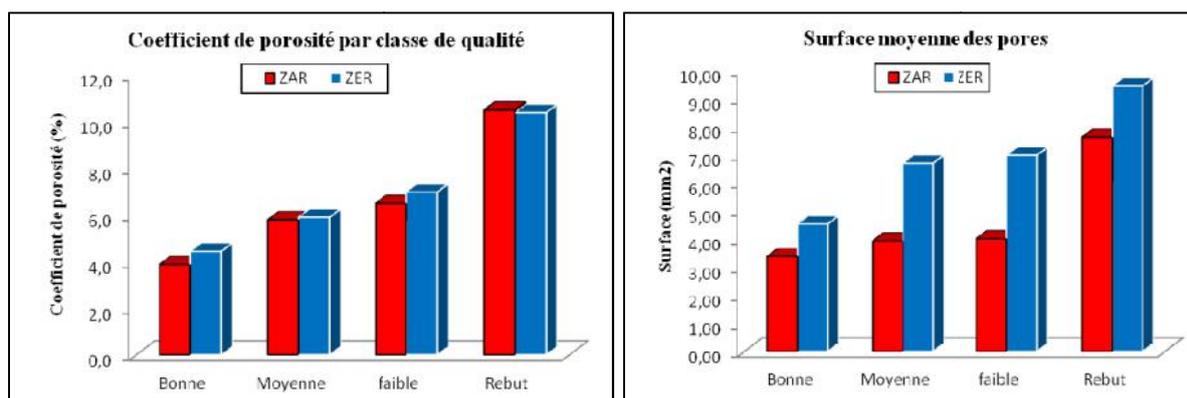


Figure 90: Distribution des coefficients de porosité et surface moyenne des pores par classe de qualité

La comparaison entre le liège de Zarieffet et celui de Zerdeb, montre que les valeurs du coefficient de porosité et surface moyenne des pores sont plus élevées à Zerdeb dans les différentes classes de qualité. Nous constatons aussi que les deux paramètres augmentent graduellement avec le déclin de la qualité.

5.4- Comparaison entre le liège de Zarieffet (Algérie) et Benavente (Portugais)

5.4.1- Caractérisation de la porosité des échantillons de Zarieffet et Benavente

Le profil de porosité des sections transversales des planches liège de Zarieffet et de Benavente a montré des similitudes dans les 13 variables de porosité étudiés. La variabilité intrinsèque de la porosité est plus élevée dans les échantillons de liège Zarieffet que dans les échantillons de liège de Portugal (tab.51). Cela pourrait résulter de la différence dans la zone observée par l'analyse d'image, qui est plus élevée pour les échantillons de liège de Zarieffet .

En ce qui concerne les caractéristiques de dimension, la surface moyenne des pores (Mpa) varie entre 4,5 mm² à Zarieffet et 5,3 mm² à Benavente. Les valeurs moyennes pour la surface maximale des pores (Maxpa) varient entre 29,2 mm² à Zarieffet et 47,6 mm² à Benavente. À la dernière région, le Maxpa est presque le double ce qui confirme la surface moyenne relativement plus élevée dans le liège de Benavente. En ce qui concerne les caractéristiques de forme telles que le rapport d'aspect, la dimension fractale et la rondeur ont montré des valeurs compatibles dans les deux régions (tab.52).

La dimension fractale moyenne est de 1,1 en moyenne dans les deux régions. Les valeurs moyennes de la rondeur et du rapport d'aspect à Zarieffet sont de 8,9 et 6,2 respectivement. Ils sont plus élevés que ceux trouvés à Benavente de l'ordre de 4,6 et 4,7 respectivement. Ces différences sont confirmées par le fait qu'à Zarieffet, les canaux lenticulaires sont plus longs (longueur moyenne de 6,2 mm) et relativement plus minces (1,1 mm de largeur moyenne) qu'à Benavente (4,9 et 1,5 mm, respectivement pour la longueur et la largeur).

Tableau 52 : Caractérisation de la porosité des échantillons de liège des subéraies de Zariéffet (ZA) et Benavente (CL). Les chiffres entre parenthèse indiquent l'écart-type.

Variables	Zariéffet (ZA)					Benavente (CL)				
	AOI	Outer cork	Middle cork	Inner cork	Yearly	AOI	Outer cork	Middle cork	Inner cork	Yearly
Dimension										
Mpa	4.5 ± 4.02	3.2 ± 2.55	5.9 ± 7.30	5.6 ± 5.62	3.5 ± 5.17	5.3 ± 3.17	3.7 ± 2.67	17.7 ± 26.12	4.0 ± 1.64	3.1 ± 3.17
Maxpa	29.2 ± 7.70	9.6 ± 0.24	19.9 ± 30.39	20.4 ± 4.16	8.8 ± 16.08	47.6 ± 45.52	16.8 ± 12.57	39.7 ± 48.57	17.2 ± 9.40	11.4 ± 15.94
Mpe	14.6 ± 6.01	10.7 ± 3.39	19.0 ± 14.91	16.7 ± 8.35	11.1 ± 6.46	14.2 ± 4.42	11.1 ± 4.35	32.8 ± 35.47	12.6 ± 3.37	9.2 ± 4.62
Mdi	2.2 ± 0.74	1.8 ± 0.54	2.5 ± 1.43	2.3 ± 1.08	1.9 ± 0.90	2.1 ± 0.36	2.0 ± 0.57	3.3 ± 1.69	2.0 ± 0.46	1.7 ± 0.53
Mle	6.2 ± 2.65	4.5 ± 1.44	8.5 ± 6.75	7.3 ± 3.56	4.4 ± 2.04	4.9 ± 1.01	4.1 ± 1.41	9.9 ± 7.90	4.4 ± 1.45	3.1 ± 1.64
Mwi	1.1 ± 0.47	1.1 ± 0.44	1.0 ± 0.58	0.9 ± 0.56	1.0 ± 0.80	1.5 ± 0.38	1.4 ± 0.47	2.4 ± 1.75	1.5 ± 0.40	1.2 ± 0.21
Shape										
Msp	37.5 ± 9.05	22.0 ± 4.30	33.4 ± 26.08	34.0 ± 5.89	22.9 ± 0.02	21.5 ± 7.76	18.9 ± 3.68	40.9 ± 5.54	16.8 ± 6.49	15.3 ± 12.75
Mas	6.2 ± 2.24	4.7 ± 1.27	7.8 ± 3.37	6.9 ± 4.11	5.8 ± 2.68	4.7 ± 1.15	4.2 ± 1.71	7.4 ± 4.09	4.5 ± 1.22	3.4 ± 1.25
Mfr	1.1 ± 0.02	1.1 ± 0.02	1.1 ± 0.03	1.0 ± 0.36	1.1 ± 0.02	1.1 ± 0.02	1.1 ± 0.02	1.1 ± 0.04	1.1 ± 0.03	1.1 ± 0.02
Mro	8.9 ± 3.60	6.6 ± 2.25	12.5 ± 6.53	9.9 ± 5.62	7.8 ± 4.92	4.6 ± 1.63	4.6 ± 2.27	6.3 ± 2.74	4.1 ± 1.74	3.0 ± 1.27
Concentration										
np	280 ± 116	468 ± 299	165 ± 87	188 ± 135	334 ± 188	250 ± 79	330 ± 149	140 ± 61	230 ± 100	420 ± 143
Menn	3.2 ± 0.78	2.6 ± 0.66	4.3 ± 1.12	3.5 ± 1.69	3.1 ± 0.97	3.3 ± 0.47	2.9 ± 0.58	4.6 ± 1.21	3.7 ± 1.17	2.5 ± 0.42
af	9.2 ± 4.48	11.4 ± 5.84	7.7 ± 8.96	9.2 ± 7.26	7.6 ± 7.45	13.2 ± 8.23	13.9 ± 14.04	16.6 ± 19.69	9.3 ± 5.23	12.7 ± 11.65

En ce qui concerne les caractéristiques de concentration, le liège de Zariéffet présente un coefficient de porosité de 9,2% contre 13,2% à Benavente. En moyenne, les échantillons de liège de cette zone ont montré une plus grande porosité, le M_{pa} est plus élevé et le Max_{pa} est supérieur ce qui influence directement sur le coefficient de porosité. Ceci s'explique par le nombre de pores plus petits (250 pores par 100 cm^2) contre 280 pores par 100 cm^2 à Zariéffet. La répartition de la porosité du liège par classe de surface des pores a montré des similitudes entre les deux régions. Cependant, à Benavente, un plus grand nombre de pores avec une surface inférieure à 2 mm^2 (229 pores) est noté par rapport à Zariéffet (151 pores) mais leur surface est supérieure (288 mm^2). Cette différence a augmenté de manière significative le coefficient de porosité des échantillons de liège à Benavente (tab.51). De plus, dans cette région, des pores de très grande dimension ($>30\text{ mm}^2$) ont été remarqués, ce qui augmente la variation de la zone des pores. Ces résultats sont en accord avec les valeurs trouvées dans le liège des deux régions dans des études antérieures (Pereira et al., 1996 ; Gonzalez-Adrados et al., 2001 ; Dehane et al., 2011)

5.4.2- Variation de la porosité interne et externe

La porosité des échantillons de liège montre un nombre total de pores de 205 à Zariéffet contre 494 à Benavente. La figure 88 schématise la variation des pores à partir de la croûte à la mie (ventre) dont, la zone correspondante est représentée par un cercle proportionnel.

La répartition spatiale des pores dans la coupe transversale des échantillons de liège dans un diagramme de dispersion XY a montré que la porosité à Zariéffet varie entre les valeurs y de 0 et 50 mm, tandis qu'à Benavente, elle varie entre les valeurs y de 0 et 25 mm (fig.88). Les plus grands pores sont situés dans les couches de liège moyen dans la section transversale. Mais c'est dans les couches annuelles intérieures de liège qui est située la plus petite porosité dans le liège des deux régions. La surface (p_a), la longueur (l_e) et la dimension fractale (fr) des canaux lenticulaires à Benavente ont montré une tendance régressive de l'extérieur vers l'intérieur du liège (croûte vers le ventre). Cependant, à Zariéffet, aucune de ces variables de pores ne permet une tendance uniforme, car il existe des pores de liège relativement plus grands dans les couches intérieures de liège (fig.91).

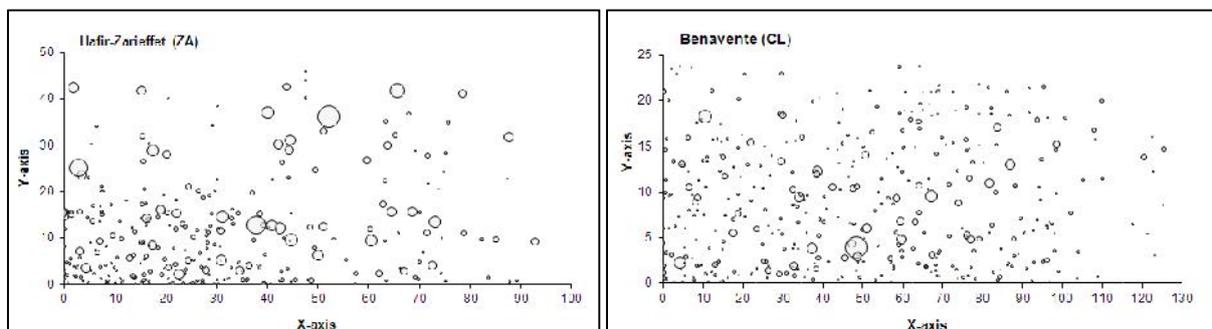


Figure 91 : Représentation des centroïdes des pores dans un diagramme de dispersion XY pour tous les échantillons de liège à Zariéffet (ZA) et Benavente (CL).

Le diamètre du cercle est proportionnel à la surface des pores située du dos du liège (valeur Y minimale) au ventre du liège (valeur Y maximum).

5.4.3. La qualité du liège

L'utilisation de l'analyse factorielle discriminante (SDA) permet de distinguer la porosité des deux régions (Lambda de Wilks significative à $p < 0,001$). En effet, les deux fonctions SDA (F1 et F2) expliquent environ 98% de la variation de porosité de la section transversale des planches de liège, dont 77,5% est expliquée par F1 et 20,7% par F2. Les corrélations les plus fortes entre la première fonction (SDA) et les variables indépendantes ont été trouvées pour la longueur des pores (0,698) et la rondeur des pores (0,694). Entre la deuxième fonction qui a expliqué moins de variabilité et les variables indépendantes, la corrélation plus élevée a été trouvée avec le périmètre des pores (0,727) (tab.53).

Tableau 53 : Les valeurs propres, les coefficients de corrélation canonique et la variance expliquée par les deux premiers Fonctions discriminantes (F1 et F2)

Variables	F1	F2
Longueur	0,698	0,497
Perimètre	0,444	0,727
Rondeur	0,694	0,677
Valeur propre	0,212	0,057
Variance (%)	77,5	20,7
corrélation canonique	0,618	0,331

En effet, à Zariéffet, l'épaisseur du liège est plutôt grande par rapport à Benavente. Il existe également des discontinuités tissulaires de liège, telles que des fissures ou de la porosité lourde, qui étaient présentes dans la section transversale. Cette porosité anormale conduit à une variabilité croissante des caractéristiques de porosité, entre les couches de liège par rapport aux échantillons de liège à Benavente. La couche de liège qui a été décisive pour discriminer entre les régions d'étude est la couche moyenne de liège.

5.3-Caractérisation générale du liège-échantillon

5.3.1- Distribution des échantillons selon les classes d'épaisseurs du liège (sur croûte)

La distribution des épaisseurs des échantillons du liège de reproduction des 4 subérais étudiées est illustrée dans la figure 92.

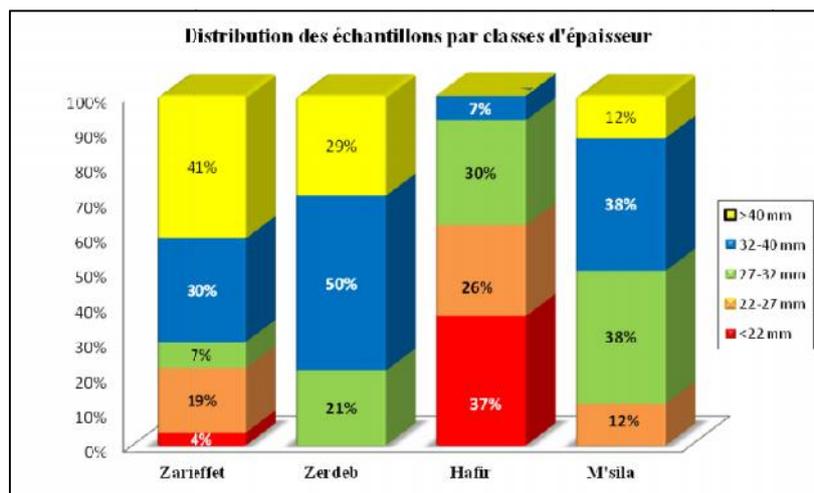


Figure 92: Distribution des échantillons du liège selon les classes commerciales d'épaisseur du liège de 4 forêts

L'analyse comparée de la répartition des échantillons du liège selon leurs classes d'épaisseurs, nous a permis de constater que le liège récolté dans chaque campagne de toutes les subéraies se répartie d'une manière irrégulière entre les classes d'épaisseur. En effet, à Hafir, le liège bouchonnable (>27 mm) représente un taux assez faible de 37%, contre les autres types de liège en l'occurrence le liège flotte (<22 mm) avec 37%, suivi par le liège mince avec 26%. Ce dernier est destiné à la fabrication des bouchons de 21mm de diamètre de moindre importance. Ces 2 dernières catégories constituent une part importante du liège impropre au bouchon de diamètre usuel (24mm) de l'ordre de 63%.

Le liège de Zariéffet se distingue entre 3 principales classes d'épaisseurs. La majorité des échantillons (78%) sont en dessus de l'épaisseur admise pour l'industrie des bouchons (<27mm). Mais la catégorie la plus économiquement rentable (moins de déchets), représente un taux de 30% seulement (liège régulier : 32-40mm). Le reste des échantillons (22%) appartient surtout à la classe du liège mince et avec un degré moindre au liège flotte (4%) destiné pour les rondelles.

En ce qui concerne le liège de Zerdeb, la totalité des échantillons est apte à la fabrication des bouchons. Ils se distribuent entre 3 classes d'épaisseur, dont la moitié constitue le liège régulier et le reste des échantillons est réparti irrégulièrement entre le liège juste mais surtout le liège épais. Cette catégorie de liège (29%) est importante car elle peut déprécier la valeur marchande de tout le lot du liège. Ce liège engendre souvent beaucoup de déchets lors de la fabrication des bouchons d'une part et perd d'autre part d'élasticité des bouchons, aspect mécanique exigé.

Le liège de M'Sila se distingue irrégulièrement entre les 4 classes d'épaisseurs. Mais nous remarquons, la dominance du liège destinée à la fabrication des bouchons usuels avec un taux de 88%. Une grande part de cette catégorie (soit 76%) est bien représentée par des lièges juste et régulier. Le reste des échantillons est réparti équitablement entre les lièges épais et mince (12%).

D'une façon générale, le liège bouchonnable (juste-régulier) est fortement présent à Zerdeb et M'Sila (75% en moyenne), par contre dans les 2 autres forêts, il constitue à peine le tiers (37%). Le liège ayant largement dépassé l'épaisseur marchande (liège épais : >40mm), est fortement enregistré à Zariéffet (41%) et avec un degré moindre dans les autres forêts où il est absent à Hafir. Le liège flotte (jeune) s'observe parmi les échantillons à Hafir et beaucoup moins à Zariéffet.

Sur le plan statistique, les paramètres testés sur les mesures des épaisseurs sont représentés dans le tableau 54.

Tableau 54: Paramètres statistiques des épaisseurs calculées pour les échantillons de liège prélevés des 4 suberaies d'étude.

Total	Zariéffet	Zerdeb	Hafir	M'Sila
Nombre des échantillons	27	14	30	26
Moyenne épaisseur (mm)	42,09	38,5	25,52	33,67
Valeurs extrêmes (mm)	63,04	53,13	34,40	44,64
	22,41	28,54	19,13	23,83
Ecart-type	12,10	7,02	4,45	5,73
C.V (%)	28%	18%	17%	17%

A travers ce tableau, nous remarquons que l'épaisseur moyenne la plus élevée est notée dans les échantillons de Zariéffet avec 42,09mm. Cette épaisseur classe le lot dans la catégorie de liège « épais » avec une variabilité remarquable de 28% (22-63mm) contre 38,5 mm de liège « régulier » à Zerdeb avec une faible variabilité entre les échantillons (18%). Le liège de Hafir est considéré en moyenne comme un liège « mince » (25,52 mm) avec une variabilité moins prononcée entre les échantillons (17%). A M'Sila, l'épaisseur moyenne de 33,67mm classe le liège dans la catégorie de « régulier » au même titre que le liège de Zerdeb. Les valeurs extrêmes des épaisseurs varient entre 19,13mm à Hafir et 63,04 mm à Zariéffet.

La comparaison des 4 moyennes des épaisseurs des 4 suberaies réalisée à l'aide de l'ANOVA, a montré un haut niveau de significativité ($\alpha=5\%$) (tab.55). Ceci met en évidence l'effet considérable de la « plaque du liège » des 4 suberaies ce qui impose le choix orienté des échantillons du liège surtout lorsqu'ils sont destinés à l'extraction des bouchons de 24mm de diamètre. D'autre part, la variabilité des épaisseurs entre les forêts montre bien le manque de plan de gestion subéricole. Le liège est cependant récolté soit prématurément (non encore atteint l'épaisseur commerciale) à Hafir, soit tardivement (ayant dépassé la rotation admise) à Zariéffet et Zerdeb.

Tableau 55 : Analyse de variance à un facteur de la variable d'épaisseur dans chaque subéraie

	<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Zarieffet	Entre Groupes	20256,97	1	20256,97	282,81	4,01
Zerdeb	Entre Groupes	8300,90	1	8300,90	304,79	4,23
Hafir	Entre Groupes	8248,54	1	8248,54	793,45	4,01
M'sila	Entre Groupes	12248,30	1	12248,30	726,86	4,03

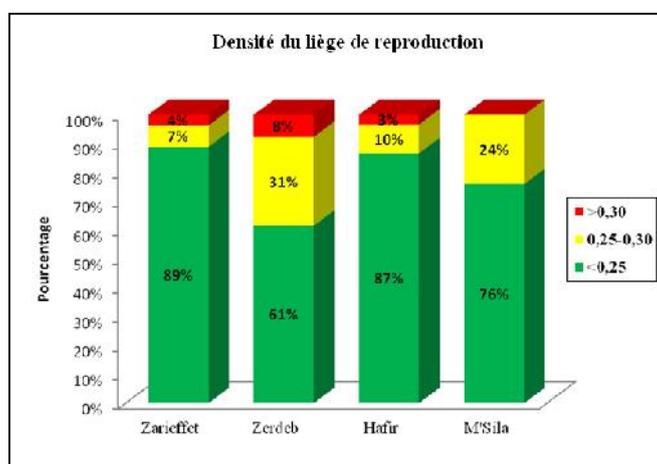
Par ailleurs, l'ANOVA ainsi utilisée pour tester l'effet de la forêt sur la variation de l'épaisseur du liège, a révélé un très haut niveau de significativité (5%) entre les suberaies (tab.56). C'est ainsi que les épaisseurs du liège de Zarieffet et Zerdeb sont significativement élevées que celles de Hafir et M'Sila (tab.48). Ceci s'explique par l'âge très avancé des échantillons du liège des 2 premières forêts qui atteint 35 ans à Zerdeb voire 47 ans à Zarieffet. Par contre, dans les 2 autres forêts, l'âge ne dépasse guère les 10ans.

Tableau 56 : Analyse de variance à un facteur de l'épaisseur du liège

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	4130,01719	3	1376,6724	22,2026564	0,00000027	2,70359408
A l'intérieur des groupes	5704,44626	92	62,0048507			
Total	9834,46345	95				

5.3.2- La densité

La densité est l'une des caractéristiques physique du liège les plus importantes au point de vue sa valeur commerciale et son utilisation industrielle. L'excès de densité favorise la dépréciation du liège. En effet, la répartition des échantillons du liège des 4 suberaies par classe de densité est présentée dans la figure 93.

**Figure 93: La densité du liège de reproduction des 4 suberaies**

Les résultats présentés dans cette figure, montrent que le liège de faible densité ($<0,25 \text{ g/cm}^3$) est dominant dans les 4 types de liège surtout à Zarieffet et Hafir où il atteint respectivement 89% voire 87%. Il est ainsi fortement présent à M'sila avec 76% et à Zerdeb 61%.

Le liège moyennement dense ($0,25- 0,30 \text{ g/cm}^3$) est fortement présent à Zerdeb avec 31% et M'Sila 24%, alors qu'à Zarieffet et Hafir, il est faiblement présent avec 7% voire 10% respectivement. En ce qui concerne le liège dense ($> 0,3 \text{ g/cm}^3$), il est faiblement présent dans le liège de montagne où il varie entre 3% à Hafir et 8% à Zerdeb. Tandis que dans le liège de littoral (M'Sila), ce type est absent dans le lot.

Globalement, le liège des 4 forêts est de faible densité ; il varie de $0,209 \text{ g/cm}^3$ à Zarieffet jusqu'au $0,242 \text{ g/cm}^3$ à Zerdeb du liège. Alors qu'à Hafir la densité moyenne est de $0,22 \text{ g/cm}^3$ au même titre qu'à M'Sila ($0,23 \text{ g/cm}^3$). Globalement, la densité est relativement homogène entre les échantillons de chaque suberaie. Ceci s'explique par le coefficient de variation de faibles valeurs de l'ordre de 21% à Zarieffet, 24% à Zerdeb, 13% à Hafir et 13% à M'Sila

5.3.3- La productivité

La productivité de l'arbre est définie comme étant le poids de liège produit par unité de surface génératrice de liège (kg/m^2) (Ferreira et al., 2000 ; Aloui et al., 2006 ; Pereira, 2007). Les résultats présentés dans le tableau 57, montrent que la productivité des arbres à Zerdeb et Zarieffet présente une remarquable variabilité (C.V=31% voire 28%) que celle de M'Sila (C.V=13%) et Hafir (C.V=19%).

Tableau 57 : Paramètres statistiques de productivité calculés pour les échantillons de liège prélevés des deux suberaies

Productivité	Zarieffet	Zerdeb	Hafir	M'Sila
Nombre des échantillons	27	14	30	25
Moyenne productivité (Kg/m^2)	8,64	9,14	5,63	7,70
valeurs extrêmes (Kg/m^2)	4,79	7,09	4,30	5,38
	13,36	17,67	9,74	11,79
Ecart-type	2,26	2,87	1,06	1,38
C.V (%)	26%	31%	19%	18%

Ce tableau montre que, la productivité moyenne des surfaces génératrices du liège est plus élevée à Zerdeb ($9,14 \text{ kg/m}^2$) et Zarieffet ($8,64 \text{ kg/m}^2$), alors qu'à M'Sila et Hafir elle est très faible de l'ordre de $7,70 \text{ kg/m}^2$ voire $5,63 \text{ kg/m}^2$ respectivement. Ces valeurs moyennes oscillent entre des valeurs extrêmes de $4,30 \text{ kg/m}^2$ à Hafir et $17,66 \text{ kg/m}^2$ à Zerdeb.

La variabilité de la productivité est très prononcée à Zerdeb (31%) contre les autres forêts, d'où nous notons une faible variabilité.

5.4- Etude de la croissance du liège

La production du liège s'étend généralement sur une période d'environ 6 mois allant du fin mars- avril au mois d'octobre-début novembre (Natividade, 1956 ; Caritat et al, 2000 ; Costa et al., 2002), mais elle est étroitement liée à l'activité de l'assise subero-phellodermique.

En effet, l'accroissement annuel ligneux ou non ligneux est la quantité de cette matière élaborée par unité de temps (Rondeux, 1999). Il est la résultante de l'interaction de plusieurs paramètres intrinsèques liés aux activités physiologiques des arbres et extrinsèques liés au milieu dont essentiellement l'âge des arbres, le nombre de récoltes du liège, l'intensité de la canicule, l'attaque des insectes, l'incendie, etc. (Zhang et Romane, 1991; Caritat et al., 1996 ; Messaoudene et Djema, 2003 ; Pereira, 2007).

5.4.1- Distribution des échantillons selon l'âge du liège

La classification des plaques du liège par classe d'âge est une étape préliminaire dans l'étude ultérieure de leurs différents paramètres et propriétés. En effet, la répartition des différents échantillons du liège que nous avons étudiés est présentée par classe d'âge dans la figure 94 selon leur provenance.

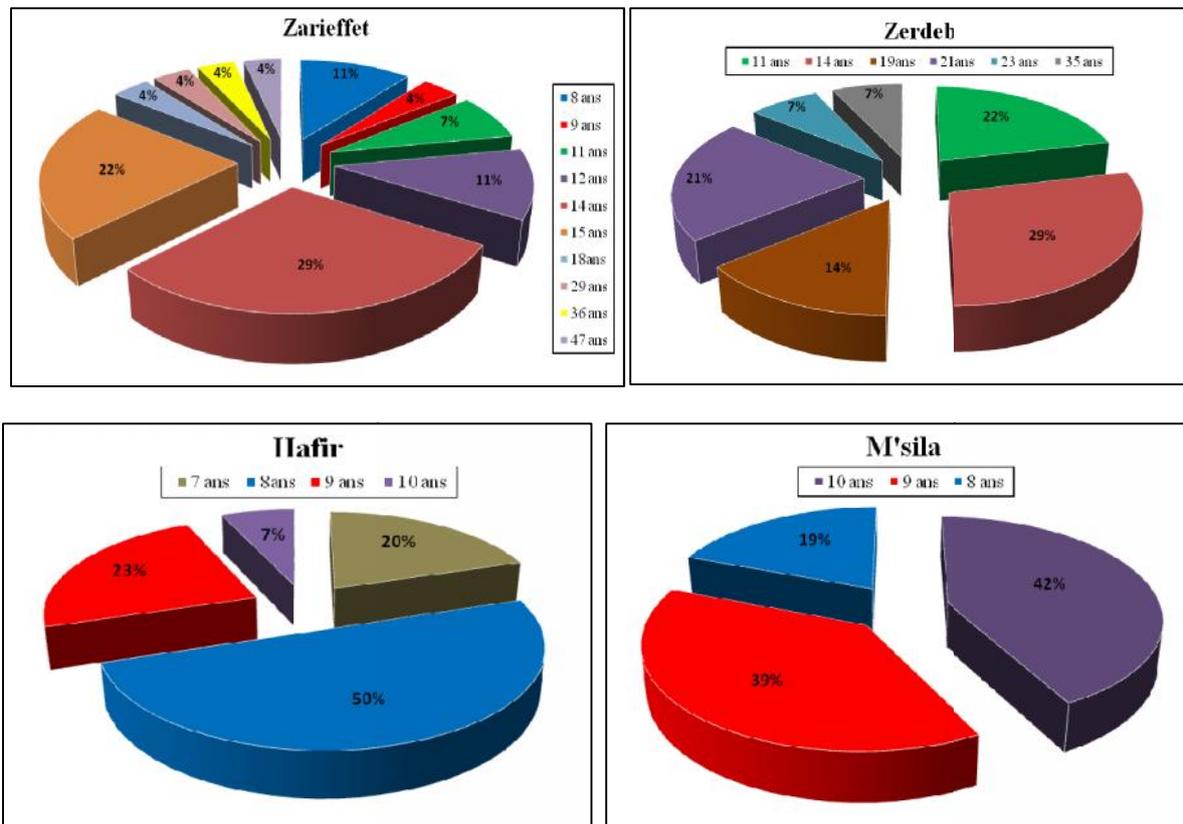


Figure 94 : Distribution des échantillons de liège des 4 suberaies selon leur classe d'âge

Selon cette figure, nous constatons que le liège exploité dans chaque suberaie est très hétérogène du point de vue âge. Cette variabilité est très élevée dans les lièges de Zarieffet et Zerdeb avec des coefficients de variation (CV) respectifs de 66% et 42%. Par contre, à Hafir

et à M'Sila, l'âge des échantillons est moins variable avec un CV assez faible de 11% voire 15% à Hafir.

A Zarieffet, les échantillons du liège ont un âge dominant variant entre 14 ans (29%) et 15 ans (22%) et avec un degré moindre 12 ans (11%). Le reste des échantillons sont faiblement représentés dans les tranches d'âges de 8 à 11 ans et de 18 à 47 ans.

Le liège de Zerdeb se distribue entre 6 classes d'âge variant entre 11 et 35 ans. Les échantillons mûrs âgés de 14 ans dominent avec une portion de 29%, suivie par les échantillons de 11 et 21 ans avec des taux avoisinant les 21%. Dans le reste des échantillons, le liège est plus âgé de 19 ans (14%) à 23 ans voire 35 ans. Les échantillons du liège ayant largement dépassé l'âge de récolte théorique sont présents avec 50 % (cumule de 19 à 35 ans).

En revanche, les échantillons de M'Sila et de Hafir se distribuent entre 3 à 4 classes d'âges seulement. En effet à Hafir, la majorité des échantillons sont très jeunes (récoltés avant 10 ans) et représentés par un taux de 93% contre seulement 7% du liège plus ou moins mûr âgé de 10 ans. Ceci nous permet de dire que les opérations de récolte au niveau de cette forêt n'ont pas respecté la rotation prescrite pour la forêt de montagne qui oscille entre 11 et 13 ans (Natividade, 1956 ; Dehane, 2006 ; Ghalem, 2010).

A M'Sila, 80% des échantillons du liège sont âgés de 8 à 10 ans. Mais les lièges de 9 et 10 ans sont dominants avec 38% et 42% respectivement. Ces résultats montrent que la récolte du liège dans cette forêt littorale est moins anarchique et respecte la période d'exploitabilité du liège fixée entre 9 à 10 ans (Natividade, 1956 ; Ferreira et al, 2000 ; Dehane, 2006 ; Ghalem, 2010).

Les résultats de mesures montrent que le liège est exploité avec des cycles de production très variables selon les forêts et au sein même de la forêt. A Zarieffet, 4 exploitations seulement ont été effectuées après l'indépendance; elles sont enregistrées en 1981, 1982, 1983 et 1996 (Bouhraoua, 2003), auxquelles s'ajoutent les récoltes de 2008 et 2010. A Zerdeb, nous enregistrons 3 cycles d'exploitation compris entre 1986 et 1995 (C.F.W.T., 1996) et la dernière récolte remonte à 2011. Dans les deux autres forêts, malgré que la récolte du liège est en moyenne bisannuelle à Hafir (entre 1970 et 2014) (Bouhraoua, 2003, C.F.W.T., 2014) et presque annuelle à M'Sila (entre 1987 et 2014) (C.F.W.O., 1997/2014, Bouhraoua, 2003), les âges du liège sont peu variables. Ceci explique que l'exploitation du liège se fait d'une manière relativement perturbée ne respectant pas la durée de rotation en absence de plan de gestion subéricole.

Plusieurs exploitations sont effectuées dans les subéraies étudiées. A Zarieffet, les campagnes d'exploitation sont effectuées entre 1963 à 2002, à Zerdeb entre 1977 et 2001, à Hafir et M'Sila entre 2004 et 2006.

5.4.2- Distribution des échantillons par classe d'accroissements moyens annuels

La répartition des 95 échantillons du liège récoltés des 4 forêts (tout âge confondu) par classe d'accroissements moyens annuels complets est présentée dans la figure 92. La lecture

de cette figure, révèle que durant le cycle de production des lièges, les accroissements annuels moyens sont différents et varient entre les forêts de montagne et celles du littoral.

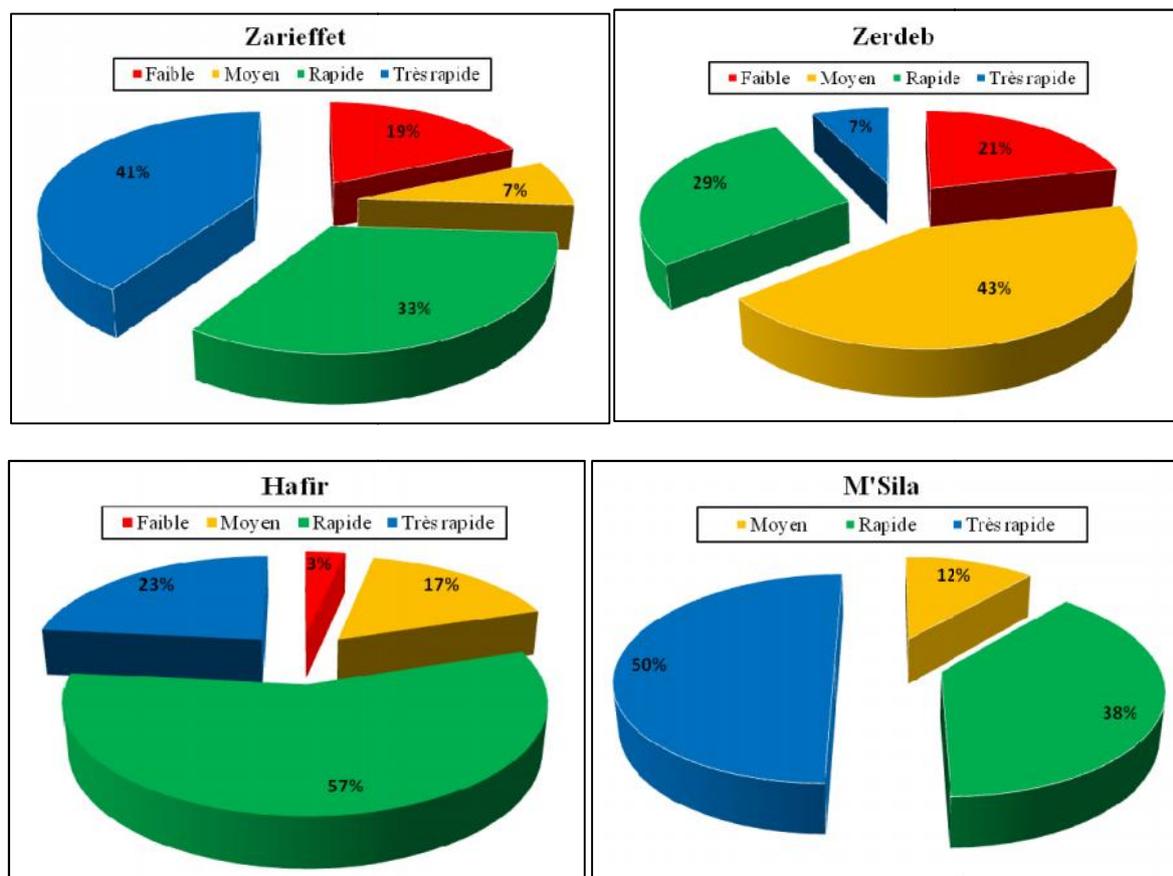


Figure 95 : Distribution des échantillons du liège des 4 forêts d'étude par classes d'accroissements moyens annuels

5.4.2.1-Liège de montagne

A Zariéffet, ce sont les accroissements de type très rapide (2,1- 3mm) qui dominent significativement avec un taux de 41% (Chi-2, 40.36, 3ddl) contre 33% de type rapide. A Zerdeb, les accroissements moyens sont significativement dominants avec un taux de 43% (Chi-2, 18.67, 3ddl), suivis par des accroissements de type rapides avec un taux de 29%. Les accroissements faibles sont moins présentés dans les deux suberaies avec 19% à Zariéffet voire 21% à Zerdeb. Le taux le plus faible est représenté par les accroissements moyens à Zariéffet et très rapides à Zerdeb par un taux de 7% pour chacune.

A Hafir, nous remarquons la dominance des accroissements rapides avec un taux de 57% suivis par des accroissements très rapides (23%) contre une faible présence du liège à croissance moyenne (17%) à faible (3%).

La comparaison des accroissements moyens annuels des 3 suberaies de montagne réalisée à l'aide de l'ANOVA, a montré un haut niveau de significativité ($\alpha = 5\%$) (tab.57) ce qui montre l'effet du site sur la croissance du liège, malgré que ces subéraies poussent

pratiquement dans les mêmes monts. Ceci est du peut être à l'effet de l'âge du liège qui est très variable entre les forêts et au sein même de la forêt.

Pour mieux comprendre l'effet de la forêt sur la croissance du liège, nous avons réalisé des ANOVA par paire de forêts. Les résultats nous ont permis de constater que la croissance du liège de Zerdeb est significativement différente à celles de Zarieffet et Hafir (tab.58). Tandis que, la variation des accroissements moyens annuels ne diffère pas significativement entre la suberaie de Hafir et Zarieffet étant donné qu'elles sont proches et constituent le même massif forestier. Ces deux subéraies sont donc soumises aux mêmes conditions écologiques, pédologiques et climatiques (Boudy, 1955 ; Bouhraoua, 2003)

Tableau 58: Analyse de la variance à un facteur de la variable des accroissements moyens annuels des trois subéraies de montagne

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes (Zarieffet-Hafir et Zerdeb)	5,4543165	2	2,7271583	4,982756	0,0095635	3,131672
Entre Groupes (Zerdeb et Zarieffet)	4,8704006	1	4,8704006	6,694429	0,0135142	4,0912785
Entre Groupes (Zerdeb et Hafir)	4,1861503	1	4,1861503	11,85762	0,0013136	4,0726537
Entre Groupes (Zarieffet et Hafir)	0,0592883	1	0,0592883	0,1044	0,7478373	4,0161954

5.4.2.2-Liège de littoral

Le liège de M'Sila s'individualise par l'absence de la classe 1 des accroissements faibles. Le liège à croissance moyenne est présenté par un taux de 12%, tandis que, la majorité des échantillons (88%) se caractérise par des accroissements de type rapide à très rapide (>2,1 mm). Ce type d'accroissements détermine souvent le liège de littoral. En effet, nous enregistrons 38% du liège aux accroissements rapides et un peu plus (50%) du liège aux accroissements très rapides (> 3 mm).

5.4.3-Rythme global des accroissements annuels du liège durant un cycle de production selon les zones naturelles

Vu que les échantillons du liège récolté de la forêt de M'Sila aient un âge variant entre 8 et 10 ans, nous avons jugé utile de retenir un cycle de production de 9 ans. Ce cycle de référence permet de produire un liège aux épaisseurs adaptées aux débouchés industriels. Pour cela, nous avons suivi la méthode de Ferreira et al. (2000) appliquée à ce type de liège de littoral et qui consiste à comparer les 8 premières années de croissance complète communes à tous les échantillons. Le même principe est appliqué pour étudier le rythme global des accroissements annuels du liège de montagne en l'occurrence de Zarieffet et Zerdeb. Pour cette zone naturelle, nous avons retenu deux cycles de production à savoir 12 et

14 ans (soit 11 et 13 accroissements complets. Ceci correspond à la période moyenne de croissance du liège évoluant en montagne (Boudy, 1950 ; Pereira, 2007). Tandis qu'à Hafir, nous avons limité notre étude à un cycle incomplet de 10 ans à cause de l'absence du liège mûre de 12 ans voire même 14 ans .

5.4.3.1- En montagne

5.4.3.1.1- Cycle complet de production de 14 ans

Les valeurs moyennes des accroissements annuels complets des lièges de Zarieffet et Zerdeb durant un cycle de 14 ans sont ordonnées dans le tableau 59.

Tableau 59 : Croissance annuelle du liège prélevé des deux subéraies de montagne (Zarieffet et Zerdeb) durant un cycle de production de 14 ans (13 accroissements complets). Les chiffres entre parenthèse indiquent l'écart-type.

Forêt	Zarieffet	Zerdeb	Moyenne
Croissance moyenne annuelle (mm/an)	2,63 (0,99)	2,41(0,94)	2,52 (0,97)
Les accroissements annuels			
1^{er}	3,76 (1,27)	3,26(1,00)	3,51 (1,13)
2^{ème}	3,31(1,24)	3,40 (1,17)	3,35 (1,20)
3^{ème}	3,57 (1,62)	2,86 (0,87)	3,22 (1,25)
4^{ème}	3,14 (1,36)	2,95 (0,92)	3,04 (1,14)
5^{ème}	2,91 (1,11)	2,63 (0,75)	2,77 (0,93)
6^{ème}	2,43 (0,93)	2,33 (0,74)	2,38 (0,84)
7^{ème}	2,82 (0,92)	2,26 (0,78)	2,54 (0,85)
8^{ème}	2,35 (0,99)	2,16 (0,71)	2,25 (0,85)
9^{ème}	2,37 (0,89)	2,34 (0,82)	2,35 (0,86)
10^{ème}	2,20 (0,78)	1,98 (0,56)	2,09 (0,67)
11^{ème}	1,82 (0,59)	1,65 (0,38)	1,74 (0,48)
12^{ème}	1,86 (0,71)	1,83 (0,84)	1,84 (0,78)
13^{ème}	1,67 (0,50)	1,81 (0,45)	1,74 (0,47)

D'après ce tableau, nous remarquons que la croissance annuelle moyenne du liège de montagne est de l'ordre 2,52 mm/an, ce qui correspond à un liège de type rapide. Elle est relativement plus élevée à Zarieffet (2,63 mm/an) qu'à Zerdeb (2,41 mm/an). Statistiquement, les variations de la largeur des accroissements annuels des 4 premières années sont plus élevées (>3mm/an) par rapport aux accroissements observés entre 5^{ème} et 9^{ème} année qui sont de 2mm/an. Au-delà, les largeurs des cernes diminuent davantage pour atteindre des valeurs inférieures à 2mm/an.

La croissance moyenne du liège des différents échantillons marque de grandes variabilités dans les 2 suberaies. Le coefficient de variabilité (CV) est élevé de l'ordre 38%.

L'analyse de la variance à un facteur ne montre pas de différence significative entre les accroissements courants annuels du liège de Zariéffet et Zerdeb (tab.60).

Tableau 60: Analyse de la variance de la variable accroissement des deux suberaies Zariéffet et Zerdeb pour un cycle de 14 ans

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	0,29	1	0,29	0,75	0,39	4,26
A l'intérieur des groupes	9,33	24	0,38			
Total	9,62	25				

Globalement, durant un cycle de production de 14ans, le liège de ces 2 suberaies atteint une épaisseur sans croute variant 31.46mm et 34.21mm soit une moyenne de 32.82mm. Cette épaisseur classe le liège dans la catégorie du liège régulier très recherché par les industriels pour la fabrication du bouchon de 24mm de diamètre (Ferreira et al., 2000).

5.4.3.1.2- Cycle complet de production de 12 ans

Les valeurs moyennes des accroissements annuels complets des lièges de Zariéffet et Zerdeb durant un cycle de production de 12 ans sont présentées dans le tableau 61.

Tableau 61: Croissance annuelle du liège prélevé des 2 suberaies (Zariéffet et Zerdeb) durant un cycle de production de 12 ans (11 ans de croissance complète). Les chiffres entre parenthèse indiquent l'écart-type.

Forêt	Zariéffet	Zerdeb	Moyenne
Croissance moyenne annuelle (mm/an)	2,78 (1,06)	2,52 (0,94)	2,65 (1,00)
Les accroissements annuels			
1^{er}	3,76 (1,27)	3,26 (1,02)	3,51 (1,14)
2^{ème}	3,3 (1,24)	3,40 (1,29)	3,35 (1,26)
3^{ème}	3,57 (1,62)	2,86 (1,21)	3,22 (1,41)
4^{ème}	3,14 (1,36)	2,95 (0,96)	3,04 (1,16)
5^{ème}	2,91 (1,11)	2,63 (0,92)	2,77 (1,01)
6^{ème}	2,43 (0,93)	2,33 (0,85)	2,38 (0,89)
7^{ème}	2,82 (0,92)	2,26 (0,73)	2,54 (0,83)
8^{ème}	2,35 (0,99)	2,16 (0,92)	2,25 (0,95)
9^{ème}	2,37 (0,89)	2,34 (0,80)	2,35 (0,84)
10^{ème}	2,20 (0,78)	1,98 (0,63)	2,09 (0,71)
11^{ème}	1,82 (0,59)	1,65 (1,05)	1,74 (0,82)

La croissance moyenne annuelle durant les 11 années complètes est toujours de type rapide dans les deux suberaies. Les valeurs moyennes varient de 2,52 mm/an à Zerdeb à 2,78 mm/an à Zariéffet ce qui correspond à une moyenne de 2,65 mm pour le liège de montagne. Avec ce rythme de croissance, le liège peut arriver à l'épaisseur bouchonnable à

l'âge de 12 ans. La variabilité entre les accroissements annuels des deux sites reste élevée de 32%.

La comparaison des moyennes des variations annuelles des accroissements du liège durant les 11 années de croissance complète ne montrent pas une différence statistique du point de vue accroissement courant annuel (tab.62).

Tableau 62: Analyse de la variance de la variable accroissement des deux suberaies Zarieffet et Zerdeb pour un cycle de 12 ans.

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	0,37	1	0,37	1,12	0,30	4,35
A l'intérieur des groupes	6,68	20	0,33			
Total	7,06	21				

Le cycle de production de 12 ans offre un liège juste destiné à la fabrication des bouchons de 21mm de diamètre surtout mais aussi de 24mm. L'épaisseur totale sans croûte et sans les 2 demi-accroissements oscille entre 30,68 mm et 27,82 mm.

5.4.3.1.3- Cycle incomplet de production de 10 ans

Les valeurs moyennes des accroissements annuels complets des 71 échantillons provenant des 3 suberaies de montagne (Zarieffet, Zerdeb et Hafir) durant un cycle de 10 ans sont consignées dans le tableau 63.

Tableau 63: Croissance annuelle du liège prélevé des trois subéraies de montagne (Zarieffet, Zerdeb et Hafir) durant un cycle de production de 10 ans (9 ans de croissance complète). Les chiffres entre parenthèse indiquent l'écart-type.

Forêt	Zarieffet	Zerdeb	Hafir	Moyenne
Croissance moyenne annuelle (mm/an)	2,96 (1,15)	2,68 (0,97)	2,79 (0,87)	2,81(0,14)
Les accroissements annuels				
1^{er}	3,76 (1,27)	3,26 (1,02)	2,57 (0,99)	3,20 (0,15)
2^{ème}	3,3 (1,24)	3,40 (1,29)	2,72 (1,30)	3,14 (0,03)
3^{ème}	3,57 (1,62)	2,86 (1,21)	3,34 (1,29)	3,26 (0,21)
4^{ème}	3,14 (1,36)	2,95 (0,96)	3,19 (1,24)	3,09 (0,20)
5^{ème}	2,91 (1,11)	2,63 (0,92)	2,55 (0,82)	2,70 (0,15)
6^{ème}	2,43 (0,93)	2,33 (0,85)	2,51 (0,62)	2,42 (0,16)
7^{ème}	2,82 (0,92)	2,26 (0,73)	2,84 (0,79)	2,64 (0,10)
8^{ème}	2,35 (0,99)	2,16 (0,92)	2,67 (0,58)	2,39 (0,22)
9^{ème}	2,37 (0,89)	2,34 (0,80)	2,69 (0,18)	2,47 (0,38)

La comparaison de la croissance annuelle durant les 9 premières années des 3 suberaies de montagne, montre que la croissance moyenne annuelle des lièges de Zarieffet et Hafir est

plus élevée que celle de Zerdeb. Mais la croissance moyenne annuelle reste toujours très rapide.

Selon l'analyse de la variance à un facteur, les 3 suberaies ne montrent pas une différence significative entre les 3 suberaies (tab.64), ce qui montre que le liège suit la même tendance de croissance avec l'âge.

Tableau 64 : Analyse de variance de la variable accroissement moyen annuel

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	0,67	2	0,33	2,04	0,15	3,40
A l'intérieur des groupes	3,94	24	0,16			
Total	4,61	26				

5.4.3.2- En littoral

Les différentes mesures de la largeur des cernes annuels durant les 8 années de croissance complète pour le liège de littoral (M'Sila) sont ordonnées dans le tableau 65.

Tableau 65 : Croissance annuelle du liège prélevé de la subéraie de M'Sila durant un cycle de production de 9 ans (8 ans de croissance complète). Les chiffres entre parenthèse indiquent l'écart-type.

9 ans	M'Sila
Croissance moyenne annuelle (mm/an)	3,21(0,93)
1^{er}	3,94 (1,09)
2^{ème}	3,57(0,84)
3^{ème}	3,20(0,77)
4^{ème}	3,71 (1,18)
5^{ème}	2,98 (1,00)
6^{ème}	2,91 (1,04)
7^{ème}	2,55 (0,72)
8^{ème}	2,79 (0,85)

D'après ce tableau, la croissance moyenne annuelle à M'Sila est de l'ordre de 3,21 mm/an, ce qui correspond au liège de type très rapide. Cette croissance oscille entre des valeurs extrêmes de 3,94 mm enregistrée dans le 1^{er} accroissement et 2,55 mm dans le 7^{ème} accroissement. Avec cet âge, le liège peut atteindre en 8 ans une épaisseur de 25.65mm. Cette valeur peut atteindre 29 mm si nous ajoutons les 2 demi-accroissements incomplets. Ce liège est classé alors dans la catégorie de « juste » moyennement demandé par les bouchonniers.

5.4.3.3-Toute forêt confondue

L'existence des cycles de production de liège de durée différente dans les 4 forêts rend la comparaison des variations des accroissements annuels difficile. Mais les 9 premières

années de croissance complète communes à tous les échantillons ont fait l'objet de comparaison (tab.66).

Tableau 66 : Croissance annuelle du liège prélevé des quatre subéraies (Zarieffet, Zerdeb, Hafir et M'Sila) durant un cycle de production de 10 ans (9 ans de croissance complète). Les chiffres entre parenthèse indiquent l'écart-type.

Forêts	Zarieffet	Zerdeb	Hafir	M'Sila
Croissance moyenne annuelle (mm/an)	2,96 (1,15)	2,68 (0,97)	2,79 (0,87)	3,16 (0,91)
Les accroissements annuels				
1^{er}	3,76 (1,27)	3,26 (1,02)	2,57 (0,99)	3,94 (1,09)
2^{ème}	3,3 (1,24)	3,40 (1,29)	2,72 (1,30)	3,57(0,84)
3^{ème}	3,57 (1,62)	2,86 (1,21)	3,34 (1,29)	3,20 (0,77)
4^{ème}	3,14 (1,36)	2,95 (0,96)	3,19 (1,24)	3,71 (1,18)
5^{ème}	2,91 (1,11)	2,63 (0,92)	2,55 (0,82)	2,98 (1,00)
6^{ème}	2,43 (0,93)	2,33 (0,85)	2,51 (0,62)	2,91 (1,04)
7^{ème}	2,82 (0,92)	2,26 (0,73)	2,84 (0,79)	2,55 (0,72)
8^{ème}	2,35 (0,99)	2,16 (0,92)	2,67 (0,58)	2,79 (0,85)
9^{ème}	2,37 (0,89)	2,34 (0,80)	2,69 (0,18)	2,82 (0,76)

D'après ce tableau, nous remarquons que durant les 9 premières années, les accroissements moyens du liège de littoral (3,21mm/an) évincent ceux de montagne. En effet, dans ce dernier type de liège, la croissance est élevée à Zarieffet (2,96 mm/an) contre 2,8 mm/an à Hafir et 2,62 mm/an à Zerdeb.

Tableau 67: Paramètres statistiques des accroissements moyens annuels calculés pour les échantillons de liège prélevés des quatre subéraies pour un cycle de 10 ans (9 ans de croissance complète).

	Zarieffet	Zerdeb	Hafir	M'Sila
Nombre des échantillons	27	14	30	26
Moyenne accroissement (mm/an)	2,96	2,68	2,79	3,16
Type de croissance du liège	Rapide	Rapide	Rapide	Très rapide
Moyenne extrême (mm)	2,35 3,76	2,25 3,43	2,51 3,34	2,55 3,94
C.V (%)	43%	38%	34%	29%

5.4.4- Etude des courbes de croissance individuels et moyenne (tout âge confondu)

5.4.4.1- En montagne

L'étude des courbes individuelles et moyennes de la croissance du liège de toutes classes d'âge est illustrée dans la figure 96 pour le liège de montagne.

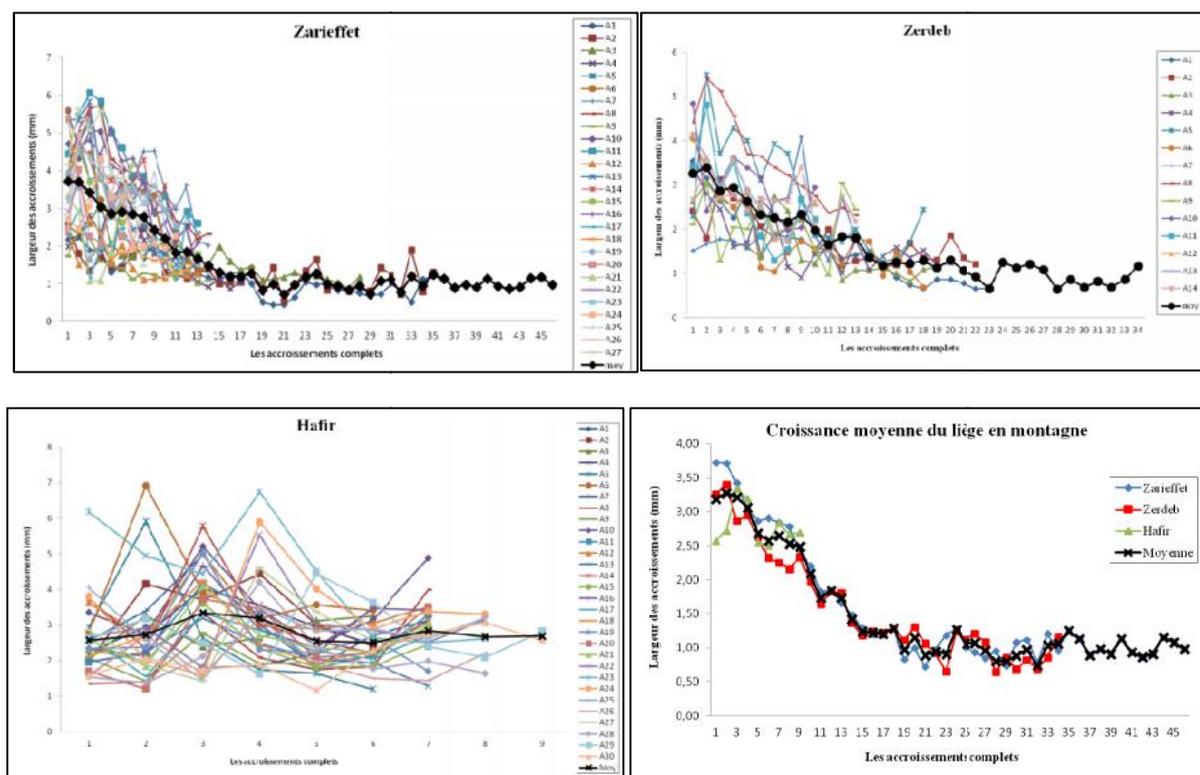


Figure 96: Courbes de croissance individuelles et moyennes du liège de reproduction de montagne (Zariéffet, Zerdeb et Hafir)

L'analyse des courbes de croissance individuelle met en évidence une forte discordance des variations interannuelles de la largeur des cernes d'un arbre à un autre au sein de la même forêt. Cela montre l'effet prépondérant de l'arbre comme source de variation (Ferreira et al., 2000). Alors que l'allure globale suit la même tendance régressive avec l'âge dans la majorité des échantillons de Zariéffet et Zerdeb.

A Zariéffet, la croissance du liège est élevée durant les 5 premières années qui suivent le déliègeage dans la totalité des échantillons; elle varie entre 3,36 mm et 6,72 mm enregistré respectivement en 2^{ème} et 4^{ème} accroissement. En revanche, le rythme de croissance diminue à partir de la 6^{ème} année et s'accroît de la 10^{ème} à la 12^{ème} année. L'accroissement le plus mince de 0,74 mm est enregistré dans la 29^{ème} année de croissance, suivi par une série d'accroissements minces à très minces ne dépassant pas 1,1 mm.

La lecture des courbes individuelles et moyenne du liège de Zerdeb montre que les accroissements du liège suivent la même tendance que celle de Zariéffet. En effet, les plus larges accroissements sont enregistrés dans les 6 premières années; ils atteignent 4,81 mm voire 5,41 mm en 2^{ème} année selon les échantillons. Tandis que, les cernes les plus minces (<1mm) sont enregistrés en dehors des cycles de production soit à partir de 16^{ème} année.

Les courbes de liège de Hafir montrent une variabilité individuelle dans la croissance du liège. La principale caractéristique réside dans la présence des cernes épais dès le 2^{ème} accroissement (4,3 mm) voire le 4^{ème} accroissement (4,8 mm). Ceci nous permet de dire que les larges accroissements sont sous l'influence génétique et physiologique. Dans toute son

aire géographique, les cernes du liège affichent toujours les valeurs les plus élevées durant les premières années d'activité subérogène post-déliegeage (Natividade, 1956, Oliveira et al., 2002; Ferreira et al., 2000 ; Pereira, 2007)

5.4.4.2- En littoral

l'étude des courbes individuelles et moyennes de croissance du liège de littoral de toutes classes d'âge est illustrée dans la figure 97 .

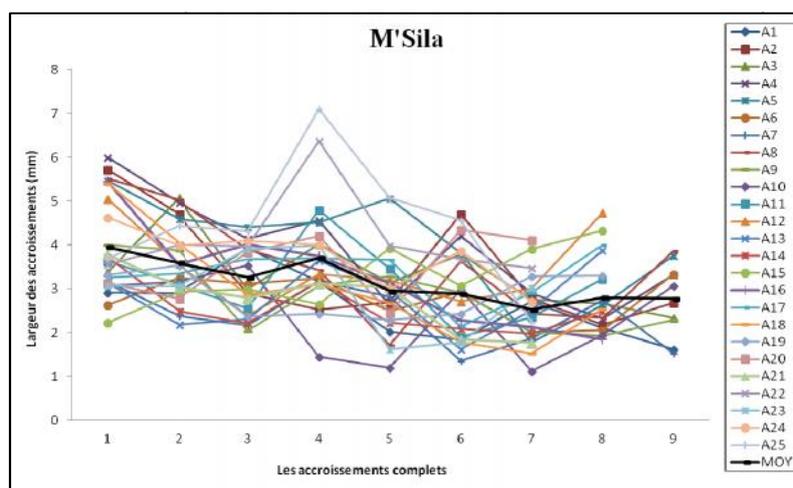


Figure 97: Evolution des accroissements courants annuels et moyens des échantillons du liège de reproduction de littoral (M'Sila)

L'allure générale des courbes de croissance individuelles par classe d'âge révèle une croissance assez irrégulière du liège entre les individus de 10 ans et 9 ans. Tandis que, la juxtaposition des courbes des individus de 8 ans montre un synchronisme dans la croissance malgré la différence de la largeur des accroissements courants annuels. Ce synchronisme est plus au moins parfait en 3^{ème}, 4^{ème} et 5^{ème} accroissements.

Au niveau de la courbe moyenne, nous constatons que la croissance du liège de M'Sila progresse en 2 phases ; la première phase se caractérise par des accroissements larges durant les 5 premières années qui détiennent le plus grand pourcentage de croissance (61%) suivi par une deuxième phase de croissance lente. Cette phase débute généralement à partir de la 6^{ème} année et présente une allure descendante jusqu'à ce que la production devienne très faible à la fin du cycle.

Les cernes du liège les plus épais (>4mm) sont produits en 1^{ère} année voire la 4^{ème}. Après, ces accroissements deviennent minces de 2,4 mm. Ces deux accroissements sont considérés comme des années caractéristiques de croissance du liège car ils sont présents dans presque la totalité du liège.

5.4.5- Rythme de croissance du liège en dehors du cycle de production

Parmi le liège de Zarieffet et Zerdeb, nous avons trouvé des échantillons très âgés qui ont largement dépassé l'âge d'exploitabilité (plus de 12 ou 14 ans). La présence de ce liège nous permet d'apprécier les variations de la quantité du liège produite en fonction de l'âge.

5.4.5.1- En dehors d'un cycle de 14 ans

La présence des échantillons du liège ayant largement dépassé la période de récolte nous a permis de comparer le rythme de croissance du liège dans le cycle normal de production (13 premières années de croissance complète) avec celui en dehors du cycle soit entre les 14^{ème} et 46^{ème} année selon les échantillons. Dans notre étude, nous n'avons retenu que les 14^{ème}-25^{ème} premiers accroissements ce qui représente un rythme de croissance d'une durée analogue à celle d'une rotation. Pour cela, nous avons pris les résultats de mesures des accroissements des lièges de Zarieffet et de Zerdeb seulement. La figure 98 illustre les rythmes de croissance des lièges en dehors du cycle de production (en rouge) par rapport à un rythme normal (bleu).

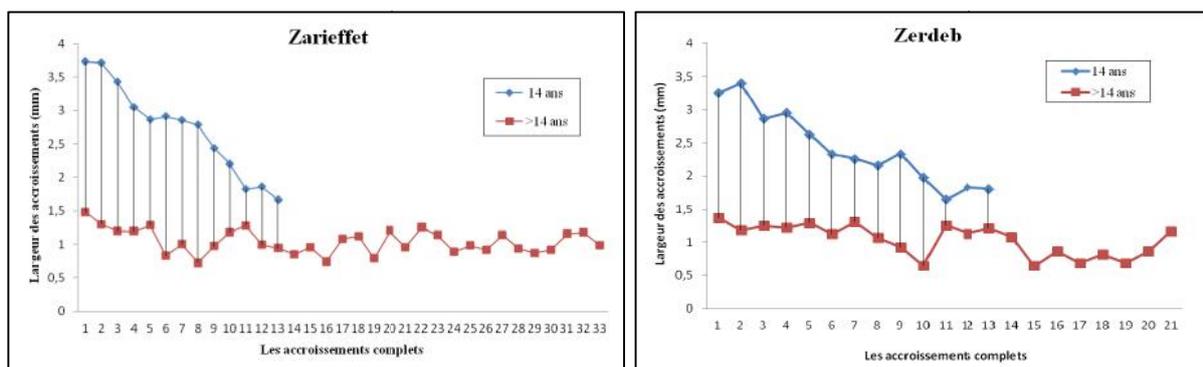


Figure 98 : Evolution des accroissements moyens annuels du liège au cours d'un autre cycle de 14 ans en dehors du cycle normal

La lecture de cette figure, montre que la croissance du liège durant le premier cycle de production est plus élevée que celle durant le second cycle. Elle est de 2,41mm/an durant la 1^{ère} à 13^{ème} année de croissance, contre 1,03 mm/an de 14 à 34^{ème} année de croissance à Zerdeb. En outre à Zarieffet, la croissance est plus élevée durant le premier cycle de production (1-13^{ème}) avec une moyenne annuelle de 2,71 mm/an par rapport à la moyenne de croissance de la période 14^{ème}- 46^{ème}. Ce cycle devient plus faible 1,04 mm/an.

Selon le test d'ANOVA présenté dans le tableau 68, la croissance du liège durant un cycle normal de production et celui en dehors de ce cycle est hautement significative pour les deux forêts.

Tableau 68 : Analyse de la variance à un facteur de la la variable des accroissements moyens annuels au cours du cycle de production et en dehors de ce cycle

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes (Zarieffet)	26,09	1	26,08	170,51	0,0000	4,0617
Entre Groupes (Zerdeb)	15,33	1	15,33	99,64	0,0000	4,1491

Les accroissements annuels sont significativement plus larges durant la première période que ceux produits après la 14^{ème} année de croissance. En effet, chaque année de retard dans la récolte engendre des pertes considérables dans la production. Le taux de ces pertes est très élevé durant les 8 premières années (14^{ème}-21^{ème} année) à Zarieffet (-46%) et les 6 premières années (14^{ème}-19^{ème} année) à Zerdeb (-32%). Par la suite, la croissance devient faible et se rapproche de celle enregistrée dans un cycle ordinaire. Ceci est expliqué par une faible différence entre la largeur des cernes produits durant les dernières années de croissance du cycle de production (11^{ème}- 13^{ème} année ; 1,82-1,67mm à Zarieffet et de 1,65-1,81mm à Zerdeb) et ceux durant le cycle retardé (24^{ème}- 26^{ème} : 1,28-0,94 à Zarieffet et de 1,25- 1,20 mm à Zerdeb).

A travers ces résultats, nous mettons en évidence l'importance des pertes de production notées durant les 5 premières années de retard. Elles sont estimées à -35 % à Zarieffet contre -32% à Zerdeb. Il convient de signaler que durant les 5 années de production le liège atteint 60% de son épaisseur selon Natividade (1956). Si nous laissons le liège sur arbre sans récolte jusqu'au 28^{ème} année au maximum, nous enregistrons un déficit total de 53% à 60% de l'épaisseur.

5.4.5.2- En dehors d'un cycle de 12 ans

Les variations annuelles des accroissements complets du liège durant les 11 premières années comparées par rapport aux 11 dernières années sont illustrées dans la figure 99.

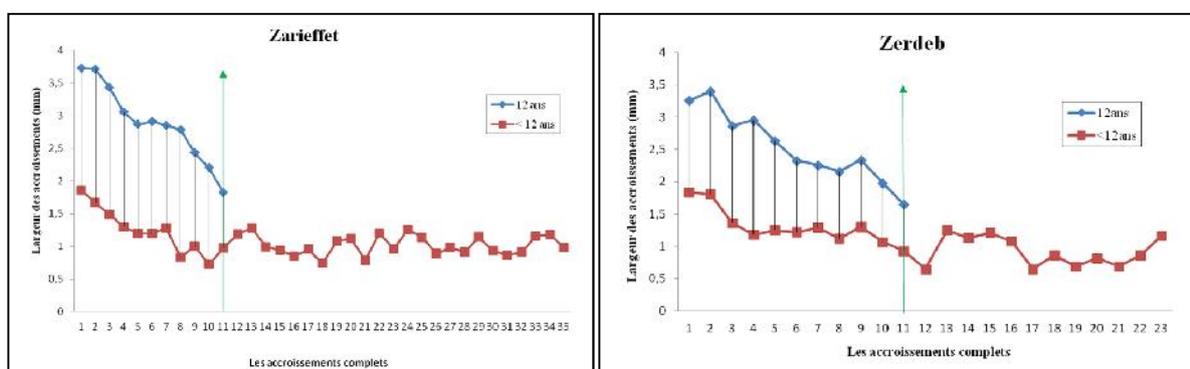


Figure 99: Evolution des accroissements moyens annuels du liège au cours d'une période de 12 ans en dehors de cycle de production normal

D'après cette figure, nous remarquons la même tendance de perte de croissance que celle enregistrée durant le cycle de 14 ans (fig. 99). Néanmoins, le taux de perte durant les 2 premières années de retard (12^{ème} et 13^{ème} année de croissance) est plus élevé par rapport aux 1^{ère} et 2^{ème} accroissement du premier cycle. Le cumul des accroissements durant les deux premières années de croissance à Zarieffet est de 7,43mm contre 3,52 mm (années retardées) ce qui correspond à une perte de 3,91 mm (52%). A Zerdeb, les largeurs cumulées (13^{ème}-14^{ème} année) atteignent 3,64 mm contre 6,65 mm durant les deux premières années ce qui correspond à une différence moyenne de 3,01 mm. Ceci représente une perte de 45%. Mais les retards accusés dans l'exploitation du liège engendrent globalement des pertes dans l'épaisseur qui peuvent varier entre 12% à Zarieffet et 11% à Zerdeb.

Tableau 69: Production du liège dans deux cycles de production (12 ans et 14 ans)

Forêt	Zarieffet		Zerdeb	
	14 ans	12 ans	14 ans	12 ans
Cycle de production				
Epaisseur sous croute (mm)	35,30	31,77	31,44	27,80
Epaisseur avec croute (mm)	39,30	34,77	34,44	30,80
Catégorie du liège	Régulier	Régulier	Régulier	Juste
Croissance moyenne annuel (mm)	2,71	2,88	2,41	2,52

D'après ce tableau, nous constatons que le liège de montagne atteint l'épaisseur commerciale à l'âge de 12 ans et si nous prolongeons cette durée de production jusqu'à 14 ans, nous obtenons un liège de catégorie régulier (32-40 mm) à Zarieffet et même à Zerdeb. Mais à 12ans, les plaques passent à la catégorie du liège juste (27-32 mm) à Zerdeb mais il reste régulier à Zarieffet. Il est recommandé donc de récolter le liège à 12 ans de croissance mais en tenant compte des conditions du milieu favorables durant tout le cycle. A défaut, un cycle de 14 ans est adéquat pour cette zone malgré les circonstances éventuelles défavorables qui peuvent se passer.

5.4.6- Etude des courbes de croissance cumulée durant un cycle complet de production

La croissance cumulée du liège détermine la maturité du liège et la durée de rotation adéquate à chaque arbre ou site voire chaque zone de production. L'épaisseur du liège influe souvent sur le prix du liège mais aussi sur le rendement économique de la planche.

5.4.6.1- En montagne

Les courbes des accroissements cumulés de l'ensemble des échantillons provenant des 3 suberaies de montagne sont représentées dans la figure 100.

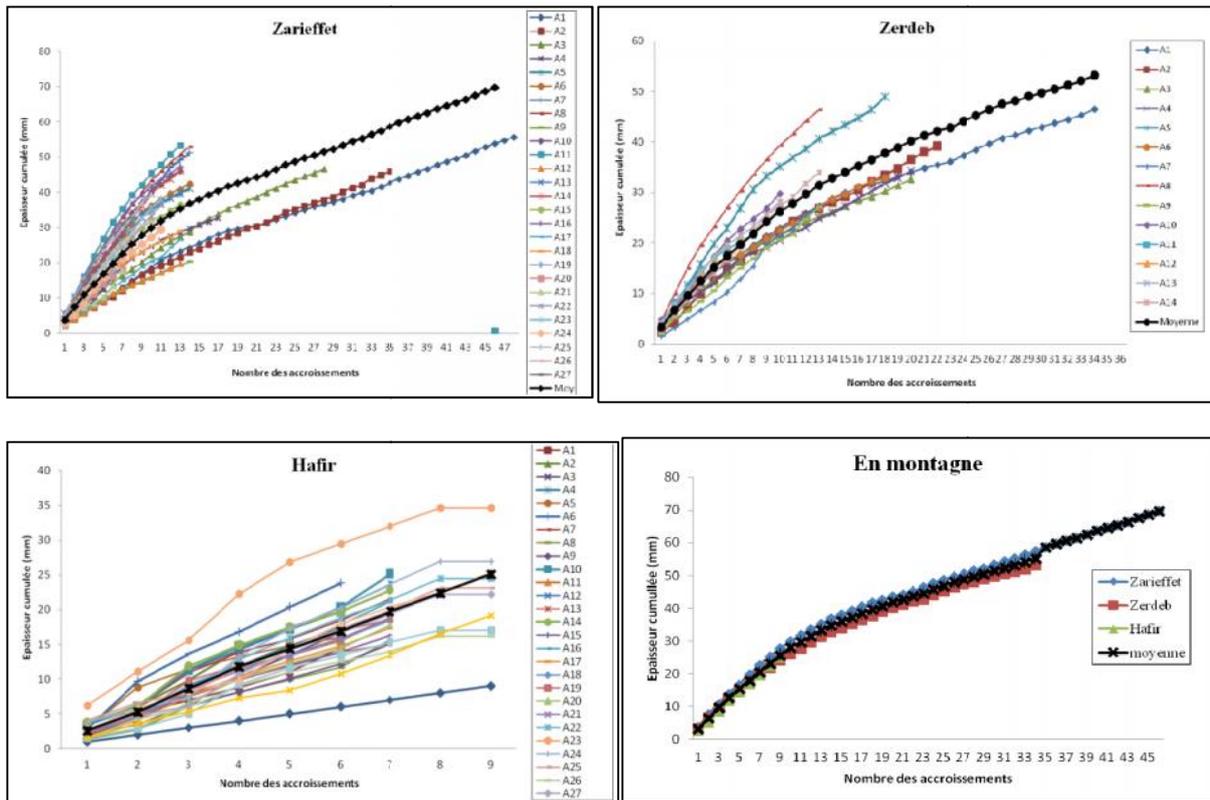


Figure 100: Croissance cumulée du liège de montagne (Zarieffet, Zerdeb et Hafir)

D’après cette figure, nous remarquons que les courbes moyennes des 3 forêts se superpose parfaitement entre eux, ce qui montre que la croissance du liège dans la montagne suit la même tendance linéaire, avec un rythme rapide durant les premières années puis elle devient lente avec l’âge. En effet, 60% du liège est atteint au bout des 5 premières années.

L’analyse de la croissance de chaque échantillon montre que la majorité du liège suit une tendance de croissance linéaire, mais avec une variabilité de la production entre les arbres de la même suberaie durant le cycle de production.

En moyenne, le liège juste (27-32 mm) est atteint à l’âge de 12 ans à Zarieffet et Zerdeb. En effet, 50% voire 66% des échantillons de liège de ces 2 forêts atteignent l’épaisseur de 27 mm sous la croûte à l’âge de 12 ans ou même avant ; tandis que, le reste des lièges nécessite 2 à 3 année de plus pour qu’il atteigne cette épaisseur et apte à être exploité. En conséquence, la majorité des plaques du liège dépasse l’épaisseur minimale admise à 14 ans.

A Hafir, le liège récolté durant la campagne de 2014 est en majorité immature. Les échantillons à l’âge de 10 ans sont encore classés dans la catégorie de liège « mince » avec une épaisseur cumulée inférieure à 26mm.

5.4.6.2- En littoral

Les courbes des accroissements cumulés des échantillons du liège récoltés de la suberaie de M’Sila sont représentées dans la figure 101.

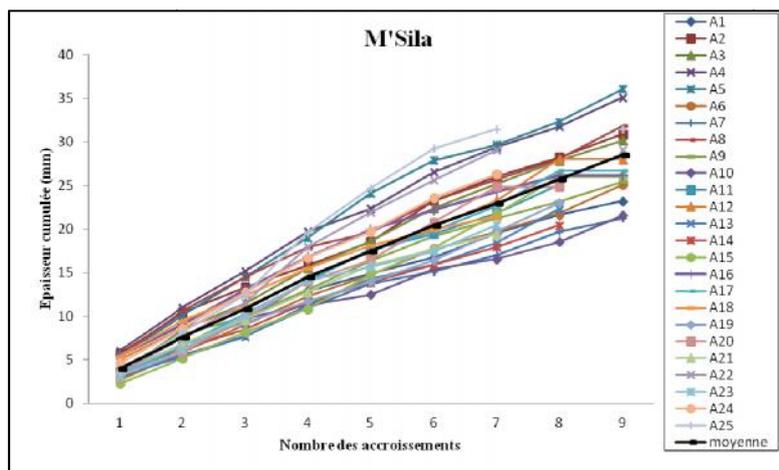


Figure 101: Croissance cumulée du liège de littoral (M'Sila)

La lecture de cette figure, montre que le liège de M'Sila suit la même tendance de croissance que celle de montagne. Une superposition presque parfaite des courbes est enregistrée durant les 3 premières années et par la suite, certains arbres se montrent plus productifs en se divergeant progressivement de la moyenne ce qui montre l'effet individuel de l'arbre.

L'analyse des épaisseurs des différents âges montre que 52% des échantillons, soit un peu plus de la moitié, atteint l'épaisseur commerciale à l'âge de 8 ans voire même 9 ans. Ce liège peut se classer dans la catégorie de « juste ». En revanche, il faut 1 à 2 années supplémentaires de croissance pour le reste des échantillons (48%) pour arriver à l'épaisseur marchande. C'est à l'âge de 10 ans que la majorité des lièges (plus de 90%), atteignent leur épaisseur commerciale en se classant soit dans les catégories de liège régulier (52%) ou juste (plus de 40%). Très peu de plaques se classent dans le mince malgré la rotation plus longue.

5.4.6.3- Relation entre l'épaisseur commerciale et épaisseur du liège

L'épaisseur du liège est un facteur déterminant dans l'utilisation finale de la planche et spécialement en industrie de production des bouchons. Le tableau 70 présente l'âge d'exploitabilité probable pour chacune des 4 suberaies.

Tableau 70: Epaisseur commerciale sous croute et l'âge d'exploitabilité des 4 suberaies. Epaisseur = 2 demi-accroissements + (n-1) accroissements complets, entre parenthèse la catégorie du liège

	Zarieffet	Zerdeb	Hafir	M'Sila
Nombre des échantillons	27	14	30	25
Epaisseur maximale à l'âge de 10 ans (mm)	29,72 (juste)	30,40 (juste)	27,71 (juste)	31,85 (régulier)
Epaisseur maximale à l'âge de 12 ans (mm)	33,97 (régulier)	34,26 (régulier)	*	*
Epaisseur maximale à l'âge de 14 ans (mm)	36,92 (régulier)	37,30 (régulier)	*	*
Age d'exploitabilité théorique/Rotation (ans)	12 ans	12 ans	12 ans	9 ans
Age d'exploitabilité pratique (ans)	14 ans	14 ans	14 ans	10 ans

D'après ce tableau, nous constatons que le cycle complet de production du liège varie selon la région. Il est relativement plus court en littoral qu'en montagne. Dans cette zone, l'épaisseur commerciale du liège sans croute est déjà atteinte à l'âge de 10 ans dans les 3 forêts. En moyenne, le liège appartient à la catégorie de liège « juste ». C'est à partir de 12 ans que les planches du liège acquièrent en partie leur épaisseur marchande (liège régulier) aptes au bouchonnage. Mais vue la grande variabilité des accroissements entre les arbres (40%) et pour rentabiliser économiquement la vente du liège et sa transformation, il est souhaitable de reporter la récolte à l'âge de 14 ans. A cet âge, la majorité des planches sont valorisables économiquement. En littoral, le liège atteint son épaisseur commerciale à 9 ans et apte à être exploité. Mais c'est à 10 ans que la majorité des planches auront acquis leur épaisseur recommandée vue la variabilité élevée observée entre les arbres.

En Espagne par exemple où la classification des planches récoltées en pile est rigoureuse, le liège juste (11-13lignes : 24.8-29.3mm) perd environ 15% de sa valeur devant le liège régulier (13-15 lignes ou 29.3-33.8mm (Ramon Santiago, 2016). Plus les proportions du liège régulier sont importantes dans les piles et plus le prix de vente en rapport avec le premier critère de qualité à savoir l'épaisseur est élevé.

5.4.7- Analyse de la relation cerne-climat

La croissance du chêne liège est soumise à une variation saisonnière marquée, s'étendant du mars à octobre voire même à novembre selon la région. Une grande croissance est enregistrée en été entre juin et août puis elle décroît à partir de la fin de cette saison (Costa et al.,2001 ; Costa et al.,2003). Cette distribution de croissance est similaire durant toutes les années, parfois avec des déphasages de 1 à 2 mois. Une diminution de la largeur des accroissements résulte souvent de la variation interannuelle des précipitations ou de la température (Caritat et al.,1996 ; Costa et al., 2002 ; Costa et al.,2004).

Dans cette optique, nous présentons les résultats de l'influence du climat durant la période de 15 ans (1995-2009) sur la croissance du liège de Zariéffet et 10 ans (2004-2013) sur celles de Hafir et M'Sila.

5.4.7.1-Influence des précipitations

5.4.7.1.1- Précipitations annuelles

Les variations annuelles des précipitations durant la période d'étude sont illustrées dans la figure 102.

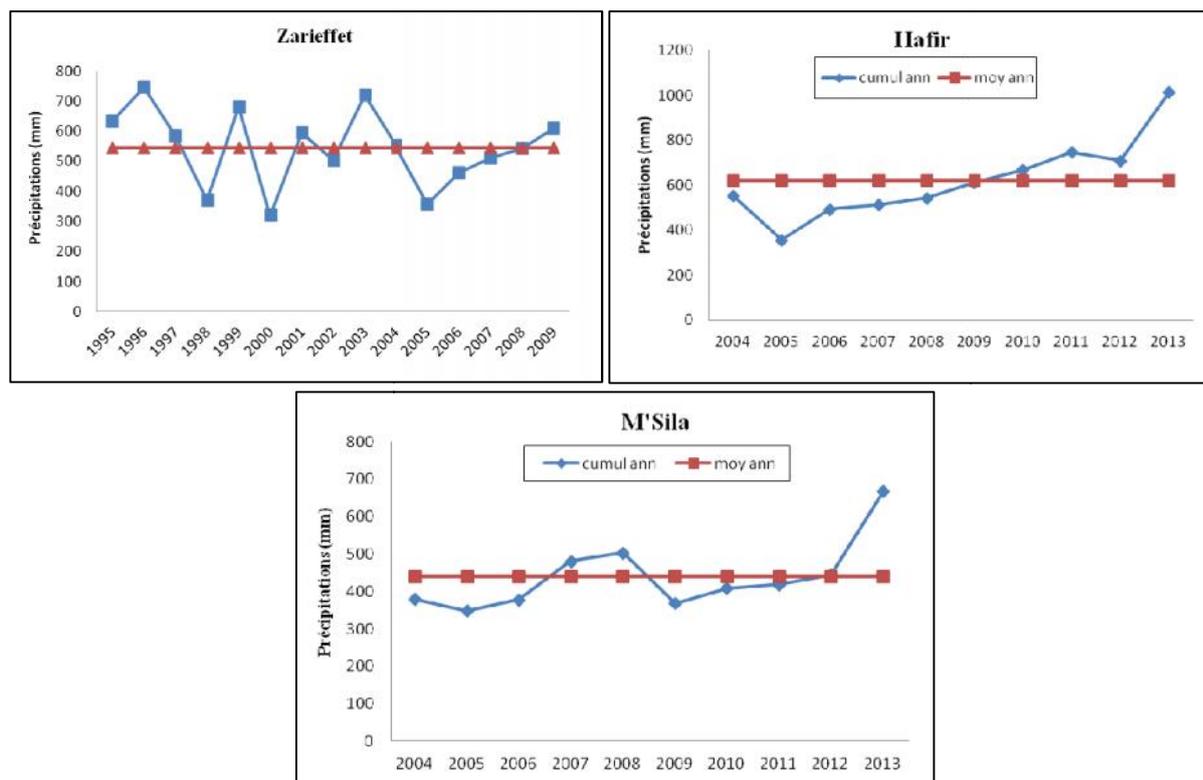


Figure 102: Précipitations annuelles dans 3 suberaies d'étude durant le cycle de production

A partir de ces courbes, nous constatons que les précipitations annuelles durant la période 2004-2013 affichent une hauteur moyenne de 620 mm à Hafir et 440 mm à M'Sila. L'année 2013 reste l'année la plus pluvieuse dans ces deux suberaies. Par contre, l'année 2005 s'est caractérisée par une sécheresse d'intensité moyenne où les pluies ont atteint un niveau inférieur de 356 mm à Hafir (soit un déficit de 33%) et 368 mm à M'Sila ce qui représente une perte de 17%. Nous remarquons aussi, qu'à partir de l'année 2009 jusqu'à 2013, les précipitations se sont améliorées progressivement et devenues de plus en plus élevées. A M'Sila, les précipitations en dessous de la moyenne (450mm) sont fréquemment enregistrées entre 2004 et 2013 soit avec 7 événements. Ils sont notés durant les 2004-2006 et 2009-2012. A Hafir par contre, ces précipitations ont duré 6 années successivement (2004-2009) pour s'améliorer par la suite jusqu'à la fin de notre période d'étude (2013).

Dans la forêt de Zariéffet, nous remarquons une grande variabilité de précipitations interannuelles. Elles sont en moyenne de 546 mm/an durant la période de 1995-2009. L'année la plus pluvieuse est enregistrée en 1996 avec un total de 745 mm, tandis que l'année la plus sèche est notée en 2000 avec 319 mm. Cette valeur est considérée très faible en ce qui concerne les exigences climatiques du chêne liège fixés par Natividade (1956). Les années les plus pluvieuses (au dessus de la moyenne) sont enregistrées en 4 événements soit en 1995-1997, 1999, 2001 et 2003. Par contre, les années les plus faibles sont plus fréquentes (1998, 2000 et 2002) et parfois plus longues (2004-2008).

5.4.7.1.2- Etude de l'indice de croissance

Les résultats des variations interannuelles des accroissements moyens du liège et l'indice de croissance dans les 3 suberaies sont présentés dans la figure 103.

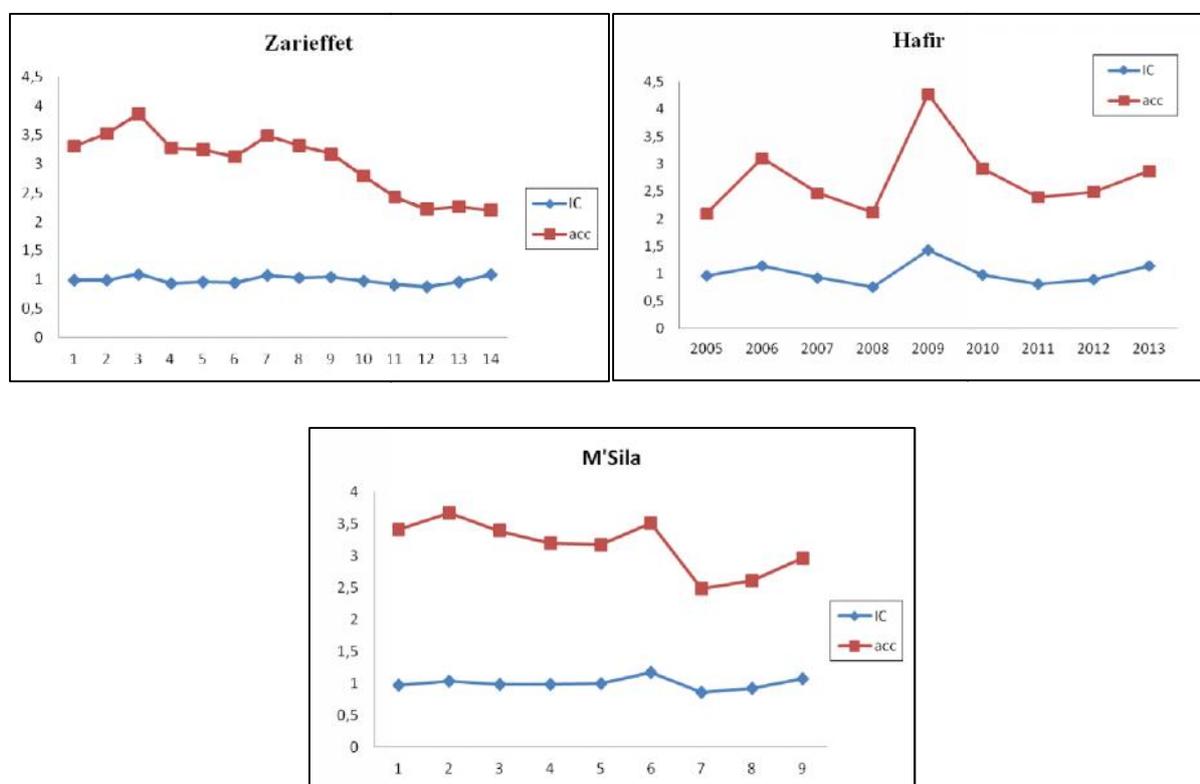


Figure 103: Variation d'indice de croissance annuel en comparaison avec les accroissements moyens annuels du liège de 3 suberaies.

D'après cette figure, nous constatons que l'indice de croissance suit la même tendance des accroissements annuels du liège mais avec des valeurs plus faibles dans les 3 suberaies. En effet, les indices d'accroissement annuels varient faiblement d'une année à une autre ; les valeurs qui se rapprochent de 1 dans ces suberaies nous permettent de conclure que la différence entre la valeur estimée et la valeur théorique est faible.

5.4.7.1.3- L'influence des Précipitations mensuelles

L'influence des précipitations mensuelles sur les variations annuelles des accroissements est étudiée par l'analyse de corrélation entre l'indice d'accroissement annuel et la pluviométrie mensuelle durant un cycle de production de 10 ans pour le liège de Hafir (2004-2013) et M'Sila et 15 ans pour Zariéffet.

1- Zariéffet

La relation entre les précipitations mensuelles et les indices de croissance du liège de Zariéffet est représentée dans la figure 104.

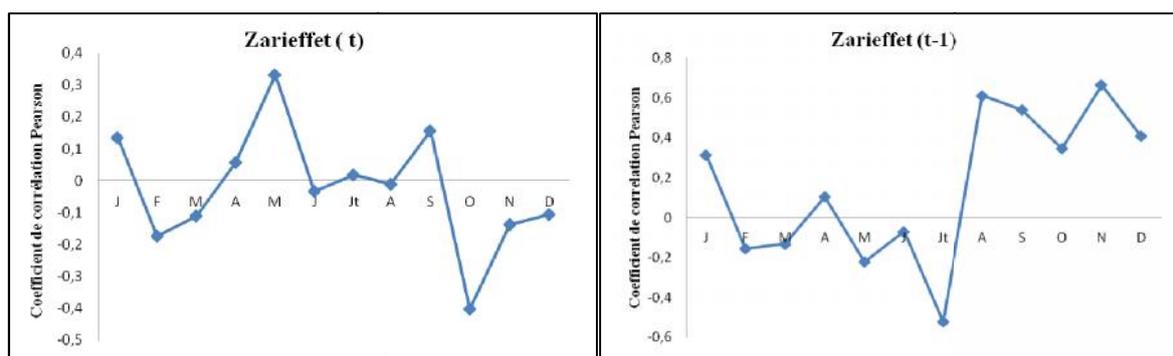


Figure 104: Réponse de l'indice d'accroissement aux précipitations mensuelles de Zariéffet basant sur le coefficient de corrélation Pearson

Selon cette figure, nous remarquons que la relation entre les précipitations mensuelles et l'indice de croissance est faible. Elle est représentée par un coefficient de corrélation très faible statistiquement et non significatif durant l'année courante de la croissance. La réponse positive est enregistrée pour le mois de mai ($r=0,33$), tandis que la corrélation négative est enregistrée pour le mois d'octobre ($r=-0,40$).

Les précipitations du mois de juillet de l'année précédente de la croissance est négativement corrélée avec la croissance du liège, tandis qu'à partir du mois d'août jusqu'au décembre de l'année précédente, nous enregistrons un effet positif sur la croissance du liège. La haute corrélation est notée dans ces mois avec des coefficients de corrélations $r=0,61$ en mois d'Août et $r=0,66$ en mois de Novembre

2- Hafir

La relation entre les précipitations mensuelles et les indices de croissance du liège de Hafir est représentée dans la figure 105.

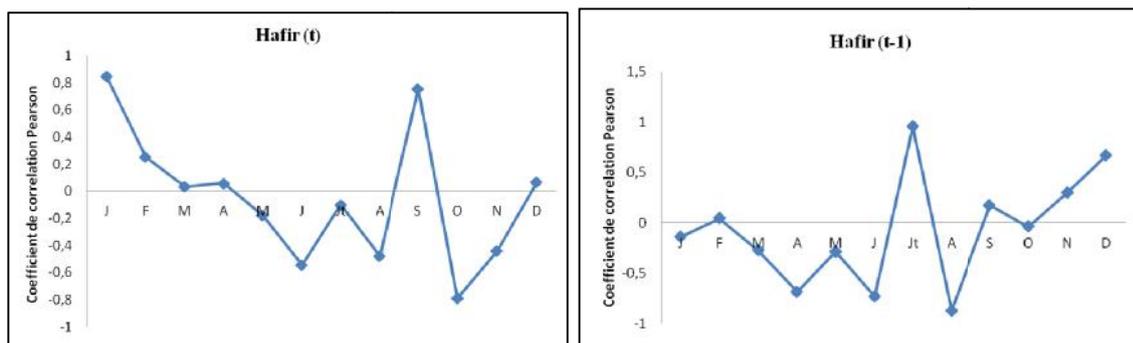


Figure 105: Réponse de l'indice d'accroissement aux précipitations mensuelles de Hafir basant sur le coefficient de corrélation Pearson

Cette figure nous révèle que les précipitations du mois de janvier et septembre de l'année courante ont un effet hautement positif sur la croissance du liège avec un coefficient de corrélation hautement significatif de $r= 0,84$ et $r= 0,75$ respectivement. Tandis que, les précipitations d'été notamment des mois de juin et août ont un effet négatif sur la croissance du liège avec un $r=-0,54$ en juin et $r=-0,79$ en octobre. En outre, la relation entre les précipitations des autres mois et l'indice de croissance est statistiquement non significatif représentée par un coefficient de corrélation très faible.

Le traitement des précipitations mensuelles durant l'année qui précède la croissance montre une corrélation négatif entre les précipitations des mois d'avril, juin et août avec des valeurs de coefficient de corrélation négatif élevées variant entre $r=-0,68$ et $r=-0,73$ voire $r=-0,86$ respectivement. Tandis que, les précipitations des mois de juillet et décembre de l'année précédente ont un effet positif sur l'indice de croissance avec un coefficient de corrélation hautement positif $r=0,95$ en juillet. Cette valeur descend jusqu'à $0,66$ en décembre.

3- M'Sila

La relation entre les précipitations mensuelles et les indices de croissance du liège de M'Sila est représentée dans la figure 106.

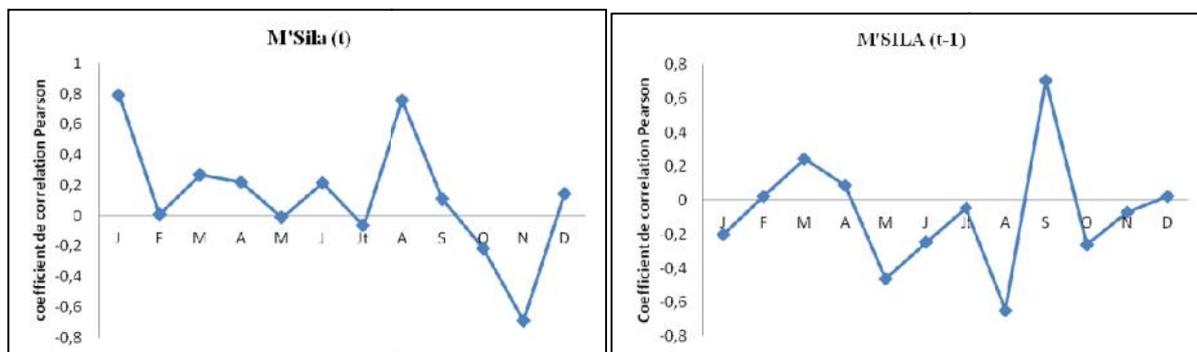


Figure 106: Réponse de l'indice d'accroissement aux précipitations mensuelles de M'Sila basant sur le coefficient de corrélation Pearson

D'après la figure, nous notons que durant l'année courante les précipitations mensuelles ont un effet positif sur l'indice de croissance sauf pour les mois d'octobre et novembre qui ont un effet négatif. D'ailleurs, les mois de janvier et août sont statistiquement significatifs et représentés par un coefficient de corrélation très élevé $r=0,78$ et $r=0,76$ respectivement. Par ailleurs, les précipitations du mois de novembre sont négativement corrélées ($r=-0,68$).

Le traitement des précipitations mensuelles durant l'année antérieure de la croissance montre une corrélation négative avec les précipitations estivales surtout du mois d'août ($r=-0,64$). Mais, cette corrélation se montre positive avec le mois de septembre ($r=0,70$).

5.4.7.1.4-L'influence des précipitations cumulées

La réponse de croissance du liège aux précipitations mensuelles est moins frappante, c'est pour cette raison il est nécessaire d'étudier l'influence des précipitations mensuelles cumulées durant différentes périodes de l'année (t) et l'année (t-1). Les résultats de cette analyse sont mentionnés dans le tableau 71 et les figures 104,105 et 106.

Tableau 71: Valeurs des coefficients de corrélation entre l'indice d'accroissement moyen annuel et l'accroissement moyen annuel et les précipitations cumulées durant différents mois de l'année dans les trois suberaies.

Précipitations cumulés	Indice de croissance			Accroissement moyen annuel		
	Hafir	Zarieffet	M'Sila	Hafir	Zarieffet	M'Sila
Janvier-Juin	0,512	0,530	0,635	0,456	0,210	0,117
Janvier-Juillet	0,520	0,534	0,648	0,460	0,205	0,121
Février-Avril	0,322	0,449	0,265	0,208	0,162	-0,003
Mars-Juin	0,056	0,293	0,244	0,059	0,279	-0,190
Avril-Juin	0,162	0,129	0,194	-0,029	0,218	-0,317
Juin-Septembre	-0,077	0,194	0,214	0,513	-0,038	0,261
Mai- Septembre	0,674	0,429	0,206	-0,315	-0,399	-0,046
Septembre-Octobre	-0,623	-0,364	-0,159	0,324	0,181	0,057
Novembre ⁻¹ - Juin	0,595	0,563	0,437	0,517	0,116	0,048
Novembre ⁻¹ _juillet	0,598	0,564	0,441	0,519	0,114	0,050
Novembre ⁻¹ _septembre	0,647	0,574	0,437	0,576	0,089	0,080
Novembre ⁻¹ - octobre	0,535	0,552	-0,215	0,514	0,044	-0,043
Novembre ⁻¹ - Décembre ⁻¹	0,690	0,249	-0,042	0,574	-0,156	-0,062
Octobre ⁻¹ -Juin	0,795	0,496	0,351	0,830	0,055	-0,007
Octobre ⁻¹ -Juillet	0,796	0,497	0,352	0,827	0,052	-0,006
Octobre ⁻¹ -Septembre	0,813	0,506	0,348	0,870	0,033	0,027
Octobre ⁻¹ -Décembre ⁻¹	0,574	0,117	-0,131	0,521	-0,021	-0,119
Pluie annuelle	0,113	0,414	0,192	0,180	0,021	-0,277
Pluie Hivernale	-0,107	0,395	0,655	-0,216	-0,109	0,450
Pluie Printanière	0,409	0,266	0,234	-0,373	0,274	-0,205
Pluie Estivale	-0,188	-0,363	-0,597	0,073	-0,210	-0,539
Pluie Automnale	0,521	0,346	0,443	0,654	0,378	0,408

D'après ce tableau, les précipitations cumulées durant les différentes périodes sélectionnées montrent une corrélation hautement significative pour certaines situations. Ces dernières sont enregistrées lorsque nous considérons les précipitations des mois de l'automne et l'hiver de l'année précédente (t-1), avec les pluies du printemps et début d'été de l'année courante (t). Cela est observé pour les lièges de Hafir et Zariéffet.

A M'Sila, les précipitations hivernale et printanière, et même du début de l'été de l'année courante ont un effet positif sur la croissance du liège surtout celles des mois janvier-juin ($r=0,63$) et janvier-juillet ($r=0,64$). Ceci explique que dans cette suberaie littorale, les pluies sont directement utilisées par l'arbre dans son fonctionnement physiologique.

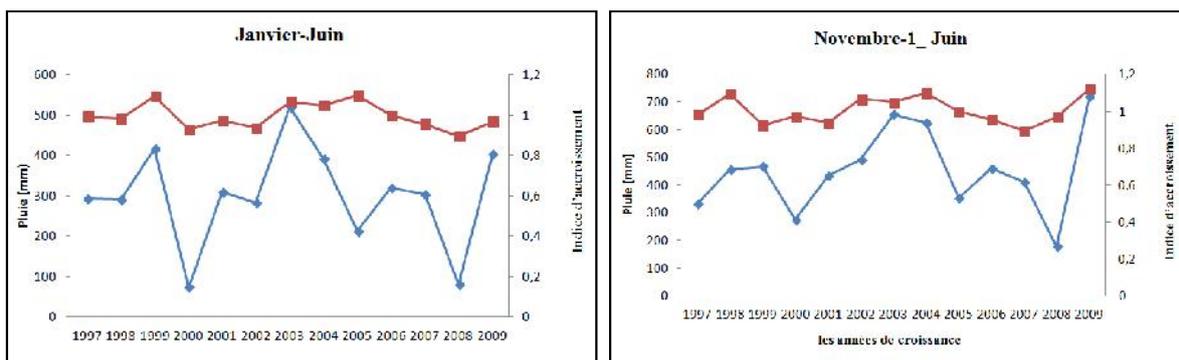
En effet, pour le liège de Hafir, les hautes significations statistiques du coefficient de corrélation sont enregistrées pour les précipitations cumulées des périodes suivantes ; octobre-1_septembre ($r=0,81$), octobre-1_juin et octobre-1_juillet ($r=0,79$), novembre-1_decembre-1 ($r=0,69$), juin_septembre ($r=0,67$), novembre-1_septembre ($r=0,64$), novembre-1_juin et novembre-1_juillet ($r=0,59$).

A Zariéffet, les pluies qui ont une remarquable influence sur l'indice de croissance sont présentées par un coefficient de corrélation significatif dans les périodes suivantes ; novembre-1_juin et novembre-1_juillet avec $r= 0,56$, novembre-1_septembre ($r=0,57$), novembre-1_octobre ($r=0,55$).

Pour mieux cerner la relation entre les précipitations et la croissance du liège, nous analysons les courbes des pluies des différentes périodes et l'indice de croissance moyenne du liège de chaque suberaie (fig.97, 98 et 99).

➤ Zariéffet

La figure 107, schématise la corrélation entre l'indice d'accroissement et les précipitations cumulées de quelques périodes de l'année à Zariéffet.



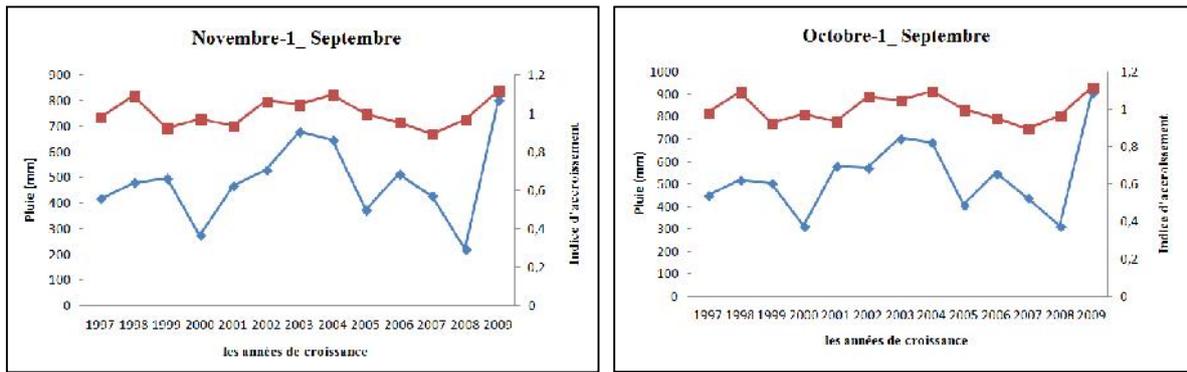


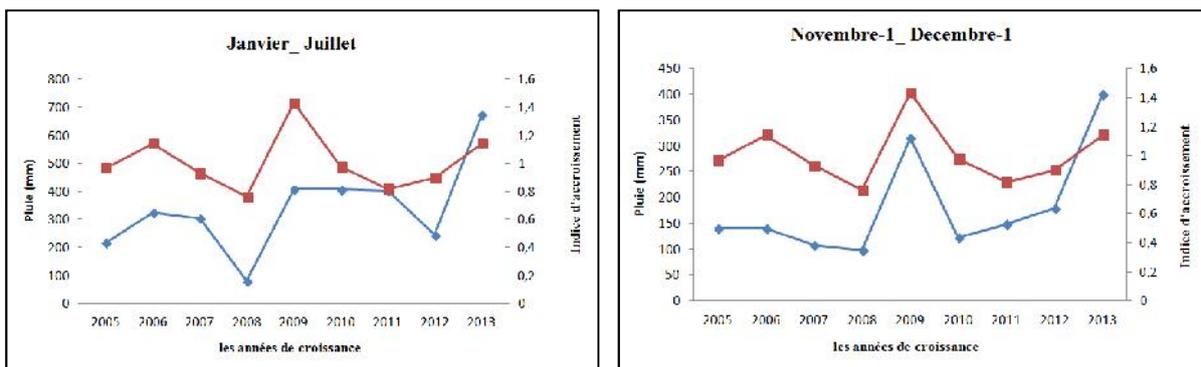
Figure 107: Corrélation entre indice d'accroissement et les précipitations cumulées de quelques périodes de l'année à Zariéffet

D'après la figure, nous remarquons un bon synchronisme entre l'indice de croissance et les précipitations durant les périodes à haut coefficient de corrélation. Les deux courbes suivent la même tendance ce qui explique la dépendance des accroissements du liège aux précipitations

À Zariéffet nous remarquons que l'année 2009, qui représente les derniers accroissements dans la majorité des échantillons, est caractérisée par sa grande largeur. En effet, cet accroissement est fortement lié à l'augmentation des précipitations cumulées entre janvier- juin, novembre-1_juin, novembre-1_juillet et octobre-1_ septembre. En revanche, les plus minces accroissements sont notés en 2007 coïncidant avec des pluies très faibles (fig.104).

➤ **Hafir**

La figure 108, schématise la corrélation entre l'indice d'accroissement et les précipitations cumulées de quelques périodes de l'année à Hafir.



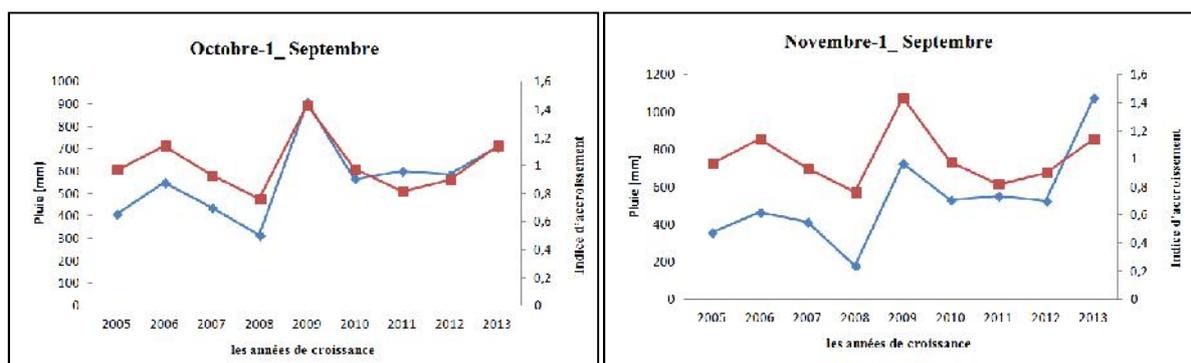


Figure 108: Corrélation entre indice d'accroissement et les précipitations cumulées de différents périodes de l'année à Hafir

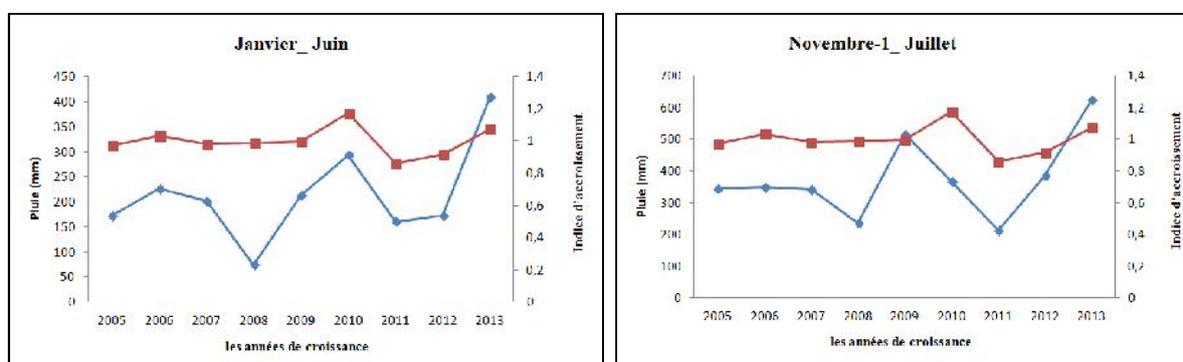
D'après cette figure, nous constatons que la croissance du liège de Hafir est dépendante des précipitations, surtout les précipitations accumulées durant les mois des années antérieures (t-1). Ces derniers ont un effet positif sur les accroissements annuels (fig.108).

A Hafir, l'année 2005 est l'année la plus sèche de la période mais l'épaisseur du cerne correspondant est large dans tous les échantillons. Ceci signifie que la première année de croissance qui suit le déliegeage est fortement influencé par l'activité du phellogène ce qui néglige l'effet du climat pour cette année.

Ainsi dans 90% des échantillons, nous avons mesuré des accroissements très minces en 2008, suivi par des larges accroissements en 2009. D'après nos résultats, la largeur de ces accroissements est fortement liée aux précipitations cumulés de l'année courante et celles cumulées des mois de l'année antérieure. L'année 2009 est considérée come une année caractéristique à la croissance du liège. Les cernes sont larges dans la majorité des échantillons. Ceci nous permet de conclure que la croissance du liège est pluvio-dépendante.

➤ **M'Sila**

Dans la figure 109, nous mettons en évidence une bonne corrélation entre les précipitations et l'indice de croissance du liège à M'Sila.



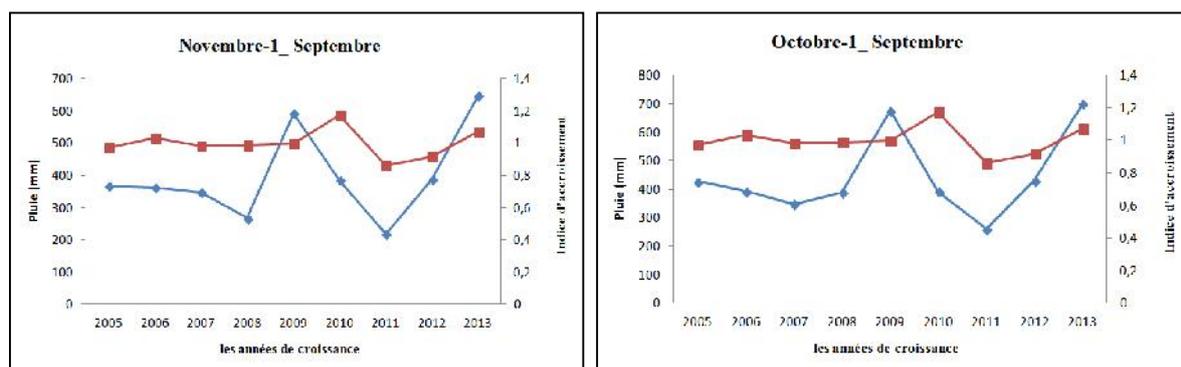


Figure 109: Corrélation entre l'indice d'accroissement et les précipitations cumulées de différentes périodes de l'année à M'Sila

A partir des courbes de M'Sila, nous constatons un synchronisme entre l'indice de croissance et les précipitations des différentes périodes. Durant la période (janvier-juin) une augmentation des pluies observée en 2010 a un effet positif sur l'indice de croissance. Tandis que durant les périodes de novembre-1_ juillet, septembre et octobre-1_septembre, marquées par une forte précipitation enregistrée en 2009, ont un effet positif sur la largeur de l'accroissement de l'année 2010. Ceci explique que les précipitations sont le principal facteur de cette augmentation.

5.4.7.2- Influence des températures moyennes

L'effet du climat sur la largeur de cerne nécessite aussi l'étude de l'action des températures mensuelles sur les accroissements. Ceci est analysé par le calcul de l'indice de corrélation Pearson entre les températures mensuelles et l'indice de croissance. Les résultats de telle analyse sont regroupés dans le tableau 72.

Tableau 72 : Valeurs des coefficients de corrélation entre l'indice d'accroissement moyen annuel et les températures mensuelles dans les trois subéraies

Mois	Année			Année ⁻¹		
	M'Sila	Hafir	Zarieffet	M'Sila	Hafir	Zarieffet
Janvier	0,039	-0,165	-0,203	-0,441	0,422	-0,050
Février	0,604	-0,134	-0,311	-0,192	0,327	0,348
Mars	0,444	0,107	-0,040	-0,126	0,661	-0,065
Avril	-0,080	-0,317	-0,215	-0,473	0,578	-0,154
Mai	-0,166	0,159	-0,422	0,112	0,059	-0,213
Juin	-0,484	0,286	0,202	0,259	0,561	0,203
Juillet	-0,185	0,225	-0,022	0,329	-0,030	-0,272
Août	-0,412	0,243	-0,359	-0,094	-0,085	0,037
Septembre	-0,046	0,302	0,065	-0,266	-0,186	0,328
Octobre	-0,015	0,798	0,381	0,612	0,023	0,094
Novembre	-0,161	0,425	-0,134	0,255	0,392	-0,325
Décembre	0,349	0,035	-0,511	0,050	-0,432	-0,061

D'après ce tableau, nous constatons que les réponses des fonctions subérogènes sont plus significatives vis-à-vis des précipitations que des températures. Néanmoins, la croissance du liège est dépendante des températures du mois de février en hiver qui influe positivement sur la largeur des cernes ($r=0,60$). Les températures du mois d'octobre agissent fortement à Hafir et ce qui s'explique par de très fort coefficient de corrélation. Ceci signifie que les températures d'automne et d'hiver de l'année courante influent positivement sur la croissance du liège. Aucune fonction de réponse des épaisseurs aux températures de Zariéffet n'est mise en évidence.

Chapitre VI

Discussion Générale

A travers l'ensemble des résultats obtenus, nous constatons une forte variabilité entre les différents paramètres étudiés du liège de différentes zones naturelles (âge, densité, productivité, accroissements annuels, épaisseurs, et qualités du liège et des bouchons). Cette variabilité est expliquée par les coefficients de variation de valeurs élevées (>20%) qui sont certainement dues aux plusieurs facteurs à savoir : pratiques sylvicoles, âge de l'arbre, mode de récolte, conditions topographiques, expositions, conditions écologiques (Courtois et Masson, 1999 ; Canellas et Montero, 2002).

6.1- Age du liège

L'étude de l'âge du liège prélevé des parcs à liège issus des campagnes d'exploitation 2011 et 2010 respectivement de la subéraie de Zarieffet et Zerdeb, nous a permis de constater une forte variabilité d'âge. Cette dernière est expliquée par la présence de 10 classes d'âge à Zarieffet, allant d'un liège jeune de 8 ans jusqu'à un liège très âgé de 47 ans. Ainsi à Zerdeb, cet âge varie de 11 ans à 35 ans. Cette grande variabilité d'âge, marquée par un coefficient de variation égal à 66% renseigne que l'exploitation du liège dans cette forêt est de type jardinée mais réalisée d'une façon anarchique.

En revanche, le liège récolté durant la campagne d'exploitation 2014 dans les suberaies de M'Sila et Hafir représente une faible hétérogénéité d'âge. Nous enregistrons que 4 âges allant de 7 à 10 ans à Hafir et de 8 à 10 ans à M'Sila. Ceci montre que l'exploitation dans la forêt de M'Sila est faite d'une façon plus réglée et organisée. Mais à Hafir où la totalité du liège récolté est immature, ceci prouve que la récolte est faite sans respect de la durée du cycle de production recommandée depuis longtemps dans cette zone géographique (12-14 ans voire 16 ans) (Boudy, 1955).

La levée du liège est une opération délicate, occasionnant naturellement un traumatisme à l'arbre ; elle doit être effectuée par des leveurs qualifiés. Mais malheureusement, nous avons enregistré dans les suberaies étudiées que le liège est souvent levé de façon désordonnée par plus de morceaux, à des âges et épaisseurs différents et sur des hauteurs excessives (fig.110). D'ailleurs, la présence des différentes classes d'âges montre que l'exploitation du liège dans les forêts étudiées ne respecte pas généralement les normes de levée du liège (sans distinction entre le liège mûr et celui jeune ou vert). En plus, le manque de plan de gestion subéricole (connaissance parfaite de la rotation) et les programmes d'aménagement durable aggrave davantage la situation des suberaies et accélère par conséquent le phénomène de dépérissement des suberaies. Au Portugal, la durée minimale d'une rotation est fixée par décret à 9 ans, alors qu'elle est entre 12 et 15 ans en France selon les secteurs géographiques (Bouhraoua, 2003 ; Dehane, 2006 ; Ghalem, 2010).

Selon Yessad (2001), Ghalem (2010), Dehane (2006 et 2012), Leutreuch-Belarouci (2010), l'exploitation de la suberaie est un travail technique délicat qui mérite un savoir-faire, une technicité, un respect de l'arbre et un suivi du personnel forestier durant la campagne de récolte. Les sujets levés doivent être numérotés en mentionnant l'année d'écorçage. L'exploitation doit reposer aussi sur un plan de gestion précis mais en tenant compte de tous les facteurs influant sur la croissance et qualité du liège.



**Figure 110 ; Quelques anomalies d'exploitation du liège à M'Sila
(Photos Bouhraoua, 2006-2007)**

6.2- La densité et la productivité

La densité volumétrique moyenne du liège avec croûte est supérieure en littoral (M'Sila) avec $232,3 \text{ kg/cm}^3$ qu'en montagne avec $224,7 \text{ kg/cm}^3$. Dans cette zone, le liège est plus dense à Zerdeb ($242,2 \text{ kg/cm}^3$) que celui de Hafir ($222,4 \text{ kg/cm}^3$) voire de Zariéffet ($209,5 \text{ kg/cm}^3$). Ces valeurs ne concordent pas avec celles signalées par Dehane et al. (2014). Ces auteurs ont trouvé des valeurs plus élevées variant entre $224,92 \text{ kg/cm}^3$ à Zariéffet et $355,45 \text{ kg/cm}^3$ à Hafir.

La densité du liège littoral de M'Sila est de même valeur avec celle de Jijel Roula (2010) de l'ordre de $289,5 \text{ kg/m}^3$. Dehane et al. (2015) ont cité pour le liège provenant de quelques sites littoral une valeur de $232,15 \text{ kg/m}^3$. Ferreira et al. (2000) a obtenu pour la région de production du bassin du fleuve Sado le liège de littoral du Portugal des chiffres variant de 250 à 279 kg/m^3 .

Plusieurs auteurs attestent que la densité du liège augmente de la plaine en montagne. Cette différence est due probablement aux forts pourcentages des cellules à parois épaisses (liège d'automne) dans le liège de Zariéffet, contre celui de M'Sila caractérisé par la dominance des cellules larges à parois minces (liège de printemps) (Pereira, 2007 ; Famiri et al., 2008).

En ce qui concerne la productivité moyenne sur arbre, elle est de $7,9 \text{ g/cm}^2$ (soit $7,9 \text{ kg/m}^2$) en montagne ($5,6 - 9,1$) contre $7,7 \text{ g/cm}^2$ en littoral. Ces valeurs sont en moyenne inférieures à celles du liège Portugais $8,8 \text{ g/cm}^2$ (Ferreira et al., 2002) et de Jijel $8,3 \text{ g/cm}^2$ (Roula et Messaoudene, 2015) ou un peu supérieures à celles citées par Dehane et al. (2011) pour le liège de Zariéffet ($6,57 \text{ g/cm}^2$) et M'Sila $6,77 \text{ g/cm}^2$.

6.3- Etude des épaisseurs

L'épaisseur du liège est le cumul de la production subéreuse durant une période de 8 à 14 ans. Cette période de production diffère d'une région à une autre. C'est un facteur déterminant pour l'utilisation finale du produit en industrie de bouchonnerie qui est fixé à 27mm sur la croûte. Ceci correspond au diamètre du future bouchon (24X44 mm) (Natividade, 1956 ; IPROCOR, 1994 ; Ferreira et al, 2000 ; Taco et al., 2003).

Les différentes durées du cycle de production ainsi enregistrées rendent toute opération de comparaison entre les 4 subéraies étudiées impossible. Pour cela, nous n'avons considéré que les 10 premières années de croissance du liège sont communes à tous les échantillons provenant de ces 4 subéraies (tab.73).

Tableau 73: Epaisseur (mm) du liège à l'âge de 10 ans dans les 4 subéraies

Forêts		Zarieffet	Zerdeb	Hafir	Moyenne montagne	M'Sila
Moyenne (mm)		26,50	24,17	23,19	25,44	28,49
Flotte (%)	<22 mm	30,43	50,00	33,33	37,92	12,5
Mince (%)	22-27 mm	13,04	35,71	55,56	34,77	37,5
Juste (%)	27-32 mm	21,74	14,29	0	12,01	37,5
Régulier (%)	32-40 mm	34,78	0	11,11	15,30	12,5
Epais (%)	>40 mm	0	0	0	0	0

La production du liège dans la région montagneuse est constituée globalement de 73% des lièges mince et flotte qui sont au dessous de l'épaisseur commerciale contre 50% en littoral. Ce type de liège ne doit pas être exploité car il n'est pas destiné à la fabrication des bouchons. Il nécessite alors plus de temps de croissance. Ces types de liège sont enregistrés plus à Zerdeb (86%) et Hafir (90%).

Les lièges juste (27-32 mm) et régulier (32-40mm) très recherchés en bouchonnerie sont fortement présents dans les échantillons de M'Sila (50%) ; par contre en montagne, ils sont présents avec une proportion moyenne de 27% mais particulièrement dominants à Zarieffet (57%). Ce type de liège génère que très peu de déchets lors du poinçonnage des bouchons de 24 mm (Pereira, 2007). Les lièges épais de calibre supérieur à 40 mm ne sont pas naturellement présents dans cette catégorie d'âge mais nous les trouvons dans des lièges plus âgés (au-delà de 16 ans). Ces lièges sont généralement au-delà de l'épaisseur optimale recherchée. Par conséquent, ils ont des effets négatifs sur le rendement optimal de la production de bouchon (Pereira et al, 1994).

En se basant sur nos résultats et en tenant compte des travaux de certains auteurs tels que ; Ferreira et al. (2000), Dehane (2006), Abbou (2008), Radi (2009), Ghalem (2010) et Dehane (2012), nous pouvons dire que le liège de littoral se distingue de celui de montagne par des épaisseurs plus élevées. En effet, les valeurs moyennes du calibre du liège de M'Sila est égale à celles obtenues par Dehane et al. (2015) pour la même suberaie (28,52 mm). Ces valeurs s'approchent des moyennes obtenues par certains auteurs pour la même zone naturelle comme le liège de Tizi Ouzou avec une moyenne de 26,8 à 33,7 mm (Messaoudene et

Metena, 2010), liège de Jijel avec une moyenne de 27,30- 30,82 mm (Roula, 2010), le liège de Chlef avec 23,7 mm (Kaci, 2010), le liège du Centre Ouest du Portugal avec 33 mm (Ferreira et al., 2000 ; Costa et al., 2002). Pour le liège de montagne, les valeurs moyennes coïncident avec celles obtenues par Dehane et al. (2015) de 29,94 mm à Zariéffet et 20,38 mm à Hafir. Les travaux de Lamey (1893), Boudy (1952), Dehane (2006) et Radi (2009) confirment ainsi ces résultats.

En effet, tous ces résultats nous amènent à dire qu'il ya une influence des caractéristiques des sites sur la croissance en épaisseur du liège. En effet, le gain est toujours au profit du liège de littoral contre son analogue de montagne, grâce aux influences maritimes qui offrent une humidité plus élevée durant toute l'année. Plusieurs auteurs tels que Boudy (1950), Natividade (1956) ; Pereira et al. (1992) et Ezzahiri et al. (2001) confirment cette conclusion et s'accordent à dire que l'épaisseur du liège est modulée par les facteurs stationnels et régionaux. De plus, en littoral, la production du liège est souvent précoce ; elle débute en mois de mars tandis qu'en montagne la régénération du phellogène est imputable au printemps tardifs et aux températures fraîches du mois d'avril (Costa et al., 2003; Costa et al., 2002 ; Oliveira et al., 2002 ; Dehane et al., 2012). Ce décalage de la durée de production influe sur le pourcentage des cellules larges formés en printemps, qui se trouvent dominantes en liège de littoral dite un liège épais (Abbou, 2008 ; Dehane et al., 2011).

6.3.1- Le cycle de production

D'après nos résultats, le liège de montagne demande 12 ans au moins pour qu'il soit parfaitement mûr. C'est un liège élastique, très apprécié par les industriels. En revanche, la maturité du liège de littoral (M'Sila) est précoce grâce à la rapidité de sa croissance, d'où l'exploitation peut être effectuée dès l'âge de 9 à 10 ans. Ces résultats sont similaires à la littérature; Boudy (1950) ; Natividade (1956) ; Caritat et al. (2000) ; Costa et al., (2001) ; (2003) ; Dehane (2006) ; Ghalem (2010) et Dehane et al. (2011). Ces auteurs affirment que le cycle de production du liège en littoral est plus court qu'en montagne du fait de la précocité et la rapidité de sa croissance.

En général, nous constatons que le rythme de croissance diminue avec l'âge ; pour cela il est préférable d'exploiter l'écorce du liège dès qu'elle atteint son épaisseur commerciale. Toute année de croissance hors du cycle de production est considérée comme une perte de production et d'économie.

D'après l'étude comparative entre le liège de Zariéffet et celui de Benavente (Portugal), le cycle de récolte adapté dans la suberaie de Zariéffet doit être prolongé vue que le rythme de croissance annuel est de 3,1 mm/an contre 3,6 mm/an en Portugal. De cette façon, nous gagnerons une utilisation productive plus durable de la suberaie, en maintenant leur résilience écologique à la récolte de liège et à une bonne adaptation aux milieux méditerranéens (Ghalem et al., 2016).

6.4- Etude de la croissance du liège

L'étude de la croissance du liège au cours d'un cycle de production, montre des variations interannuelles assez importantes entre les arbres de la même suberaie et entre les sites. Cette grande variabilité semble être tributaire à la fois à un ensemble de facteurs intrinsèques liés à l'arbre lui-même et extrinsèques liés à la station (Oliveira et al., 1994 ; Courtois et Masson, 1999 ; Canellas et Montero, 2002).

La valeur moyenne de la largeur d'accroissement annuel durant les 10 années de croissance complète oscille entre 2,81 mm/an en montagne à 3,16 mm/an en littoral. Ce résultat corrobore avec celui de Ferreira et al.(2000) ; Oliveira et al. (2002) ; Dehane et al. (2011), qui confirment que le liège de littoral est caractérisé par des accroissements annuels plus larges que celui de la montagne. Cette différence est due principalement au nombre de cellules pour chaque accroissement ; les cellules de printemps à large dimension sont plus élevées dans le liège de littoral par rapport à celui de montagne. Ce dernier est caractérisé par la dominance du liège d'automne à petites cellules (Pereira et al., 1992 ; Oliveira et al., 2002; Dehane, 2006 ; Pereira, 2007; Abbou, 2008).

Toutefois, la différence de vitesse de croissance du liège dans les deux zones géographiques est due à l'activité physiologique de l'arbre, qui est plus avancée en littoral. Ceci marque un décalage d'un mois qui entraîne plus de croissance mensuelle de la première phase (Ezzahiri et al., 2001 ; Costa et al., 2002 ; Costa et al., 2004 ; Oliviera et al., 2002). Dans les conditions de xéricité excessive, le déficit hydrique agit sur la teneur de K ce qui va influencer la division cellulaire et par conséquent sur le bon fonctionnement du phellogène. Les conséquences de telle disfonctionnement s'observent au niveau de la bonne qualité de liège (épaisseur-porosité- défauts) durant un cycle de croissance de 10 ans à 12 ans (Courtois et Masson, 1998 ; Costa et al., 2008 ; Dehane, 2012).

Le liège en montagne se caractérise par la lenteur de sa croissance notamment dans la suberaie de Zerdeb. En revanche, dans les suberaies de Zariéffet et Hafir qui constituent un massif continu, le liège croît avec un même rythme, car elles sont influencées par les mêmes conditions écologiques, pédologiques et climatiques. Certaines études ont confirmé que la production de liège de reproduction de littoral est favorablement influencée par les fortes humidités maritimes durant toute l'année dans cette zone (Orgeas et Bonin, 1996 ; Robert et al., 1996).

En ce qui concerne la tendance globale de la croissance du liège, elle suit les mêmes fluctuations du rythme de croissance décrite par Boudy (1950), qui atteste que la croissance du liège est élevée durant les 5 à 6 premières années. Alors que, Natividade (1956), Pereira et al. (1992) et Costa et al. (2002) ont attribué l'importance des premiers accroissements à l'excitation provoquée par le déliègeage. Par la suite, la largeur des accroissements diminue progressivement jusqu'au point de devenir identique à ceux du liège mâle au bout d'une période estimée de 20 ans. Saccardy (1937), dénote qu'en Algérie, l'accroissement du liège de reproduction peut atteindre 3,8 à 3,11 mm/an lors des 2^{ème} et 3^{ème} années après le démasclage, puis il diminue progressivement pour atteindre 1,5 mm à la 10^{ème} année. Autrement dit, 60% de l'épaisseur du liège est produite durant les 5 premières années

de croissance, caractérisées par des larges accroissements. Elle diminue à partir de la 6^{ème} année du cycle (Boudy, 1952 ; Pereira et al., 1992 ; Ferreira et al., 2000). Pour cela, l'importante perte de production est constatée durant les premières années de croissance puis elle s'accroît avec l'âge du liège.

6.4.1-Les facteurs influençant la production du liège sur arbre

Plusieurs auteurs attestent que la grande variabilité de la production du liège entre les arbres de la même suberaie est due d'une part à l'intervention des facteurs extérieurs du milieu (profondeur du sol, altitude, exposition, densité du peuplement, le sous bois, ect.) et d'autre part par l'effet prépondérant de l'arbre comme source de variation (génétique, provenance, capacité d'accomplir assez différemment ses disponibilités alimentaires) (Boudy, 1950 ; Oliveira et al., 1994 ; Ferreira et al., 2000 ; Oliveira et al., 2002 ; Sánchez-González et al., 2005).

6.4.1.1- Etat sanitaire

A cause d'une altération sanitaire de l'arbre, le fonctionnement de l'assise suberophellodermique est perturbé, ce qui cause une diminution de la largeur des accroissements annuels de liège et un retard d'environ un mois dans la croissance du printemps (Costa et al., 2004). Selon Costa et al. (2004), l'épaisseur de liège obtenue à partir des arbres affaiblis est réduite de 16 % de moins. Cette dépréciation est plus accentuée en montagne, où la perte peut atteindre jusqu'à 27% (Dehane et al., 2011). Autrement dit, l'exploitation doit être effectuée en cas de problème de santé à partir de 13 ans en littoral et 15 ans en montagne (Ghalem, 2010). Mais, en cas d'affaiblissement avancé, l'exploitation du liège devient plus difficile voire impossible sur des arbres dépérissants. L'exploitation de ces sujets peut causer un stress supplémentaire à l'arbre et pouvant le conduire à la mortalité.

6.4.1.2- Age de l'arbre et âge du liège

Les épaisseurs des planches du liège du même âge sont influencées par la différence du rythme de croissance indiqué par la largeur des cernes annuels. Les épaisseurs larges ont d'environ 22% de plus de largeurs des cellules que les cellules dans les lièges aux épaisseurs minces (Pereira et al., 1992).

En plus, une amélioration rapide des épaisseurs et de la qualité du liège est constatée après les premières opérations de récolte puis elle décroît plutôt à la 5^{ème} ou 6^{ème} récolte (fig.111). Cela s'accroît beaucoup avec le temps surtout à partir de la 11^{ème} récolte (Natividade, 1956 ; Courtois et Masson, 1999 ; Canellas et Montero, 2002). Plus en augmente dans la hauteur de l'arbre et plus l'épaisseur du liège diminue (Natividade, 1956 ; Montero et Vallejo, 1990 ; Taco et al., 2003 et Pereira, 2007).

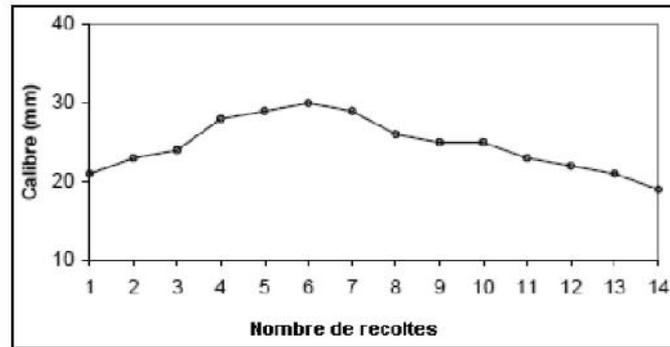


Figure 111: Variation des épaisseurs du liège produit par le même arbre durant 14 récoltes successives (Natividade, 1956)

6.4.1.3- Facteurs stationnels

La croissance et le rendement du chêne liège sont souvent sous l'influence des conditions du milieu et le mode de gestion sylvo-pastorale. La production est élevée dans les stations humides et aux sols fertiles que celles à climat sec et aux sols pauvres. Parmi les principaux facteurs climatiques agissant sur la croissance nous citons : la sécheresse d'été, les températures annuelles, les précipitations printanières et les précipitations automne-hiver (Montero, 1987 ; Pereira et al., 1992 ; Caritat et al., 2000 ; Ferreira et al., 2000 ; Oliveira et al., 2002 ; Sánchez-González et al., 2005 ; Costa et al., 2008).

De plus, une grande variabilité de l'épaisseur du liège est associée à des attributs d'arbres non observables, probablement liés à la génétique de l'arbre (Ferreira et al., 2000 ; Oliveira et al., 2002 ; Sánchez-González et al., 2005).

6.4.1.4- Impact du climat sur les accroissement du liège

Plusieurs auteurs se rejoignent pour dire que la croissance du chêne liège y compris la croissance du liège qui prend 80% de la croissance radiale de l'arbre est très influencée par les variations interannuelles et saisonnières des précipitations. Par contre le facteur thermique ne joue qu'un rôle mineur même en altitude par rapport au facteur pluviométrique (Caritat et al., 1996 ; 2000 ; Costa et al., 2002 ; 2003 ; Ennajah et al., 2010).

En général, les résultats obtenus ne montrent pas une corrélation significative entre la croissance du liège et les précipitations mensuelles courantes ou précédentes. Les seuls exceptions sont enregistrées dans les corrélations négatives pour les pluies d'automne du mois d'octobre en montagne et novembre en littoral, et positives avec les précipitations des mois de janvier et août à M'Sila, d'août et novembre à Zariéffet et janvier et septembre à Hafir (tab. 71). D'après plusieurs auteurs en l'occurrence Caritat et al. (1996 et 2000) ; Costat et al. (2002), les corrélations négatives avec les précipitations estivales durant l'année qui précède la croissance montrent que celles ci peuvent être utilisées immédiatement pendant la période de croissance sèche, en profitant de la température chaude et de la photosynthèse élevée. Ces conclusions concordent avec celles des trois suberaies étudiées. Il s'agit des températures du mois de juillet à Zariéffet, de juin à août à Hafir et le mois d'août à M'Sila (tab.74). Une

exception est marquée pour la croissance du liège de Zariéffet qui corrèle négativement avec les pluies du mois d'août et le mois de juillet à Hafir. Ce phénomène peut être lié à l'influence des pluies sur la fructification des arbres au détriment de la production du liège (Ennajah et al., 2010). Selon Fialho et al. (2000) ; Oliveira et al. (2000) .La croissance du liège diminue en mois d'août par rapport à juillet suivie par une légère augmentation en septembre ; ceci est remarqué dans les deux subéraies de montagnes.

En effet, pendant la période sèche, le système racinaire de l'arbre contribue à sécuriser l'absorption de l'eau du sol pour maintenir sa transpiration et sa croissance. Nous savons que la croissance des lièges ne s'arrête pas mais diminue à des valeurs très faibles, lorsque la sécheresse estivale devient trop sévère (Braun-Blanquet et al., 1950 ; Natividade, 1956 ; Quezel et Bonin, 1980 ; Oliveira et al., 1994 ; Costa et al., 2002 ; 2016).

Tableau 74: les corrélations significatives entre les précipitations mensuelles et l'indice de croissance du liège

	Zariéffet	Hafir	M'Sila
Année t	Mai r=0,33 Octobre r=-0,40	Janvier r= 0,84 Septembre r= 0,75 Octobre r=-0,78	Janvier r= 0,78 Août r= 0,76 Novembre r=-0,68
Année t-1	Juillet r=-0,52 Août r=0,61 Novembre r= 0,66	Avril r=-0,68 Juin r=-0,73 Juillet r=0,95 Août r=-0,86 Décembre r=0,66	Août r=-0,64 Septembre r= 0,70

Les résultats d'analyse des précipitations accumulées pendant certaines périodes choisies, montre une corrélation significativement élevée avec l'indice de croissance du liège pour certains cas. Il s'agit en effet, des périodes comprenant les mois de l'hiver, du printemps et du début de l'été. Toutefois, selon Oliveira et al.(2002) pour le liège montagnard Portugais, les précipitations du printemps ont un effet positif sur la croissance radiale de l'arbre et même sur la croissance du liège. Ceci corrobore les résultats du liège de montagne de Zariéffet et Hafir.

L'analyse des relations cernes-climat a mis en évidence l'influence très marquée des précipitations de la période de janvier à juin sur la croissance du liège surtout à Hafir et M'Sila (fig.112). Ceci est du peut être à l'apport d'eau au cours de cette période primordiale pour la formation des premières feuilles et la majeure partie du cerne annuel.

Selon Oliveira et al. (1994), la croissance radiale du chêne-liège dans le Sud-ouest du Portugal démarre en avril en même temps que la croissance en longueur mais voit son taux limité par des conditions d'humidité trop élevées. En effet, Zeraia (1981) et Messaoudene (1989) indiquent que l'essentiel du cerne est formé en mai-juin dans les chênaies d'Algérie. En Tunisie, sous des conditions hydriques plus modestes qu'au Portugal, les processus d'initiation des pousses terminales et d'élongation cellulaire nécessitent un apport d'eau important (Ennajah et al., 2010). En général, la majeure partie de la croissance de l'arbre se

produit à la fin du printemps et l'été, lorsque le climat est chaud et que les précipitations atteignent leur minimum (Zhang et Romane, 1991 ; Oliveira et al., 1996).

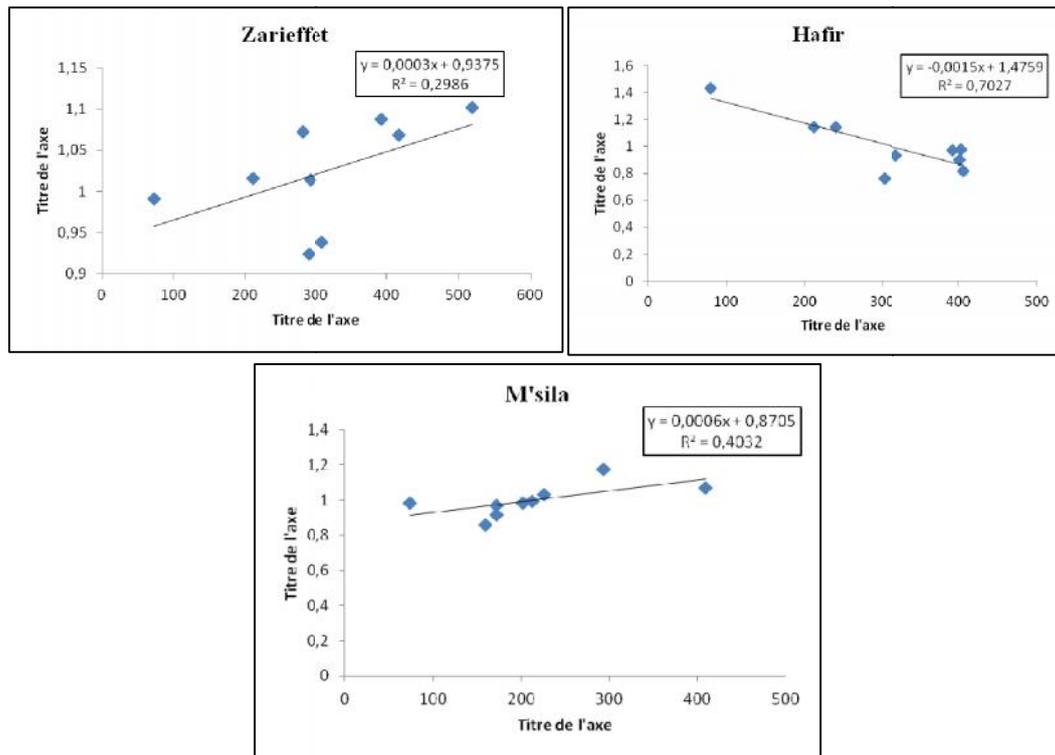


Figure 112 : Relation entre l'indice d'accroissement du liège durant 10 années de croissance à Zariéffet, Hafir et M'Sila et les précipitations cumuléés durant la période Janvier-Juin

En outre, les saisons d'automne et d'hiver de l'année précédente sont plus importantes dans la croissance du liège (Nv^{-1} -Juin, Nv^{-1} -Jt, Nv^{-1} -Sep, Nv^{-1} -Oct). Ceci confirme les résultats du Caritat et al. (1996) pour le liège Portugais. Mais ce n'est pas le cas pour la suberaie de littorale de M'Sila où les périodes les plus significatives dans la croissance du liège sont janvier-juin et janvier-juillet et la corrélation entre les pluies novembre⁻¹-juin n'a pas été améliorée par rapport aux précipitations janvier-juin. Autrement dit, le cumule des précipitations des années antérieures ne montre pas une corrélation significative. Ce fait est peut être lié au sol sablonneux caractérisé par une faible capacité de rétention de l'eau selon Costat et al. (2001). De plus, les pluviométries inférieures à la moyenne durant l'hiver précédent et les températures printanières diminuent la croissance des arbres de l'année en cours (Costa et al., 2002).

D'une manière générale, la croissance de l'arbre a montré un schéma saisonnier clair au cours de l'année avec un maximum de juin à juillet. Les facteurs climatiques ont influencé la répartition mensuelle de la croissance. Selon Zhang et Romane (1991) ; Caritat et al., (1996) ; Caritat et al., (2000) ; Costat et al., (2002) ; Oliveira et al., (2002) ; Costa et al., (2004) ; la croissance au début du printemps est renforcée par les pluies d'hiver, alors que la croissance de l'automne est augmentée par les fortes pluies d'été et les incréments de juin par des températures élevées au cours de ce mois. Les précipitations d'été sont utilisées

immédiatement durant la période sèche avec l'avantage des températures élevée et l'augmentation de la photosynthèse.

En ce qui concerne le caractère partiel des années à cernes épais ou minces (fig.113), nombreux travaux de recherche expliquent que ceci est du aux différentes réactions des peuplements vis-à-vis des facteurs du milieu (Serre-Bachet, 1983 ; Zhang et Romane, 1991). En effet, un cerne caractéristique pourrait être attribué en majorité à des extrêmes climatiques, en l'occurrence aux années humides ou au contraire aux années sèches (Zhang et Romane , 1991 ; Safar, 1994 ; Costat et al., 2002 ; El Khorchani et al., 2007).

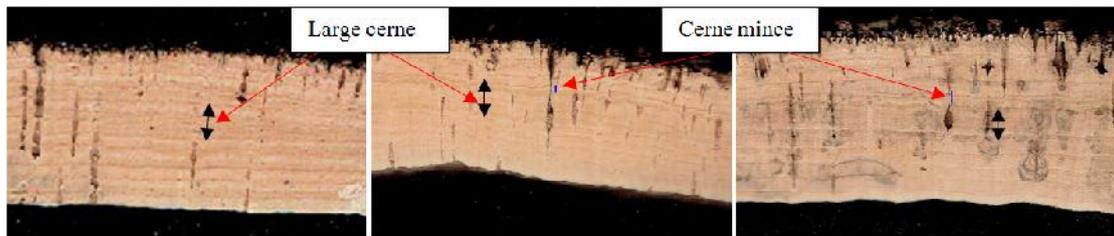


Figure 113: Distinction des cernes larges et minces dans trois échantillons du liège de Hafir (original)

Dans notre étude, le cerne caractéristique est nettement observé dans le liège de Hafir où il correspond à l'année 2009. C'est un accroissement très large recensé dans la totalité des échantillons. En effet, les précipitations annuelles recensées durant cette année sont de 610 mm ce qui est proche de la moyenne durant la période d'étude 620 mm. Ceci nous permet à dire que ce large accroissement est du aux cumules des mois de l'année antérieure (fig.114) notamment le cumule des périodes de **Novembre⁻¹- Juin, Novembre⁻¹-Juillet, Novembre⁻¹-Septembre, Novembre⁻¹-Octobre, Octobre⁻¹-Juin, Octobre⁻¹-Juillet, Octobre⁻¹-Septembre, Octobre⁻¹-Decembre**. Costa et al.(2001), accorde que la croissance du liège est pluvio-dépendante dont les accroissements larges sont liés aux précipitations hivernales de l'année courante.

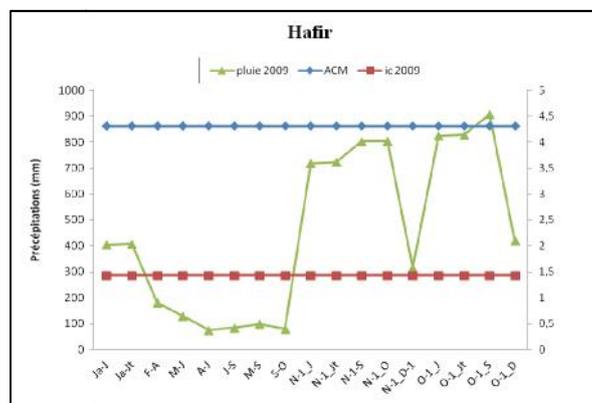


Figure 114: Relation entre indice de croissance et accroissement courant annuel de l'année 2009 et le cumule des précipitations au cours de l'année et l'année précédente

Malgré que, l'année 2005 est une année sèche à Hafir et M'Sila durant le cycle de production mais l'épaisseur du cerne durant cette année est large. Cette largeur est le résultat des conditions favorables de l'année 2004, soit la deuxième année de croissance. Alors que, plusieurs auteurs confirment que durant les premières années, l'activité du phellogène est très élevée et l'arbre du chêne liège répond au stress de déliègeage ce qui néglige l'effet du climat pour cette année.

En plus, l'année qui suit le déliègeage ne synchronise donc pas souvent avec les précipitations à cause du traumatisme causé à l'arbre suite à l'opération d'écorçage de l'arbre. Ceci est nettement remarqué dans le liège de Hafir. Cette année est indépendante aux facteurs externes et s'attache plus à la réponse physiologique de l'arbre, qui entraîne une fermeture stomatique pour conserver de l'eau. Elle est suivie par une réduction de la croissance radiale associée à une augmentation de la production du liège au cours des 2-3 années suivantes (Oliveira et al., 1994 ; Caritat et al., 1996 ; Gourlay et Pereira, 1998 ; Costa et al., 2001 ; Oliveira et al., 2002 ; Costa et al., 2016).

En région méditerranéenne, la croissance est souvent pluvio-dépendante bien qu'un effet négatif des températures soit fréquemment observées. Pour le chêne liège, le facteur thermique ne joue qu'un rôle mineur, même pour les populations d'altitude, alors que, les faibles températures limitent la croissance radiale (Fritts et Swetnam, 1989 ; Costa et al., 2004 ; Ennajah et al., 2010 ; Lebourgeois et Merian, 2012).

En ce qui concerne la croissance du liège face à la température mensuelle, elle est corrélée négativement avec la croissance du diamètre en forte sécheresse estivale (août) mais elle est corrélée positivement au début de l'activité physiologique (mars) (Costa et al., 2001). Les températures d'automne et d'hiver de l'année courante influent positivement sur la croissance du liège. Elle est remarquée par la corrélation positive du mois d'octobre et février à Hafir et Zariéffet. Tandis que, les températures du mois de décembre se corrélaient négativement avec le liège de Zariéffet. Les températures du printemps précédent corrélaient positivement avec l'indice de croissance du liège de Hafir. Ce dernier résultat est conforme à celle d'Oliveira et al. (2002).

Les relations inverses avec les températures printanières et estivales peuvent être interprétées en termes de stress hydrique lié à une évapotranspiration accrue. Plus les températures sont élevées, plus l'évapotranspiration augmente et moins de divisions cellulaires se produisent, et inversement. Ce stress intervient lors de la phase de sécheresse.

Les corrélations positives pour les températures d'hiver de l'année courante recensé à M'Sila contredit les résultats publiés par Caritat et al. (1996) qui atteste que les températures élevées pendant l'hiver, accompagné des précipitations élevées, ne sont pas favorables à la croissance du diamètre déjà rapportée pour la croissance du liège. D'autres recherches montrent des résultats similaires d'une corrélation avec une température inférieure à celle des précipitations (Caritat et al., 1996, 2000 ; Ferreira et al., 1998).

La croissance du printemps a été négativement corrélée à la température actuelle ou antérieure ce qui est due peut être à l'activité physiologique de l'arbre durant cette saison qui

se caractérise par l'apparition du feuillage et leur élongation, croissance des branches, ect. Ceci classe la croissance du liège pour les mois qui suivent (Caritat et al., 2000 ; Fialho et al., 2000 ; Oliveira et al., 2002).

6.5-La qualité du liège

La qualité d'une planche de liège est déterminante pour son aptitude au bouchonnage et pour la valorisation du produit. Elle est établie principalement selon la porosité due à la présence des canaux lenticulaires qui traversent les planches de liège radialement, du phellogène jusqu'à l'extérieur (Pereira et al., 1994 ; Pereira et al., 1996 ; Costa et Pereira, 2007). Mais la présence de quelques défauts, par exemple, les galeries d'insectes, les inclusions ligneuses, le liège vert, la tache jaune, ect, dévalorisent fortement le liège (Gonzales-Adrados et Pereira, 1996).

La connaissance de l'épaisseur et de la qualité du liège est donc importante pour le producteur car ce sont ces deux facteurs déterminants pour la valorisation du produit. Ceci a mené à la récente utilisation des méthodes d'analyse d'image qui permet d'éliminer la subjectivité dans la détermination de la qualité du liège pour mieux définir son prix et la classification du liège. Ceci est bénéfique au niveau de la fiabilité du contrôle et de la rapidité de décision (Gonzales-Adrados et Pereira, 1996 ; Pereira et al., 1996 ; Pereira, 1998 ; Ferreira et al., 2000 ; Gonzales-Adrados et al., 2000).

6.5.1- Etude de la porosité

L'étude de la porosité du liège a montré une grande variabilité des paramètres étudiés entre le liège Algérien et celui Portugais. En effet, le coefficient de variation est plus élevé à Zariéffet (48%) et Benavente (Portugal : 62%) contre 26% Zerdeb. Donc, dans la même suberaie nous pouvons trouver des arbres producteurs du liège de bonne qualité et d'autres de liège de mauvaise qualité.

Selon certains auteurs, la formation des pores est liée directement au caractère individuel de l'arbre, qui suggère l'apport génétique dans la détermination de l'anatomie et le nombre des lenticelles, indépendamment des conditions du milieu et de l'état physiologique de l'arbre. Donc un arbre habitué à donner du liège aux grands pores restera durant toute sa vie à donner ce type de pores (Ferreira et al., 2000 ; Aloui et al., 2006). Alors que, d'autres auteurs prouvent que la formation des lenticelles est sous l'influence directe des conditions du milieu, la nature du sol, la densité, l'état sanitaire des arbres... (Montoya, 1988 ; Ferreira et al., 2000 ; Pereira, 2007).

Un arbre du chêne liège se caractérise donc par un grand polymorphisme génétique à l'intérieur des populations que les autres espèces du chêne (Boudy, 1950 ; Valdecantos et Rosello, 1995 ; Nsibi et al., 2005 ; Gandour et al., 2007). Cette variabilité génétique est très prononcée en Algérie (Gandour et al., 2007 ; Simeone et al., 2010) et plus particulièrement dans la région Nord Ouest Algérie (Simeone et al., 2010).

La valeur moyenne du coefficient de porosité du liège de Zariéffet et Zerdeb varie de 9,2% à 10,30% contre 13,9% dans le liège portugais de Benavente. Ceci classe donc le liège

dans le type très poreux avec une grande dispersion dans les échantillons de Zariéffet et Benavente. Ces valeurs entrent dans les limites fixées par Pereira et al.(1996), pour la section transversale 2,1-16,4%.

D'après ces auteurs, la porosité dans la section transversale est plus élevée que dans la section tangentielle. Alors que, nos résultats ne coïncident pas avec ceux de Ferreira et al. (2000) pour le liège Portugais qui ont donné une valeur de 4,6%. A l'ouest algérien Ghalem (2010) a déjà classé le liège de Zariéffet dans la catégorie de liège moins poreux (2,85%) au même titre que Dehane et al. (2011) avec 4,5%. Par contre, nos actuels résultats rapprochent de ceux de Roula (2010) pour le liège de Jijel (11,23%) et Aloui et al. (2006) pour le liège littoral de la Tunisie (9,13%).

En plus, les valeurs du coefficient de porosité de cette étude rapprochent des résultats du liège déperissant de M'Sila oscillant entre 8,11% et 10,43% (Ghalem, 2010 ; Dehane, 2012). Ces résultats semblent en accord avec ceux de Natividade (1956) et Montoya (1988) qui signalent que la dégradation de l'état sanitaire des arbres augmente le processus de formation des lenticelles dans le liège et par conséquent, engendre une baisse de qualité du liège. Selon Bossuet (1988), la forte concurrence entre les arbres de la même station influe négativement sur la qualité du liège. Cette situation se présente au niveau des parcelles exploitées du liège de Zariéffet en 2010. D'autres auteurs tels que ; Orgeas et Bonin (1996) et Courtois et Masson (1999) ajoutent que l'amélioration de la croissance du liège est attribuée à l'augmentation de la disponibilité de l'eau et des éléments limitant comme l'azote, le phosphore et le potassium, d'où les fortes teneurs en potassium favorisent la division cellulaire et par conséquent la croissance des végétaux. En effet, certains arbres se montrent indifférents aux facteurs du milieu et se lient intimement à l'aptitude génétique de l'arbre.

De plus, la qualité du liège tend à s'améliorer avec l'âge de l'arbre ; elle s'améliore à partir de la 3^{ème} récolte jusqu'à certaines limites (Natividade, 1956). Dans notre cas, la subéraie est constituée des vieux arbres qui ont subi plusieurs opérations de récolte de 1963-2010 (même avant) à Zariéffet et de 1976 à 2011 à Zerdeb. Les peuplements sont fortement embroussaillés, avec des sols tassés par le pâturage, ce qui agit négativement sur la teneur en eau du sol et sur la stabilité des réserves hydriques suite à la concurrence permanente des autres végétaux.

Sur le plan caractéristique de la concentration des pores, le liège de Zerdeb présente un nombre moyen plus faible de l'ordre de 236 pores par 100 cm² en comparant avec celles de Benavente (250 pores/cm²) et Zariéffet (280 pores/cm²). Ceci rentre dans les limites décrites par Pereira et al.(1996) pour la section transversale (142-508 pores/cm²). Les pores au dessus de 2 mm² ont la contribution la plus importante dans le liège de Benavente par rapport à ceux de Zerdeb et Zariéffet.

Toutefois, la valeur du coefficient de porosité est influencée par la surface des pores plus que par leur nombre, d'où les petits pores (<2mm²) représentent généralement 75% du nombre total des pores. Moins de 20% de la surface totale des pores est représenté par les pores à superficie >2 mm² ; mais ces derniers influent plus sur la porosité (Costa et Pereira, 2010). Cependant, à Benavente, il y a aussi des pores plus grands que dans Zariéffet et cela

est très préjudiciable pour la qualité du bouchon, ce qui explique la valeur élevée du coefficient de porosité à Benavente qu'à Zarieffet et Zerdeb (fig.115).

En effet, la surface de porosité élevée trouvée dans le liège de Benavente, par rapport à celui de Zarieffet, est entraînée par les grands pores que par les petits pores (inférieure à 2 mm²), autrement dit que la petite porosité n'est pas aussi préjudiciable pour la qualité des planches de liège que la porosité plus grande du liège (fig.115). Toutefois, une planche ayant un grand nombre de pores de petites surfaces est considérée de bonne qualité qu'une planche de petits pores à grande surface.

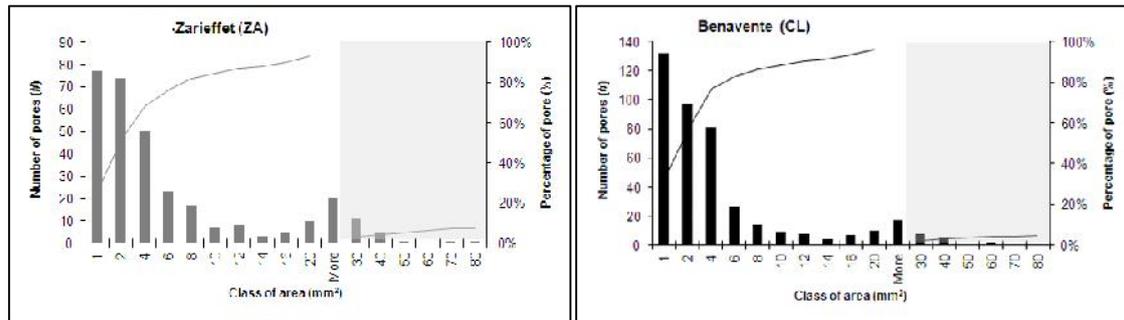


Figure 115: Distribution du nombre des pores par superficie des pores dans tous les échantillons de liège de Zarieffet (ZA) et Benavente (CL)

Les caractéristiques de forme des pores sont similaires dans les deux subéeraies Algériennes, dont les pores sont 5 à 6 fois plus longs que larges, alors que la forme des pores du liège de Benavente (Portugal) concorde avec les résultats de Ferreira et al.(2000). Ces auteurs ont recensé des pores 4 fois plus longs que larges dans la section transversale du liège Portugais. Ceci est dû aux épaisseurs élevées du liège algérien qui donne un aspect de longueur plus aux pores.

Les pores sont caractérisés par un contour plutôt irrégulier et une forme non circulaire dans le liège étudié. Nos résultats concordent bien avec ceux de Ferreira et al.(2000) et Pereira et al.(1996) qui affirment que les pores dans la section transversale sont d'une forme irrégulière et ellipsoïde avec un facteur de forme de 0,62 et un facteur de géométrie 0,49. La variation de la forme des pores est très prononcée à Zarieffet avec une valeur élevée du coefficient de variation de 77% contre seulement 51% à Zerdeb.

En ce qui concerne l'orientation angulaire des pores, elle est verticale (90°) à Zerdeb à incliné (79°) à Zarieffet, ce qui coïncident avec les résultats de Pereira et al.(1996) ; Ferreira et al.(2000) ; Gonzalez Adrados et al.(2000) ; Dehane (2012).

Cependant, la porosité trouvée dans la section transversale des échantillons des lièges de Zarieffet et Benavente est cohérente aux techniques typiques de perforation des bouchons de liège naturels. Dans cette zone, les canaux lenticulaires et la porosité ont une caractéristique plus remarquable ; elle est plus faible par rapport au liège près de la croûte (anciennes couches de liège).

En fin, dans toutes les suberaies, il y a des arbres producteurs du liège de bonne qualité et ceux de rebuts. Cette variabilité de la qualité du liège dans le même peuplement est très prononcée en Algérie à cause de l'absence des travaux sylvicole d'entretien aggravée par l'effet génétique de l'arbre. Ce dernier est la source de la variabilité de la qualité du liège en Portugal.

6.5.2- Les défauts du liège et des bouchons

Les défauts qui dévaluent la qualité du liège sont directement liés à l'utilisation du bouchon (par exemple : les galeries d'insectes, les soufflures, la présence de tissus lignés...) qui réduisent sa qualité. En effet, d'après l'examen visuel du liège des 5 provenances nous constatons que le liège de littoral abrite plus de défauts naturels que celui de montagne. Ces résultats confirment ceux de Natividade (1956) ; Dehane (2012).

6.5.2.1- Les défauts phytopathologiques ; ce sont des anomalies liés à l'attaque des agents pathogènes qui causent généralement des troubles dans le fonctionnement du phellogène tel que les défoliateurs *Lymantria dispar L* ou microbienne, tel *Armillaria mellea*. Parmi ces défaut, nous citons ;

- La tache jaune**, est le défaut le plus redoutable par les industriels. Le liège en question est impropre à la fabrication des bouchons puisque il lui donne un goût de moisi (TCA) (Arnaudies et Piazzetta, 2006). Il se trouve plus dans le liège de littoral (M'Sila et Skikda) et avec un degré moindre en montagne (Zarieffet). Il est cependant présent dans 60% des bouchons de Skikda contre 5% à Zarieffet.
- Tache noire (liège marbré) :** ce défaut diminue la valeur commerciale du bouchon ; il provient de l'attaque d'un champignon *Melophia Ophiospora*, ou bien de la réaction de sels de fer avec des tanins. Il est fortement recensé dans le liège de Zarieffet d'où 40% des bouchons produit contient ce défaut et 5% des bouchons de Skikda et 5% de Zerdeb. L'implication de ce champignon dans l'apparition de cette tache dans le liège se base sur des études mycologiques plus approfondies qui sont absentes à ce jour. Les résultats de la mycoflore réalisée sur les planches de liège de M'Sila et Hafir avant et après bouillage et sur les bouchons ne signalent pas ce champignon par Belhoucine et al. (2012). Même, la liste des champignons identifiés à M'Sila et véhiculés par *Platypus cylindrus*, ne cite pas ce champignon (Belhoucine, 2013).
- Trous d'insectes :** ce défaut apparait sous forme de galeries profondes distribuées aléatoirement dans la masse du liège. C'est un défaut plus ou moins gênant selon son emplacement. Il est présent dans les lièges de Zarieffet et Hafir en montagne et Skikda en littoral (IML, 2004). Prés de 10 % à 15% des bouchons du liège de Zerdeb et Skikda contient ce défaut respectivement.
- Liège doublé ou exfoliation :** ce défaut est du généralement aux attaques du défoliateur *Lymantria dispar L* ou à cause de l'action destructrice du feu ou de la chaleur intense (sirocco). Les bouchons réalisés de ce type de liège présentent des défauts d'étanchéité. Ce type de défaut est fortement recensé dans le liège de Hafir et prés de 2% des bouchons du liège de Zerdeb. Dans notre cas et en absence de toute trace de la spongieuse, la cause

essentielle de la formation d'une couche doublée est le feu qui a parcouru à plusieurs reprises la forêt de Zerdeb.

6.5.2.2- Les défauts physiologiques : ce sont des anomalies liés au trouble de fonctionnement de phellogène ; ils déprécient trop la qualité du liège. La présence et l'ampleur du défaut rend le liège impropre à la fabrication des bouchons. Ce type de défaut est fortement présent dans le liège de littoral mais avec un degré moins en liège de montagne.

-)] **Liège terreux :** il est due à un trouble dans le fonctionnement du phellogène qui aboutit à remplacer une partie du suber proprement dite par le tissu pulvérulent des lenticelles. Ceci est à cause des facteurs externes du milieu. Il est présent dans le liège de Zerdeb (10%), Zariéffet (4%) et Skikda (%), avec un certain pourcentage dans les bouchons dans cette dernière forêt.
-)] **Liège ligneux:** ce défaut est causé par des inclusions de sclérenchyme dans le tissu de liège qui le rend plus dur et plus dense et inapte au bouchonnage à cause du tissu lignifié qui peut casser la bouteille. Ce type de défaut caractérise le liège de Skikda (9%) et Zerdeb (4%).

6.5.2.3- Les défauts génétiques : ce sont des défauts naturels liés généralement au rythme de croissance de l'arbre. Ils ont une faible influence sur la qualité du liège telle que la fente, le ventre irrégulier et l'excès de croûte

-)] **Les soufflures :** ils se produisent dans les tissus à croissance rapide avec des parois minces. Lorsque les parois cellulaires s'effondrent, les cellules adjacentes se fusionnent sous la double action de la tension des couches subéreuses et du retrait imposé par la dessiccation. Trop nombreuses crevasses rendent le liège impropre à la fabrication des bouchons. Ce défaut est trop présent dans le liège de Skikda caractérisé par la rapidité de sa croissance, et faiblement présent dans le liège de montagne.
-)] **La croûte épaisse :** c'est un défaut très fréquent dans le liège de montagne (Zariéffet, Hafir et Zerdeb). Il est caractérisé par la lenteur de sa croissance qui impose un travail supplémentaire dans le processus de transformation notamment durant l'opération de raclage.
-)] **La fente :** c'est une fissure naturelle mince dans la section transversale du liège, mais plus qu'elle est large ou profonde réduit la qualité du liège. Les fentes profondes sont fréquemment recensées dans le liège de Skikda et Zariéffet.
-)] **Le ventre irrégulier :** il provoque une difficulté dans la perforation des bouchons qui se fait près du ventre.

6.5.2.4- Facteurs externes abiotiques : il s'agit des actions des facteurs de milieu tels que l'humidité, la sécheresse, le passage d'incendie, ect.

-)] **Liège Vert :** il est présent dans les zones avec une teneur en humidité élevée. Lors du séchage, le liège se rétrécit. Il est refusé dans la fabrication des bouchons puisqu'il

diminue l'élasticité du bouchon. Ce type de défaut se présente dans le liège de Zarieffet et Hafir en montagne et dans les deux subéraies de littorale (M'Sila et Skikda).

- J) **Tache bleue** : c'est un défaut mineur qui n'influe pas sur la qualité du produit final. Il est souvent dû à l'eau bouillante ou à la scie de découpage des bandes de liège. Ce type de défaut est souvent recensé sur les échantillons de Zarieffet, M'Sila et Skikda.

6.5.3- La qualité du liège

Actuellement, la classification des planches de liège par classe de qualité dans l'industrie est faite par l'observation visuelle d'un opérateur spécialisé. Elle est réalisée en six classes (Anonyme, 2006). L'opération de classification automatique n'a été introduite jusqu'ici que pour les bouchons (après la production) par analyse d'image de leur surface latérale. Cependant, cette classification automatisée est utilisée dans les industries Espagnole et Portugaise.

D'après les résultats de la classification en qualité des planches de liège de Zarieffet et Zerdeb, nous constatons que le liège de bonne qualité (1^{ère}-3^{ème}) est plus présenté à Zarieffet qu'à Zerdeb ce qui confirme les résultats de Dehane (2012). Ce dernier présente peu de défauts qui ont une influence mineure sur la qualité du liège. Le coefficient de porosité de cette classe de qualité oscille de 3,13% (Zarieffet) à 4,45% (Zerdeb). Ceci confirme les résultats de Pereira et al.(1996).

Le liège de moyenne qualité regroupe le liège de 4^{ème} et 5^{ème} qualité. Il est fortement présent à Zerdeb qu'à Zarieffet, alors que, le coefficient de porosité varie de 5,92% à 5,10% respectivement. Ces valeurs sont inférieures à celles signalées par Pereira et al.(1996) de 6,7%. Dans cette catégorie, nous notons la présence des défauts influençant sur la qualité du liège comme l'exfoliation, les taches jaune et noire, le liège vert et terreux, les trous d'insectes et les inclusions boisés.

Le liège de faible qualité (6^{ème}), regroupe plus de défauts plus particulièrement les soufflures, les trous d'insectes, la tache jaune, le liège vert et les inclusions boisés. Ces défauts diminuent la qualité de la planche du liège. De plus, le coefficient de porosité est élevé de 6,47% (Zarieffet) à 7,02% (Zerdeb).

Le liège rebut est la qualité la plus médiocre. Ce type de liège est impropre à toute utilisation à cause de la présence de différents types de défauts majeurs. Parmi eux, nous citons le liège vert, le liège ligneux, les soufflures, les exfoliations mais aussi une grande porosité (CP >10%).

6.6 - Le rendement industriel des planches de liège

L'économie du liège dépend étroitement de la production industrielle de bouchons. Les planches de liège de bonne qualité ne représentant aucun défaut sont les plus rentables. Elles produisent une grande quantité de bouchons par rapport à d'autres classes de qualité. Dans cette classe, la production des déchets est faible car toute la surface de la planche est transformée en bouchon. Tandis que, les planches des autres classes de qualité, qui présentent

plus de défauts, génèrent plus de déchets lors du procédé semi-automatique, car l'ouvrier élimine les parties avec les défauts majeurs avant la perforation. Dans les perforations automatiques, le nombre de résidus est par contre minimisé, mais la qualité des bouchons produits est faible (Costa et Pereira, 2010).

Dans l'industrie du liège, la première étape préparatoire des planches brutes est très importante. Elle consiste à obtenir des planches plus ou moins homogènes en termes d'épaisseur et de qualité et ce après l'élimination des parties qui ne permettent pas de produire des bouchons. Cette étape est prise en considération dans la chaîne de production du liège au niveau de l'industrie portugaise et algérienne. Cette opération produit des morceaux de liège considérés comme résidus primaires qui représentent 5% à 17% de la surface des planches voire même à 50% selon les résultats de Costa et Pereira (2004). C'est une étape très nécessaire qui permet de faciliter l'utilisation de la planche dans les opérations suivantes et elle doit être réalisée par un expert (fig.116).

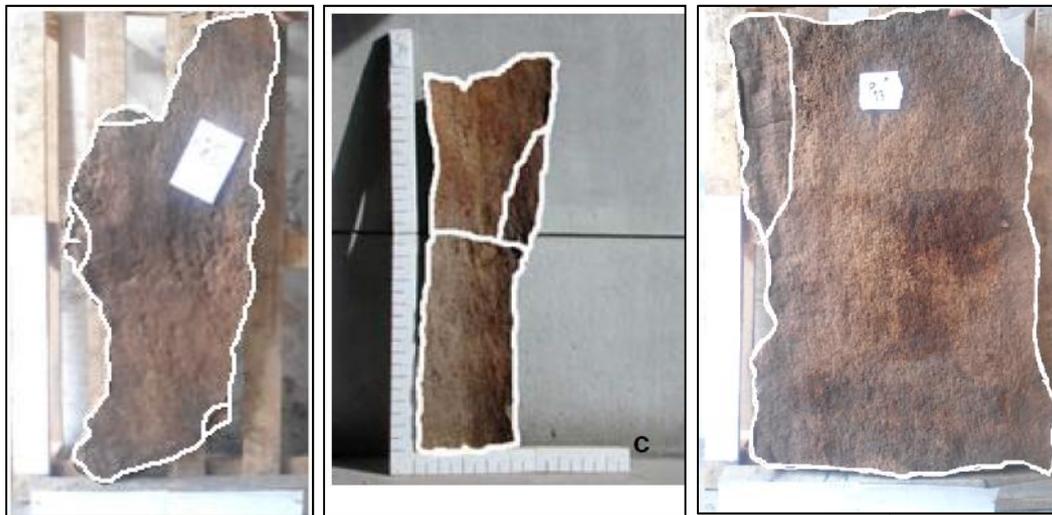


Figure 116 : Exemple de planches brutes de liège avant découpage en partie homogène

La coupe des bandes dans le sens longitudinal ou transversal n'a pas une influence sur le rendement en masse ; exception faite pour les planches de bonne qualité qui produisent plus de bouchon de bonne qualité lorsqu'elle est coupée dans le sens longitudinal (Costa et Pereira, 2010).

D'après nos résultats, la surface moyenne des planches étudiées varie de 114cm², à 195 cm² respectivement à Zerdeb et Skikda ce qui est inférieur à la surface moyenne des planches utilisées dans l'industrie Portugaise où les dimensions varient de 3735 cm² à 1150 cm² selon Lopes et Pereira (1994) ; Costa et Pereira (2004). Cette différence montre que l'écorçage des arbres de chêne liège en Algérie se fait par des petits morceaux et sur des hauteurs différentes, tandis qu'en Portugal, l'opération est réalisée soigneusement avec le respect de l'arbre et le coefficient d'écorçage par les leviers expérimentés. La superficie, la longueur et la largeur des planches de liège brut sont en relation avec la forme de l'arbre et la technique de déliègeage tandis que la dimension des planches préparées est conditionnée par

la facilité de maniement dans les opérations ultérieures (Piazzetta, 2006 ; Costa et Pereira, 2010).

En ce qui concerne le poids des planches du liège Portugais, il est de 1134 gr (Lopes et Pereira, 1994) contre 3954 gr à Zariéffet, 3204 gr à Zerdeb et 3564 gr à Skikda. Ce poids peut être dû au taux d'humidité élevé des planches de liège qui varie de 7% (Zerdeb), 8% (Zariéffet) et 12% (Skikda). Les planches bouillies doivent rester plus de temps à l'air libre avant le procédé de fabrication.

Selon Costa et Pereira (2004), le poids des bouchons produits représente 24,2% de la masse initiale du liège sec, contre 71,6% des résidus et 4,1% poudre. Ces résultats sont en accord avec nos résultats d'où en moyenne les planches de liège produisent 72,66% des déchets et 27,34% de bouchons. Mais le taux de bouchons est plus élevé dans les lièges de Zariéffet et Zerdeb que ceux de Skikda. Ces résultats confirment que le rendement en masse est fortement lié à la surface de la planche plus que son poids quelque soit son provenance. En effet, le nombre maximal de bouchons qui peut être produit à partir d'une planche dépend directement de sa superficie mais il y a une tendance de réduction de la proportion de résidus avec l'augmentation de la dimension des planches (fig.117). Alors, pour maximiser le rendement en bouchons, il y a un intérêt à utiliser des planches de grandes dimensions. (Costa et Pereira, 2004). Le rendement net pour la production des bouchons standards (45x24mm) est de 747 bouchons/kg ou 98 bouchon/m² en Portugal selon Pereira et al.(1994), tandis qu'en Algérie il est beaucoup moins ; il atteint 246 bouchons/kg équivalent à 70 bouchons/m².

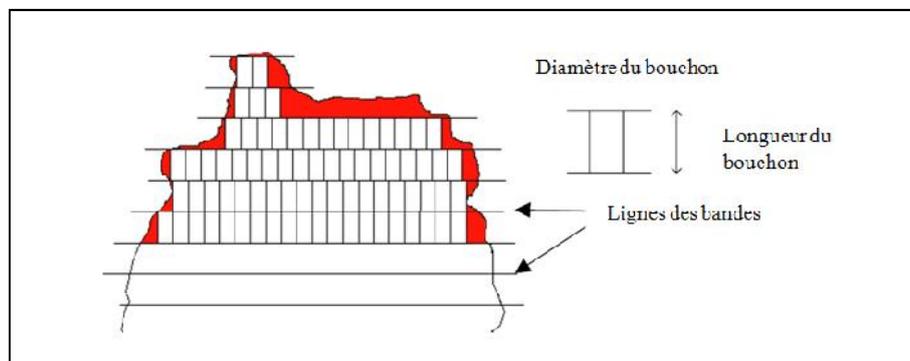


Figure 117 : Schéma théorique de l'utilisation des planches de liège dans la production des bouchons (Pereira, 2007).

D'après les résultats obtenus il n'y a pas un effet d'épaisseur du liège sur le rendement en bouchons. En revanche, le taux de déchets s'élève avec l'épaisseur de la planche lors de fabrication des bouchons. Pour cela, il faut employer un liège d'une épaisseur suffisante en fonction du diamètre du tube et de le tuber le plus près possible de la mie et maintenir un espace entre chaque perforation.

En revanche, la planche de liège n'est pas souvent homogène ; sa surface et son poids sont indépendants de sa qualité. Ce sont de bons paramètres pour estimer son rendement en bouchons. Alors que, le nombre et la profondeur des crevasses situées à l'extérieur de la

planche ainsi que l'état de la partie intérieure (densité, humidité, épaisseur de la croûte, inclusion ligneuse, etc.) affectent son rendement (Costa et Pereira, 2010 ; Ofélia et al., 2011).

En fait, le profil qualité des bouchons de liège est fortement influencé par la qualité des planches dont ils étaient tubés. Il est clair que la plupart des bouchons de bonne qualité (Extra, 1 et 2) sont obtenus lors du traitement des planches de liège de bonne qualité (1^{ère}-3^{ème} classe): par exemple, à partir des planches de liège de bonne qualité, 82% correspondent à des bouchons de haute qualité (supérieure et 1^{ère} classe), alors qu'elle sera que de 22% si une planche de liège de 5^{ème} classe est utilisée. Dans cette catégorie, il ya moins de bouchons qui sont refusés lors de la classification lorsqu'une plaque de liège de 1^{ère} qualité est utilisée. En conséquence, le rendement net des bouchons diminue avec la diminution de la qualité de la matière première (Lopes et Pereira, 1994). Ceci concorde avec nos résultats d'où une planche de bonne qualité produit 60% du bouchon de gamme supérieure à Zariéffet contre 40 à 15% à Zerdeb et Skikda. Tandis qu'une planche de faible qualité, fournit peu de bouchons de l'ordre de 23% (Zerdeb), 32% (Zariéffet) et 33% (Skikda). Le reste constitue des résidus destinés à la trituration pour d'autres utilisations.

En fait, les résultats obtenus dans cette étude confirment le rôle important que joue la qualité de la matière première (le liège) dans l'économie forestière du pays et du secteur des forêts et industriels en impactant les rendements nets de la production et les profils de qualité des bouchons. Moins les bouchons sont refusés et plus les planches sont de première qualité.

Il est important de signaler que l'industrie du liège en Algérie rencontre plusieurs difficultés qui ne se trouvent pas ailleurs. Parmi ces difficultés, nous citons non seulement la disponibilité quantitative de la matière première mais aussi la disponibilité d'une main d'œuvre expérimentée et la qualité des planches. Le prix de vente du liège dépend de la qualité du classement des planches. Cette dernière engendre la finition du produit (bouchons) dont son prix de vente dépend du cours international. Ce prix est fixé pour chaque catégorie de bouchons (classe de qualité).

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Il est souvent connu que le liège est le produit le plus valorisé de la suberaie. C'est une source non négligeable du revenu national pour les pays producteurs. Il a permis depuis longtemps la mise en place d'un tissu industriel de transformation du liège en divers produits dont le bouchon. Ce secteur est très développé en Espagne et en Portugal, alors qu'en Algérie il est en régression avec la fermeture continue de plusieurs ateliers (FOSA, 2007 ; APCOR, 2015). D'après nos constatations ce secteur rencontre plusieurs problèmes de gestion, de manque de main d'œuvre qualifiée et surtout la rareté du produit brut.

En effet, le travail sur le rendement industriel des planches de liège a été contraint de le continuer au niveau de la Société Industrielle du Bois et du Liège à Jijel (SIBL) après la fermeture de l'unité de Béni Mester (Tlemcen).

Le suivi de processus de transformation des planches de liège de 3 différentes provenances nous a permis de conclure que la production de bouchons à partir d'une planche de liège aboutit à une grande quantité de résidu (73%), qui sort principalement lors de la perforation des bouchons, contre seulement 27% des bouchons. Heureusement que dans le secteur du liège rien ne se perd ; ces déchets peuvent être broyés pour les transformer en plusieurs produits agglomérés (bouchons agglomérés, parquets...) ou vendus à bas prix pour d'autres usines disposant d'équipements de transformation nécessaires. De plus, les résultats obtenus confirment que le rendement en masse est fortement lié à la surface de la planche plus que son poids quelque soit son provenance. Pour la production des bouchons standards (45x24mm), le rendement est estimé à 246 bouchons /m² en Algérie contre 747 bouchons /m² en Portugal. Les résultats ont montré aussi que la surface moyenne des planches étudiées au niveau des 2 usines est faible (< 200 cm²). Cette dimension reste très inférieure à la surface moyenne des planches utilisées dans l'industrie Portugaise qui dépassent les 1000 cm² selon Lopes et Pereira (1992) ; Costa et Pereira (2004). Cette différence montre bien la qualité de l'écorçage des arbres de chêne liège en Algérie ; elle se fait plus en petites planches voire en morceaux que grandes planches. Cette qualité de planches influe sur le rendement industriel net en bouchons.

Ainsi, la qualité du liège affecte le rendement net des bouchons en raison d'un nombre croissant de bouchons refusés par les machines de haute technologie. Une planche de bonne qualité produit entre 15% et 60% de bouchons de bonne qualité, tandis qu'une planche de faible qualité fournit que 23% à 33% de bouchon de bonne qualité mais avec la rareté de la classe Extra (0). Avec la diminution de la qualité des planches de liège, le rendement industriel diminue en corollaire. Cette situation a une incidence néfaste sur l'économie de l'industrie des bouchons en raison de la valeur très différente des bouchons de haute et basse qualité. Pour suivre de près cette problématique, il est nécessaire d'introduire des procédés automatiques de classification des bouchons dans l'industrie algérienne, objectif qui reste trop loin dans cette conjoncture économique des industriels. Le prix d'un bouchon de bonne qualité est généralement 10 fois plus qu'un bouchon de basse qualité ; mais les industriels algériens vendent leur produit avec des prix généralement fixés par l'acheteur et non pas selon

les prix internationaux fixés pour chaque catégorie (classe de qualité), ce qui conduit plus à une perte économique. Le prix moyen de revient d'un kilogramme de bouchons à l'exportation est évalué à 6 dollars seulement entre 2000 et 2015 (ONS, 2015).

Une planche de liège est considérée comme de bonne qualité, si l'on peut y maximiser la production de bouchons naturels ; pour cela il faut limiter le volume de déchets généré. La modélisation de la production est possible en utilisant des paramètres de matières premières tels que la surface, le poids et la qualité des planches de liège.

En effet, le cycle de vie du liège en tant que matière-première commence par l'extraction de l'écorce de l'arbre. Cette opération d'écorçage a lieu durant la phase la plus active de l'arbre entre mi-mai ou début juin et se prolonge jusqu'aux derniers jours du mois d'août. C'est une opération stressante, pour cela il faut respecter le cycle de production de chaque région pour garantir la durabilité de la production du liège, qui doit atteindre 9-10 ans en littoral et entre 12 à 14 ans en montagne. Le respect de la rotation est indispensable pour que le liège soit parfaitement mûr et atteint l'épaisseur bouchonnable qui permet d'extraire des bouchons de diamètres standards (21 et 24 mm).

Le premier paramètre qui intéresse l'acheteur du liège est l'épaisseur ; elle est très variable entre les forêts. Nous notons la présence du liège prématuré qui n'a pas atteint l'épaisseur bouchonnable surtout à Hafir (63%) contre le liège épais qui a largement dépassé l'épaisseur commerciale (> 40 mm) à Zerdeb et Zarieffet (29% à 41%). Tandis que les lièges juste-régulier très demandés par les transformateurs, sont fortement présents à Zerdeb, Zarieffet, Skikda et M'Sila. La grande variabilité des épaisseurs du liège au sein de la même pile voire de la même provenance, ainsi que la présence des planches de liège de dimensions réduites à petits morceaux montrent souvent que la récolte du liège est réalisée d'une façon désordonnée et dans le non respect des normes d'exploitation surtout dans le liège de montagne où les constatations sont élevées alors qu'elles sont faibles dans le liège de littoral. Cela s'explique certainement par le cycle de production qui est plus court dans cette zone, car les gestionnaires forestiers attendent rarement plus que ce temps (jusqu'à 14 ans) pour prévoir la récolte du liège de leurs forêts. Nous pouvons expliquer aussi cette situation par la tradition ancrée chez les gestionnaires que la rotation est de 9 à 10 ans quelque soit la zone naturelle (montagne ou littoral).

Le manque de plan de gestion subéricole dans les subéraies étudiées est ainsi confirmé par la grande variabilité des classes d'âge du liège surtout à Zarieffet (8-47 ans) pour l'exploitation de 2010 et Zerdeb (11 - 35 ans) pour la récolte de 2011. En revanche, la campagne de 2014 a été réalisée à Hafir dans des parcelles immatures moins de 12 ans ; mais à M'Sila, le liège est levé entre 8 et 10 ce que montre que l'exploitation dans cette forêt est faite d'une façon relativement réglée et organisée. D'après ces résultats, Il est fortement recommandé de contrôler le déroulement de la campagne de récolte ainsi de noter l'année de la récolte sur chaque tronc levé pour respecter les délais séparant deux écorçages. Ainsi, la qualification professionnelle des leveurs est nécessaire car l'opération de la récolte du liège ne signifie pas seulement " arracher " mais avec le plus grand soin possible de l'écorce qui sera

transformée en bouchons. Cet arrachage doit se faire aussi dans les règles de sauvegarde de la santé de l'arbre.

En effet, l'ensemble des résultats ainsi dégagés de cette étude nous a permis de constater que les variabilités écologique et géographique des forêts se superposent intimement aux caractéristiques du liège. La vitesse de croissance est plus rapide en littoral, de l'ordre de 3,16 mm/an à M'Sila voire 3,60 mm/an à Benavente en Portugal contre 2,81 mm/an en montagne.

Toutefois, l'étude des variations interannuelles des accroissements du liège, révèle une forte variabilité interannuelle pour des individus de la même provenance. Mais globalement, la majorité du liège algérien suit la même tendance de croissance, qui est très élevée durant les 5 premières années détenant 60% de l'épaisseur du liège ; puis elle diminue avec le temps. Ceci nous a permis de conclure que le liège doit être récolté dans son cycle de production, et chaque année de croissance hors du cycle est une perte dans la production. Cette perte, est estimée de 32% à 35 % durant les 5 premières années de croissance. Pour cela il est évident de réduire les cycles appropriés de production de liège pour l'amélioration de la production du liège et de sa qualité. Cependant, la productivité des arbres est variable entre les forêts, en moyenne elle est plus faible par rapport aux autres pays méditerranéen (7,79 kg/m²).

D'après, les différentes corrélations réalisées entre le cumule des précipitations durant différentes périodes et les températures. Nous avons confirmé que l'activité du phellogène est sensiblement influencé par les pluies que par les températures. La période la plus influencée est cependant enregistrée du Janvier-Juillet de l'année courante. Les précipitations d'été sont utilisées immédiatement durant la période sèche avec l'avantage des températures élevée et l'augmentation de la photosynthèse. Durant cette période, la production du liège ne s'arrête que suite aux attaques agressives des défoliateurs, canicules ou passages de feux. En général, la majeure partie de la croissance de l'arbre se produit à la fin du printemps et l'été, lorsque les températures sont élevées et les précipitations atteignent leur minimum, en profitant du stockage d'eau dans le sol.

L'étude comparative de la porosité des lièges portugais et algérien a été réalisée pour la première fois en Algérie. D'après les résultats obtenus, il apparait que le liège algérien est très hétérogène du point de vue qualité et caractéristiques linéaires des lenticelles (longueur, largeur, périmètre...). En revanche, le coefficient de porosité est plus élevé dans le liège portugais (13,2%) par rapport au celui algérien (9,2%). Cette différence est due à la forte présence des pores de grandes surfaces dans ce dernier. Mais des fortes similitudes liées à la forme, la distribution et la présence des canaux lenticulaires ont été relevées dans les deux types de liège, d'où une porosité plus grande et visible est trouvée dans la partie extérieure de la section transversale des planches de liège, par rapport à celle trouvée dans la partie interne. Cette distribution des pores est cependant plus bénéfique pour la perforation des bouchons qui se fait près de la mie (partie interne). Cependant, d'autres études devraient être faites avec plus d'échantillons de liège, afin de comprendre clairement le profil de la qualité du liège pour les deux régions, et principalement pour l'Algérie. Ce dernier présente une plus grande hétérogénéité dans les caractéristiques de porosité de son liège.

En ce qui concerne la qualité du liège, une planche de meilleure qualité est caractérisée par son homogénéité et l'absence de défauts visibles. En revanche, l'hétérogénéité de l'aspect du liège rend complexe tout classement, car plus que la porosité s'interfère à d'autres défauts physiologiques, génétiques et extrinsèques plus que sa qualité déprécie et définit l'utilisation finale du produit. Parmi les principaux défauts recensés dans les planches de liège et qui influent directement sur la qualité du bouchons, nous notons la tache jaune et le liège vert qui ont été fortement recensés dans le liège de Skikda et avec un degré moindre dans le liège de Zariéffet. Ces derniers défauts rendent le bouchon inutilisable. Toutefois, le liège de bonne qualité très recherché par l'industriel, est fortement présent dans le liège de montagne qu'en littoral.

Au vu des différents résultats obtenus sur terrain, il est nécessaire d'établir une carte de qualité du liège et des bouchons algériens et étudier les facteurs qui influent sur cette qualité (mode de gestion, rotation, génétique, conditions forestières, ect).

A la fin de ce travail, nous tenons à proposer certaines recommandations pour améliorer la filière liège en Algérie qui mérite plus d'attention :

- rajeunissement des peuplements car l'arbre perd son rythme de croissance avec l'âge ainsi que la qualité du liège diminue.
- maintien et suivi des campagnes de récolte avec empilement correct de planches
- révision de la réglementation en vigueur concernant l'exploitation du liège, notamment en ce qui concerne les délais séparant deux écorçages et la qualification professionnelle des leveurs ;

La redynamisation de la filière liège en Algérie, se base sur la reconstruction de l'avenir de nos forêts pour qu'elles jouent pleinement leur rôle économique. Elle est sous la triple responsabilité ;

1-Responsabilité du secteur des forêts:

- Amélioration quantitative et qualitative du liège
- Lutte contre toute forme de dégradation de la forêt
- Rajeunissement des peuplements
- Certification forestière et bonnes pratiques sylvicoles
- Vie en harmonie entre la population riveraine et la forêt.

2-Responsabilité du secteur industriel

- Amélioration des techniques de production des bouchons et d'autres produits du liège
- Amélioration de la qualité des bouchons et développement de la stratégie de traçabilité
- Capacité d'innovation technologique de l'entreprise
- Développement de l'emploi à l'usine
- Développement du commerce international et son intégration dans le système économique du pays
- Valorisation commerciale et promotion du liège
- Développement de la qualité et normalisation

-Certification industrielle et les bonnes pratiques bouchonnières

3-Responsabilité du secteur de la recherche

-Apport de la connaissance et de la recherche scientifique pour trouver des solutions aux problèmes posés

-Renforcement de la coopération entre les différents acteurs et partage des connaissances pour affronter ensemble les défis et besoin scientifique communs

-Transfert de connaissances et valorisation des produits de la recherche,

-Mise en réseau et renforcement des compétences nationales

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Liste des abréviations :

- **APCOR: Association Portugaise du liège**
- **B.N.E.D.E.R.** (Bureau national d'étude et de développement rural)
- **C.E.LIEGE** : confédération Européenne du liège.
- **C.F.A** : Conservation des forêts d'Algérie
- **C.F.W.O** : Conservation des Forêts de la Wilaya d'Oran
- **C.F.W.T** : Conservation des forêts de la Wilaya de Tlemcen
- **D.G.F** : Direction Générale des Forêts
- **FAO** : Food and Agriculture Organization.
- **FFSL** : Fédération Française Des Syndicats du Liège
- **FOSA** : The Forestry Outlook Study for Africa
- **ICMC** : Instituto Nacional de Investigacion y Tecnologia Agraria y Alimentaria
- **IPROCOR** : Instituto de Produccion de Corcho.
- **PNT** : Parc National de Tlemcen
- **ONS** : Office National de Statistiques

Références Bibliographiques

- **Abbas M, 2013-** Incidence économique des feux de forêts sur les subéraies. Journées d'étude sur la réhabilitation des subéraies incendiées et Reboisement. Université de Tlemcen du 16 - 17 janvier 2013.
- Abbou MA., 2008-** Effet du bouillage sur certains aspects macroscopiques et microscopiques du liège de deux provenances : M'Sila (W.d'Oran) et Zariéffet (W.de Tlemcen). Mém. Ing. Dep. Forst. Fac. Sci. Univ. Tlemcen, 92p.
- Abdendi ZE., 2003-** Le dépérissement des forêts au Maroc : Analyse des causes et stratégie de lutte. Science et changements planétaires, Sécheresse. Vol 14. n°4. pp : 209-218.
- Abourouh M., Taleb M., Makhloufi M., Boulmane M et Aronson J ., 2005-** Biodiversité et dynamique de la végétation dans la subéraie de la Maâmora (Maroc) Effet de la durée de clôture. Forêt méditerranéenne. t. XXVI, n° 4. pp : 275- 286.
- Aime S., 1991 -** Etude écologique de la transition entre les bioclimats sub-humide, semi-aride et aride dans l'étage thermo-méditerranéen du Tell oranais (Algérie occidentale). Thèse. Doc. Es. Sci. Univ. Aix –Marseille, T.III, 189p.
- Aïnad-Tabet M., 1996-** Analyse éco-floristique des grandes structures de végétation dans les monts de Tlemcen (approche phytosociologique). Thèse. Magi. Inst. Biol. Univ.Tlemcen. 110p.
- Alcaraz, C., 1989-** Contribution à l'étude des groupements à *Quercus ilex* et *Quercus Faginea subsp. tlemcenensis* des Monts de Tlemcen (Algérie). Ecologia mediterranea. 1 (3-4). pp :15-32.
- Almeida A. et Tomé M., 2008-** Sistema para a Predição do Crescimento da Cortiça. Silva Lusitana 16 (1). Lisboa, Portugal. pp : 83 - 95.
- Aloui A., Ajaïbi A. et Benmhamadi N.,2006-** Etude de la qualité du liège de reproduction des subéraies d'Ain Draham. Actes du séminaire Gestion intégrée des forêts de chêne liège et de pin d'alep . Ann. INRGREF, N° 09. (T.1). Hammamet, Tunisie. Pp : 44-59.

- Amandier L., 2002-** La subéraie : biodiversité et paysage. Actes du colloque « la subéraie biodiversité et paysage » 30-31 Mai 2002, Vivés, France. 6p.
- Amandier L., 2004 –** Le comportement du chêne-liège après incendie : conséquence sur la régénération naturelle des suberaies. Acte du colloque « Le chêne liège face au feu », Vivexpo, France, 13p.
- Amandier L.,2005 –** La subéraie des Maures en danger. Rev.La feuille et l’aiguille,n°58. 3p.
- Anonyme., 1914 -** L’œuvre du reboisement en Algérie (1851-1910). Bull. Stat. Rech. Forest. N. Afr. 1(2). Pp : 35-70.
- Anonyme., 1946 -** Le Liège (quercus suber) en Algérie. Document n° 6 de la série : Économique - Paru le 1er février 1946 Alger.
- Anonyme., 1987-** Guide technique du forestier méditerranéen français. Extrait *Quercus*. CEMAGREF. France. Pp : 11-14.
- Anonyme., 1999-** Plan de gestion- section A : phase descriptive et analytique. DGF, Tlemcen, 115p.
- Anonyme.,2003-** La subéraie biodiversité et paysage. Infoliège, n° 10, IML.Vivés,France.8p.
- Anonyme., 2004-** Pathologie de la subéraie en France. Ravageurs et maladies du chêne liège. Guide technique de vulgarisation. IML, Langue doc-Roussillon. Vivés, France, 23p.
- Anonyme., 2006-** Code international des pratiques bouchonnières. Fédération Française des Syndicats Liège. Confédération Européenne Du Liège. Paris, Cedex 17. 62p
- Anonyme, 2007 -** Guide international d’achat pour les bouchons de liège destinés aux vins tranquilles. Natural cork users group –GIABL. 32p
- Anonyme., 2008-** L’importance écologique de la Subéraie. Cork information bureau, Cork the natural choice, 21p.
- Anonyme., 2009-** Guide qualité bouchon liège. Syndicat des Bouchonniers en Champagne Centre des Entreprises. Cedex
- Aouadi A, Khaznadar M et Aouadi H., 2010-** La relance du chêne-liège dans le Plan national de reboisement en Algérie. Leçon tirée des résultats du terrain. Rev. Forêt méditerranéenne t. XXXI, n° 1. Pp :45-54.
- APCOR., 2009-** APCOR year book. Guide. 83p.
- APCOR., 2015-** Anuário Estatístico. APCOR- Boletim-Estatístico. pdf.
<http://www.apcor.pt/wpcontent/uploads/2015/12/>
- APCOR., 2010-** Le liège culture, nature, future (Le liège en chiffres). Cork information bureau 2010. APCOR. 16p.
- Aracil JM., 2008-** La filière liège en quelques chiffres. Actes du colloque, Vivexpo 2008, « la guerre des bouchons. Vives, France. 3p.
- Arnaudies J. et Piazzetta R., 2006-** La levée du liège-guide, technique de vulgarisation. IML. Vivés, France. 24p.
- Aubert G et Monjauze A., 1946-** Observations sur quelques sols de l’Oranie Nord-Occidentale, influence du déboisement, de l’érosion sur leur évolution (I) compte-rendu du sommaire des séances de la société de biographie. T23. N° 199. Pp : 44-51.
- B.N.E.D.E.R., 1984-** Etude d’inventaire des terres et forêts de l’Algérie du nord. M.A.R.A., 209 p.

- Bagnouls F. et Gausse H., 1953-** Saison sèche et indice xérothermique. Bull. Hist. Nat. Toulouse, France. 88(3-4). Pp : 193-239.
- Barcelo M., 1939-** Sobre los elementos del corcho. Ann. Soc. Esp. Fis. y Quim. Pp : 35- 107.
- Barros I et Pereira H., 1987-** Influencia do operador na classificação manual da cortiça por classes de qualidade. Boletim do Instituto dos Produtos Florestais, 582. Pp : 103-105.
- Belabbes A., 2004-** Etude de la multiplication générative du chêne liège (*Quercus suber.L.*). Mém. Ing. Dep. Forst. Fac. Sci. Univ. Tlemcen. 51p.
- Belhoucine L, Bouhraoua RT, Harrak MJ et Samson RA., 2012-** Les champignons associés à *Platypus cylindrus* (Cleopetra, Platypodidae) dans une suberaie nord ouest d'Algérie : cas des champignons nuisibles. Integrated Protection in Oak Forests. IOBC/ wprs. Bulletin, Vol 76. Pp : 109-116.
- Belhoucine L., 2013-** Les champignons associés au *Platypus cylindrus* Fab. (Coleoptera, Curculionidae, Platypodinae) dans un jeune peuplement de chêne-liège de la forêt de M'Sila (Oran, nord-ouest d'Algérie) : Etude particulière de la biologie et l'épidémiologie de l'insecte. Thèse Doct. Dpt. Forst. Univ. Tlemcen. 201 p.
- Beltran R S., 2004-** Recommandations sylvicoles pour les subéraies affectées par le feu. Acte du colloque « Le chêne liège face au feu » 18-juin 2004, Vivexpo. Vives, France. 27p.
- Benabadji N. et Bouazza M., 2000-** Contribution à une étude bioclimatique de la steppe à *Artemisia herba alba* Ass dans l'Oranie (Algérie occidentale). Sécheresse, 11 (2). Pp : 117-123.
- Benabid A., 1989-** Ecologie, conservation et restauration des subéraies. Cour de Formation continue à l'ENFI.
- Benabid A., 2000-** Flore et écosystème du Maroc évaluation et préservation de la biodiversité. Ibis Press, Paris. 359p.
- Benaissa H., 2003-** Contribution à l'étude de la qualité du liège de reproduction au fonction de l'âge de l'arbre « Forêt de Zariéffet ». Mém. Ing. Dep. Forst. Fac. Sci. Univ. Tlemcen. 75p.
- Ben Jamâa M L. et Nouiui M., 2008-** Le liège et le vin en Tunisie. Actes du colloque La guerre des bouchons . Vivexpo 2008. Vives, France. 9p.
- Ben M'hamed .M., Abid H. et Ben Jamâa M., 2002-** La suberaie tunisienne importance et orientations pour une gestion durable. Actes du colloque « la suberaie biodiversité et paysage ». Vives, France. 32 p.
- Ben M'hamed M., 2000-** Etat actuel de la suberaie tunisienne. Acte du colloque. perspectives de la production du liège à la veille du XXI siècle .Vives, France. Pp : 36-52.
- Benest M., 1985 -** Evolution de la plate forme de l'ouest algérien et du nord-est marocain au cours du Jurassique supérieur et au début du Crétacé : Stratigraphie, milieux de dépôt et dynamique sédimentaire. Thèse. Doc. Es. Sci. fasc 1 et 2. Univ. Lyon. 585 p.
- Benkirane H., Benslimane R., Hachmi M., Sessou A., 1998-** Mise au point des techniques d'analyse d'images numériques pour la quantification des défauts de liège et de son classement en qualité. Ann. Rech. For. Maroc 31. Pp : 100–109.
- Benkirane H., Benslimane R., Hachmi M. et Sessou A., 2001-** Possibilité de contrôle automatique de la qualité du liège par vision artificielle. Ann. Forst. Sci (58). INRA, EDP Sciences. France. Pp : 455- 465

- Bertrand L et Véronique V., 2011-** Introduction à l'analyse des correspondances et à la classification Cours IUP SID Toulouse - M1. EDF R et D. 111p.
- Berrahmouni N., 2009-** Atelier du WWF sur la gestion durable des suberaies. Infoliège, n°16. IML. Vivés, France. 8p
- Berriah A., 2014-** Les reboisements de chêne liège dans l'Ouest Algérien : bilan et perspectives d'amélioration. Mag. Forst. Dep. Forst. Univ. Tlemcen. 158 p.
- Bethemont J., 2003-** Géographie de la méditerranée. ARMAND COLIN, 2^{ème} Ed. Belgique. 302p.
- Bonnier J., 2004-** Le chêne liège et l'arbousier. Rev. La feuille et l'aiguille, n°58. 3p.
- Bossuet G., 1988-** Sylviculture du liège et rénovation de la suberaie. Forêt Méditerranéenne. X(1). Pp : 162-163.
- Boudy P., 1950-** Economie forestière Nord-Africaine. Monographie et traitement des essences. Tome II, Fascicule 1. Larose Ed. Paris. 525p.
- Boudy P., 1952 –** Guide du forestier en Afrique du Nord. La Maison Rustique. Paris. 487p.
- Boudy P., 1955 -** Economie forestière nord-africaine. Description forestière de l'Algérie et de la Tunisie. T 4. Larose Ed. Paris. 483 p.
- Bouhraoua R.T., 2003-** Situation sanitaire de quelques forêts de chêne liège de l'Ouest Algérien, Etude particulière des problèmes posés par insectes. Thèse. Doc. Etat. Dép. Forst. Fac. Sci. Univ. Tlemcen. 267p.
- Bouhraoua R.T. et Villemant C., 2005-** Mécanismes généraux de l'altération sanitaire des peuplements de chêne liège de l'Algérie nord-occidentale. IOBC/wprs Bulletin. Vol 28 (8). Pp :1-8.
- Bouhraoua R.T, 2013-** L'œuvre du reboisement de chêne liège en Algérie entre les contraintes écologiques et les exigences techniques. Journées techniques du liège dans le var. Forêt modèle de Provence. 21-22 novembre 2013. 46p.
- Bouisset C et Puyo J-Y, 2009 -** Quand les fonctions sociales et environnementales viennent au secours de la fonction productive ; le cas des suberaies du Sud Ouest de la France. In Forêt et foresterie « mutation et décloisonnement ». Ed. L'Harmatan. 10p.
- Braun-Blanquet J.,1950-** La végétation de l'étage alpin des Pyrénées orientales comparée à celle des Alpes. Actas del Primer Congreso Internacional de Pireneistas, San Sebastian. Pp: 5-16.
- Bricheteau J., 1954-** Esquisse pédologique de la région de Tlemcen-Terni. Annales Institut Agronomique, 8(3). 28 p.
- Brunetti A, Cesareo R, Golosio B, Luciano P, Ruggero A.,2002-** Cork quality estimation by using Compton tomography. NIMB in Physics Research 196, Elseiver. Pp : 161–168
- C.F.A., 1877 -** Croquis de la forêt domaniale de M'Silah. Direction des affaires civiles et étrangères, Département d'Oran, Inspection d'Oran. 5 avril 1877.
- C.F.W.O., 1996 -** Forêts de la wilaya d'Oran : Présentation générale, Juin 1996, Conservation Forestière Wilaya Oran, 24p.
- C.F.W.T., 1996-** Répartition des forêts domaniales de la circonscription par district et commune. Circonscription de Tlemcen. 4p.
- C.F.W.T., 2010-** Situation géographique de la forêt de Zariéffet.CFWT et PNT, Tlemcen.1p.

- C.F.W.T., 2014-** Bilan des campagnes d'exploitation du liège de la forêt de Zariéffet et Hafir. CFWT. 2p.
- C.O.I.T., 1933-** Fascicule de propriété de la forêt domaniale de Béni Bou Said. Cantonnement de Tlemcen, Non paginé.
- Canellas I. et Montero G., 2002-** Influence of Cork oak pruning on the yield and growth of cork. *Ann. For. Sci.* (59), pp 753-760.
- Caritat A., Molinas M., Gutierrez E., 1996-** Annual cork-ring width variability of *Quercus suber* L. in relation to temperature and precipitation (Extremadura, Southwestern Spain). *For. Ecol. Manage*, 86. Pp: 113-120.
- Caritat A, Gutierrez E et Molinas M., 2000-** Influence of weather on cork-ring width. *Tree Physiol*, 20. Pp: 893-900.
- Casey J A., 1991-** The enigmatic properties of cork. *The Australian Grape grower and Winemaker*, (4). Pp: 83-89.
- Chatonnet P et Labadie D., 2003-** Contrôle de la conformité des bouchons ; objectifs et paramètres à l'usage des professionnels. *Rev. Fr. d'Oenol*, 198. Pp : 20-29
- Chaumont M. et Paquin C., 1971.** Notice explicative de la carte pluviométrique de l'Algérie au 1/500 000. Société d'Histoire Naturelle de l'Afrique du nord, Alger, 24 p
- Chenel.P, 1951-** Le liège en Algérie. *Annales de géographie*. Vol 60. N° 321. pp : 296-299.
- Chevallier.H., 2002-** Suberaie et biodiversité : enjeux et gestion. Actes du colloque « la suberaie biodiversité et paysage ». Vivés, France. 8p.
- Cibois P., 1987-** L'analyse factorielle, analyse en composantes principales et analyse des correspondances. Ed. Que sais-je ?. 127p
- Clair A., 1973-** Notice explicative de la carte lithologique de la région de Tlemcen au 1/100000
- Compos M et Molinas M., 1999-** Aplicacion del analisis de imagenes al estudio de parametros morfometricos del corcho. *SCIENTIA gertindensis*, 24. pp : 47-58.
- Costa A et Oliveira A.C., 2001** –Variation in cork production of the cork oak between two consecutive cork harvests. *Forestry*, Vol.74, N°4, 2001. pp.337-346.
- Costa A, Pereira H et Oliveira A., 2001-** A dendroclimatological approach to diameter growth in adult cork-oak trees under production. *Trees* (2001) 15. Pp: 438–443.
- Costa A, Pereira H et Oliveira A., 2002-** Influence of climate on the seasonality growth of cork oak during a cork production cycle. *Ann. For. Sci.* 59. INRA, EDP Sciences. Pp: 429-437.
- Costa A, Pereira H et Oliveira A., 2003-** Variability of radial growth in cork oak adult trees under cork production. *Forest Ecology and Management* 175, Elsevier. Pp : 239-246
- Costa A et Pereira H., 2004-** Caracterização e Análise de Rendimento da Operação de Traçamento na Preparação de Pranchas de Cortiça para a Produção de Rolhas. *Silva Lusitana* 12(1). EFN. Lisboa, Portugal. Pp : 151 – 66.
- Costa A, Pereira H et Oliveira A C., 2004-**The effect of cork-stripping damage on diameter growth of *Quercus suber* L. Institute of Chartered Foresters, Forestry. Vol 77. N°1. 8p

- Costa A et Pereira H., 2006-** Decision Rules for Computer-Vision Quality Classification of Wine Natural Cork Stoppers. *Am. J. Enol. Vitic.* 57:2 . Pp: 210 -219.
- Costa A et Pereira H., 2007-** Influence of vision systems, black and white, colored and visual digitalization, in natural cork stopper quality estimation. *J Sci. Food. Agric.* 87. Society of Chemical Industry. Pp : 2222–2228
- Costa A, Madeira M, Oliveira A C., 2008-** The relationship between cork oak growth patterns and soil, slope and drainage in a cork oak woodland in Southern Portugal. *Forest Ecology and Management* 255, Elsevier. Pp: 1525–1535.
- 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, Oliveira A C, Vidas F et Borges J G., 2010-** An approach to cork oak forest management planning: A case study in southwestern Portugal. *European Journal of Forest Research*, 129. Pp: 233–241.
- Costa A, Madeira M, Santos J L et Plieninger T., 2014-** Recent Dynamics of Mediterranean Evergreen Oak Wood Pastures in Southwestern Iberia. Ed. T. Hartel et T. Plieninger, *European wood-pastures in transition- A social-ecological approach*. New York, NY: Earthscan from Routledge. Pp: 70–89.
- Costa A et Oliveira G., 2015-** Cork oak (*Quercus suber* L.): A case of sustainable bark harvesting in Southern Europe. In C. M. Shackleton, A. K. Pandey, & T. Ticktin (Eds.), *Ecological sustainability for non-timber forest products dynamics and case studies of harvesting*. New York, NY: Earthscan from Routledge. Pp: 179-198.
- Costa A, Barbosa I, Roussado C, Garça J et Spiecker H., 2016-** Climate response of cork growth in the Mediterranean oak (*Quercus suber* L.) woodlands of southwestern Portugal. *Dendrochronologia*. V ol. 38, June 2016. Pp : 72–81
- Courtois M et Masson P., 1999-** Relation entre la qualité du liège et sa composition minérale des feuilles de chêne liège (*Quercus suber*.L). *Ann. For. Sci.* 56. INRA, ELSEVIER, Paris (France). Pp: 521-527.
- Daget PH., 1977-** da cortiça e o entrecasco do sobreiro, in: Páscoa F., Pinheiro L., Isidoro A. (Eds). *Actas do III Congresso Florestal Nacional*. Lisboa, Portugal. Pp : 314–319.
- Dagnelie P., 2006-** Statistique théorique et appliquée-2 Inférence statistique à une et à deux dimension. 2^{ème} Ed. De boeck. Bruxelles. 576p
- Debrach J., 1953** - Note sur les climats au Maroc Occidental. *Maroc Méridional*: 32(342). Pp : 1122-1134.
- Dehane B., 2006-** Incidence des facteurs écologiques sur les accroissements du liège de quelques suberaies Oranaises. Thèse. Mag. Dép. Forest. Fac. Sc. Univ. Tlemcen. 121 p.
- Dehane B, Bouhraoua R T et Berrichi M., 2010-** Impact de l'état sanitaire du chêne liège sur certains aspects macroscopiques et microscopiques du liège de reproduction de deux forêts de l'Ouest Algérien. *Integrated Protection in Oak Forests. IOBC/wprs. Bull. Vol, 57.* Pp: 21-28.
- 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 Algérien. *Forêt méditerranéenne t, XXXII.N°1.* pp : 39-50.

- Dehane.B., 2012-** Incidence de l'état sanitaire des arbres du chêne liège sur les accroissements annuels et la qualité du liège de deux suberaies oranaises :M'Sila (W.Oran) et Zarieffet (W.Tlemcen). Thèse. Doct. Dép. Forest. Fac. Sc. Univ. Tlemcen. 363 p.
- Dehane.B ; Bouhraoua R-T ; Belhoucine L et Hamani F-Z., 2013-** La filière liège algérienne, entre passé et présent. Forêt méditerranéenne t. XXXIV, n° 2, juin 2013. Pp : 143-152.
- Dehane B, Benrahou A, Bouhraoua R, Hamani F Z. et Belhoucine L., 2014-** Chemical composition of Algerian cork according the origin and the quality.Int. J. Res. Environ. Stud. 1. Pp: 17-25
- Dehane B, Madrigal J, Carmen Hernando C, Bouhraoua R et Guijarro M., 2015-** New bench-scale protocols for characterizing bark flammability and fire resistance in trees: Application to Algerian cork. Journal of Fire Sciences. Pp : 1–16
- Demartin P., 1974-** Analyse des cernes Dendrochronologie et Dendroclimatologie. Ed. Masson et Cie. Paris. 71p.
- Detienne P., 1988-** Cours illustré d'anatomie des bois. CTFT, CIRAD. France. 47p.
- DGF., 2003-** Carte de répartition des peuplements de chêne liège en Algérie. DGF. Alger.1p
- DGF, 2016-** La production annuelle du liège en Algérie (1964-2015). DGF. Alger.1p
- Djabeur S., 2001-** Diagnostic sanitaire de quelques subéraies de l'Ouest algérien. Etude particulière des principaux insectes ravageurs. Thèse. Mag. Dep. Forst. Fac. Sci. Univ. Tlemcen. p 143
- Douméne S, 2004-** Le marché du bouchon. Fiche n°6. Nov 2004. CRCI/ARIST. Champagne Ardenne. 2p.
- Douzon G., 2004-** Bilan de la santé des forêts en 2003. DSF. France. 2p.
- Duboi C, 1990-** Comportement du chêne liège après incendie protection des forêts. Mémoire de 3^{ème} année. Ecole des Ing des travaux des eaux et forêts. Labo, ARAGO. France. 96p.
- Durand C, Bellanger M. et Decoust M., 2004-** Etat sanitaire de la suberaie varoise ; Impact du démasclage et de la présence de l'insecte *Platypus cylindrus f.* Maîtrise de Biologie des Populations et des Ecosystèmes. Univ. Aix-Marseille III, France. 21p.
- Egnacio M, Perez-Ramos M et Maranon T., 2009-** Effects or water logging on seed germination of three méditerranéan Oak species. Ecological implication. ELSEVIER, Actes Oecologica (35). Pp : 422-428.
- Elmi S., 1970-** Rôle des accidents décrochant de direction SSW-NNE dans la structure des monts de Tlemcen (Ouest Algérie). Bull. Soc. Hist.Nat. Afr. Nord. Univ. Alger. 61p.
- Emberger L., 1930-** La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. Rev. Gén. Bot (43). Pp : 641-709.
- Emberger L.,1942-** Un projet de classification des climats du point de vue phytogéographique. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, 77. Pp : 97-124
- Emberger L., 1955-** Une classification biogéographique des climats. Nat. Monspl. Série Bot. 7. Pp : 3-42.
- Emberger L., 1960-** Les végétaux vasculaires. Tome II, Fasc I, Masson et Cie, France. 753p.
- Ennajah A, Guibal F, Hanchi B, Mouillot F et Garchi S., 2010-** Croissance radiale du chêne-liège et climat en Tunisie. Sécheresse vol. 21, n° 1. Pp : 34-41.

- Ezzahiri M., Belghazi B. et Aghrod M., 2001-** Croissance en épaisseur du chêne liège de reproduction dans les forêts du plateau central : Cas de la Suberaie d'Ait Hatem. Ann. INRGREF, N° spécial, Tunisie. Pp : 125-132.
- F.G.F.D.Z .,1979-** Fascicule de gestion de la forêt domaniale de Zerdeb. circonscription d'Ouled Mimoun, wilaya de Tlemcen. Non paginé.
- Famiri A., Branchiau L., Imzil B., El Abid A., Hakem A. et Ziani M., 2008-** Etude de la qualité du liège de reproduction. Programme PRAD 2005-2007, 6^{ème} école des Sciences Technologiques du Bois, Rabat (Maroc). 22p.
- FAO. 2013-** State of Mediterranean forests. Rome. Retrieved.
From <http://www.fao.org/docrep/017/i32226e/i32226e.pdf>
- Ferreira A., Lopes F., Periera H.,1998 -**Variabilidade da produção e qualidade da cortiça na regio de Alcacer do Sal. Sobreiro e Cortiça. Ed H Pereira. Pp : 70-78.
- Ferreira A., Lopes F., Periera H., 2000-** Caractérisation de la croissance et la qualité du liège dans une région de production. Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia. Ann. For. Sci. N° 57. INRA, EDP Sciences. Lisboa. Pp :187-193
- FFSL., 2006-** Charte des bouchonniers liégeurs. Fédération Française Des Syndicats du Liège. 5^{ème} édition - Novembre 2006. 66p.
- Fialho C, Lopes F, Pereira H., 2000-** The effect of cork removal on the radial growth and phenology of young cork oak trees. For. Ecol. Manage, 141. Pp: 251-248.
- Fonseca J F et Parresol B R., 2001-** A new model for cork weight estimation in Northern Portugal with methodology for construction of confidence intervals. Elsevier, Forest Ecology and Management, 152. Pp : 131-139
- Forgues C .,2008-** Bilan Carbone des différentes solutions de bouchage des vins tranquilles. Actes du colloque VIVEXPO 2008 : « la guerre des bouchons ». IML.Vives, France. 3p
- Fortes M A., 1986-** The average number of grain boundaries per grain in a polycrystal. Acta Metallurgica 34. Pp : 33-37.
- Fortes M A., 2004-** A Cortiça, Revista mensal editada pelo Instituto de Produtos Floresais. Que se publica desde 1938. Pp : 35-60.
- FOSA, 2007-** L'étude prospective du secteur forestier en Afrique (FOSA) Algérie, 60p.
- Fritts H., 1976-**Tree-rings and Climate, Academic Press, New York, San Francisco: Academic Press. 576p.
- Fritts H C et Swetnam T W, 1989 -** Dendroecology: A Tool for Evaluating Variations in Past and Present Forest Environments. Advances In Ecological Research Vol. 19. Academic Press Limited. Pp : 111-188
- Gaouar A., 1980-** Hypothèse et réflexion sur la dégradation des écosystèmes forestiers dans la région de Tlemcen. Rev. Forêt méditerranéenne. T 2. Pp : 131-146.
- Garchi S et Sghaier T., 2008-** Etude de l'effet du coefficient de démasclage et de la grosseur des tiges sur la croissance en épaisseur du liège : résultats d'un essai multi - sites après 10 ans de croissance. Geo-Eco-Trop, 32. Pp : 21 -28
- Garolera E., 1988-** Production mise en valeur, transformation et commercialisation. Problèmes et perspectives de la production de liège en Catalogne (Espagnole). Forêt méd., T X, n°01, Paris. Pp : 160-161.

- Garrec J.P., 1994-** Les dépérissements littoraux d'arbres forestiers. Rev. Forst. Fr., XLVI (5), N° spécial Les dépérissements des arbres causes connues et inconnues, France. Pp : 454-457.
- Ghalem A., 2006-** Etude typologique, stratégie de réhabilitation et réaction du milieu après incendie: cas de la subéraie de Hafir et Zariéffet (Wilaya de Tlemcen). Mém. Ing., Dep. Forst., Fac., Sci., Univ. Tlemcen. 94p.
- Ghalem A., 2010-** Caractérisation macroscopique du liège selon l'état sanitaire des arbres de deux suberaies oranaises : Zariéffet (W. Tlemcen) et M'Sila (W. Oran). Thèse. Mag. Forest. Dpt Forest. Univ. Tlemcen, 136 p.
- Ghalem A, Barbosa I, Bouhraoua R T et Costa A., 2016-** Comparing cork quality from Hafir-Zariéffet mountain forest (Tlemcen, Algeria) vs. Tagus basin Montado (Benavente, Portugal). Cogent Biology (2016), 2.11p
- Gibson L J, Easterling K F et Ashby M F., 1981-** The structure and mechanics of cork. Proc. Roy. Soc. London A 337. Pp: 99-117
- Gibson L J et Ashby M F., 1988-** Cellular Solids; Structure and properties. Ed. Pergamon. Press. 532p.
- Gonzalez Adrados JR., 1994-** Variacion de la humedad de equilibrio del corcho en plancha con la humedad relativa. Modelos de regression no lineal para los isothermal de absorcion. Investigacion Agaria. Sistemas y recursos forestales, Vol 3, N°02. Pp:199-209.
- Gonzalez-Adrados J. et Pereira H., 1996-** Classification of defects in cork planks using image analysis, Wood Sci. Technol. 30 (1996). Pp: 207-215.
- Gonzalez-Adrados J R., Lopes F., Pereira H., 2000-** Quality grading of cork planks with classification models based on defect characterization. Holz als Roh- und Werkstoff 58 (2000) Ó Springer-Verlag. Pp: 39- 45.
- Gonzalez-Adrados J R, De la Vega R et Cristobal A., 2001-** Production de laboratorio para la obtencion de los parámetros característicos del corcho en plancha. 6p.
- Gonzalez-Adrados J R, Gracia de Ceca J L, Gonzalez Hernandez F., 2005-** Evaluacion de anomalías y clasificación del corcho. Congreso Internacional Alcornocales, Fabricas y Comerciantes. Palafrugell. 15p.
- Goujon P, 1962-** L'adjudication du liège du Maroc. Bulletin de commerce des bois. Rev. Forestière Française. 354 p
- Gourinard Y., 1958-** Recherches sur la géologie du littoral Oranais Epirogenèse et nivellement. Publication du service de la carte géologique de l'Algérie. Alger. 195p.
- Gourlay L D et Pereira H., 1998-** The effect of bark stripping on wood production in cork oak (*Quercus suber* L.) and problems of growth ring definition. In Pereira (Ed). Cork Oak and Cork . Proceedings of the European Conference on Cork Oak and Cork. Centro de Estudos Florestais, Lisboa. Pp: 99-107
- Graça J., Barros L., Pereira H., 1985-** Importância da produção de cortiça de qualidade para a indústria transformadora. Cortiça 566 (1985). Pp : 697-707.
- Graça J et Pereira H., 2004-** The periderm development in *Quercus suber*. IAWA Journal, 25. Pp : 325-335

- Guillaumin J J, Bernard C H, Delatour C. et Belgrand M., 1985-** Contribution à l'étude du dépérissement du chêne. Pathologie racinaire en forêt de Tronçais. Ann. Sci. For. 42 (r1). Pp : 1-22.
- Guyon P., 1998-** Références forêt. Synthèse agricole. 2^{ème} Ed, Méridac (France). 296p
- Halimi A., 1980** -L'Atlas blidéen, climats et étages végétaux, O.P.U., Alger, 523 p.
- Hammoudi A., 2002** – La subéraie biodiversité et paysage. Actes du colloque « la suberaie biodiversité et paysage ». Vivés, France. 5p.
- Hirsh R, 1938-** Introduction aux recherches mécaniques sur le liège. Bull. Station Rech Forest. Nord Afrique 2 (4). Pp : 430-460.
- Ialaoui M., 2000-** La production du liège brut. Actes du colloque, Vivexpo. Vivés, France. Pp : 55-58.
- IPROCOR., 1994-** La calidad del corcho. Methodos de estimacion en arbol y en pila. Curso de especializacion en corcho. Institu del corcho, la madera y el carbon vegetal. Dpt. Forestal. Documento interno Iprocor. Mérida.
- IPROCOR., 2009-** IPROCOR: Investigacion aplicada en el corcho. 5° congreso Forestal Espanol. Montes y sociedad: Saber qué hacer. 21/25 Septiembre 2009. 29p
- Jayaraman K., 1999** - Manuel de statistique pour la recherche forestiere. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Cooperation hollandaise Commission europeenne. gcp/ras. gcp/int. 242p
- Kaci M., 2010-** Contribution a l'étude de la qualité du liège de la forêt de Bissa Tènès W. Chlef. Mémoire. Mag. Dept. Sc.Agr. Forest. Univ. Tlemcen. 90p.
- Karem A, 2008-** Le chêne liège- Programme pour l'Afrique du Nord projet éducation et Conservation de la biodiversité 49T. UICN. 4p.
- Kazi-Tani L., 1996-** Esquisse pédologique des zones à vocation forestière (monts des Traras et monts de Tlemcen). Mém. Ing. Dep. Forst. Fac. Sci. Univ. Tlemcen. 68p
- Knapic S, Louzada J L, Leal S et Pereira H., 2007-** Radial variation of wood density components and ring width in cork oak trees. Ann. For. Sci. 64. INRA, EDP Sciences. Pp : 211–218
- Kouba Y., 2005-** Contribution a l'étude de la filière liège en Algérie. Protection de la Nature. mem. Ing. Fac. Sc Agr et Bio. Inst. Agro. Univ. Tizi Ouzou.91p.
- Laaribya S, 2006-** Il faut sauver la forêt de la Maâmora (Maroc). Rev. Forêt méditerranéenne t. XXVII, n° 1, mars 2006. Pp : 65-72
- Lamey A., 1893** - Chêne-liège : sa culture et son exploitation. Levrault et C^{ie}, Nancy. Pp :168-209.
- Lebourgeois F et Merian M., 2012-** Principes et méthodes de la dendrochronologie. Agro Paris Tech. 85p.
- Le Houerou H N., 1980-** L'impact de l'homme et de ses animaux sur la forêt méditerranéenne (1ère partie). Rev. Forêt méditerranéenne II. Pp : 31-44.
- Letreuch-Belarouci N., 1998-** Dendrométrie méthodes d'estimation de la productivité stationnelle. OPU, Alger. 75p.

- Letreuch-Belarouci A M, Letreuch-Belarouci N, Benabdeli, K, et 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, XXX, 3. Pp : 231–238.
- Letreuch-Belarouci A., 2010-** caractérisation structurale des suberaies du parc national de Tlemcen, régénération naturelle et gestion durable. Thèse Doct. Dpt Forest, Univ. Tlemcen, 248 p.
- Lieutier F, Pino J et Delatour C., 1994-** Place des agents biotiques dans les dépérissements forestiers. Rev. Forst. Fr. XLVI (5), N° spécial Les dépérissements des arbres causes connues et inconnues . France. Pp: 418-421
- Lombardini F, Amandier L, Cabannes B et Deportes E., 2005-** La typologie des suberaies varoises: Un outil pour une rénovation forestière raisonnée .CRPF et ONF, France. 16p.
- Lopes F, Pereira H., 1994-** Porosidade das pranchas de cortica medida por analise de imagem. Influencia da dimensao das amostras," Proc. Congresso Florestal. Nacional, Figueira da Foz. p 302.
- Lopes F et Pereira H., 1998-** Caracterização de pranchas de cortiça com diferente classificação industrial, in: Pereira H. (Ed.),Cork oak and Cork, Centro de Estudos Florestais, Lisboa. Pp: 332-340.
- Lopes F et Pereira H., 2000-** Definition of quality classes for champagne cork stoppers in the high quality range. Wood Science and Technology 34 (2000). Springer-Verlag. Pp : 3-10
- Loukas A., 2006-** Atlas des parcs nationaux Algériens. PNTE, DGF. Tissemsilet (Algérie). 96p.
- Manos P S et Stanford M A., 2001-** The historical biogeography of Fagaceae : tracking the tertiary history of temperate and subtropical forests of the northern hemisphere Int. J. Plant. Sci. Univ. Chicago. Pp: 1058-5893
- Marc M., 1916-** Notes sur les forêts de l'Algérie. Typographie. Alger. 331 p.
- Margot P., 2006-** Du chêne liège au bouchon. Partie 1 Histoire et géographie. Cepdivin. 8p.
- Martin N., 2007-** Analyse spatiotemporelle des précipitations en Tunisie : implication sur le stress hydrique des écosystèmes Tunisiens. Rapport de stage. Maser 1. UST. Montpellier , UM II. 24p.
- Mc Donald K A., 1978-** Lumber defect detection by ultrasonics, Res., USDA Forest Serv., Forest Prod. Lab. Madison. Wis, 1978. 311 p.
- Meddi H et Meddi M., 2009-** Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. Sécheresse.N°20 (1). Pp : 57-65.
- Mello B et Pinto R., 1994-** Analise de difrenças nos critérios de classificaçao qualitativa das rolhas. Cortiça 601. Pp : 293-302.
- Merouani H., Branco C., Almeida M.H et Pereira J.S., 2001-** Comportement physiologiques des glands de chêne liège (*Quercus suber* L) durant leur conservation et variabilité inter-individus producteurs. Ann. Forst. Sci. 58. INRA, EDP Sciences. Pp:143-153.
- Mery D., 2002-** Inspeccion Visual Automatica. Primer Congreso Internacional de Ingenieria Mecatronica. 8-12 Abril, Lima (Peru). 12p.

- Messaoudène M., 1989** – dendroécologie et productivité de *Quercus afares* Pomel et *Quercus canariensis* WILL. dans les massifs forestiers de l'Akfadou et de Beni Ghobri en Algérie. Thèse. Doct. Sciences. univ. Aix – Marseille III. 123p.
- Messaoudene.M et Djema.A., 2003** - Modélisation de la croissance radiale du chêne zeen (*Quercus canariensis* WILD) : cas des chênaies de Tizi-Ouzou et Souk-Ahras. Ann de Inst. Nat. Agro, El Harrach. Vol 24. N°1 et 2. Pp :111-124.
- Messaoudene M., Messaoudene K. et Mezani A., 2006-** Le renouvellement par rejets de souche du chêne liège cas de la suberaie de Bouhlalou (Wilaya de Tizi-Ouzou). Acte séminaire Gestion intégrée des forêts de chêne liège et de pin d'alep . Ann. INRGREF. N° 09 (T.1), Hammamet 15-17 novembre, Tunisie. Pp : 240-251.
- Messaoudène M et Merouani H., 2009-** Site profile 1.1: Akfadou, Algeria. In Cork oak woodlands on the edge ecology, adaptive management, and restoration. Ed. Aronson J, Pereira JS et Pausas J G. Washington DC: Island Press. Pp: 22–23.
- Messaoudene M et Metena B., 2010-** Etude de la qualité du liège des subéraies orientales de Tizi-Ouzou. Integrated Protection in Oak Forests. IOBC/WPRS. Bull. Vol 57. Pp: 29-36.
- Montero G., 1987-** Modelos para cuantificar la producción en alcornocales (*Quercus suber* L.) en función de la calidad de estación y de los tratamientos selvícolas. Tesis doctoral Univ. PI. Escola Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Madrid.
- Montero G et Vallejo R., 1990-** Variación del calibre de corcho medido a distintas alturas. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales 1 (2). Pp : 181-188.
- Montoya Oliver M., 1988-** Los Alcornocales. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Serie Manuales Técnicos SEA. Madrid, 155p.
- Moreira da Silva M E C., 2010-** Apontamentos de tecnologia dos produtos florestais. a cortiça - suas características e propriedades. UTAD. 33p
- Mourad M, Fechtal A, El abid A, Adref M., 2001-** Qualité du liège de reproduction du plateau d'Oulmes. Ann. Rech. For. Maroc. 2001. T(34). Pp : 119-127.
- Mouries P. et Seigue A., 1980-** Peut on relancer la production du liège en France? Forêt méditerranéenne II. N°02. Paris. Pp : 177-181
- Natividade V.J., 1956-** Subericulture. Ecole national des eaux et des forêts. Nancy. 281p.
- Nedjahi M., 2005-** Note synthétique sur la gestion sylvo-pastorale des forêts de chêne liège. INRF. Alger.14p
- Normandin D., 1979-** Le liège brut et ses produits dérivés. Laboratoire d'économie forestière. 14. Rue Girardet. Nancy. Pp : 120-125.
- Nsibi R., Souayha N., Khouja L.M. et Bouzid S., 2005-** Caractérisation de l'état de sénescence de la suberaie Tunisienne. Bull. IOLB/Wprs. Pp:14-21
- Ofélia A, Pereira H, Emilia Rosa M., 2011-** Tensile properties of cork in axial stress and influence of porosity, density, quality and radial position in the plank Eur. J. Wood Prod. (2011) 69. Springer-Verlag. Pp: 85–91
- Oliveira G., Correia O.A., Martins-Loução M.A., Catarino F.M., 1994-** Phenological and growth patterns of the Mediterranean oak *Quercus suber* L., Trees 9 (1994). Pp: 41–46.
- Oliveira G, Martinis-Loucao M.A. et Correia O., 2002-** The relative importance of cork harvesting and climate for stem radial growth of *Quercus suber* L. Ann. Forst. Sci.59. INRA, EDP Sciences. Pp: 439-443.

- Oliveira A C, Peres C M, Correia Pires J M, Silva Pereira C, Vitorino S1, Figueiredo Marques J J, Barreto Crespo M T, San Romao M.V., 2003-** Cork stoppers industry: defining appropriate mould colonization. *Microbiol. Res.* 158. Pp:117– 124
- Oliveira G et Costa A., 2012-** How resilient is *Quercus suber* L. to cork harvesting? A review and identification of knowledge gaps. *Forest Ecology and Management*, 270. Pp: 257-272.
- ONS, 2015-** Statistiques des Exportation du liège durant la période 2000-2015. ONS. Alger. 1p
- Orfs J-P et Vallauri D, 2008-** La seconde vie d'un bouchon de liège. Panorama mondiale des initiatives de collecte et recyclage. WWF. Marseille (France). 20 p
- Orgeas J et Bonin G., 1996-** Variabilité des nutriments foliaires de *Quercus suber* L. dans différentes situations écologiques dans le massif des Maures (Var, France) et relations avec la production de liège. *Ann. Sci. For.* 53. Pp : 615-624.
- Ouelmouhoub S., 2005-** Gestion multi-usage et conservation du patrimoine forestier : cas des subéraies du Parc National d'El Kala (Algérie). Thèse. Master of Science. CIHEAM-IAMM n°78. Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier. 129p
- PAMAF, 1999** -Caracterização da qualidade tecnológica das cortiças portuguesas (1995-1999). Projecto 4053.
- Pereira H., Rosa M E. et Fortes M A., 1987-** The cellular structure of cork from *Quercus suber* L. *IAWA. Bull.* N°08. Pp :213- 218
- Pereira H., 1988-** Chemical composition and variability of cork from *Quercus suber* L. *IAWA. Bull.* 8(3). Pp:213-218
- Pereira H., Graça J., Baptista C., 1992-** The effect of growth rate on the structure and compressive properties of cork, *IAWA. Bull.* n. s. Vol 13(4). Pp : 389–396.
- Pereira H, Melo B et Pinto R., 1994-** Yield and quality in the production of cork stoppers. *Holz Roh- und-werkstoff*, 52. pp:211-214
- Pereira H, Lopes F et Graça J., 1996-** The evaluation of the quality of cork planks by image analysis. *Holzforshung*, 50. Pp:111-115.
- Pereira H., 1998** - O calibre e a porosidade como parâmetros da qualidade tecnológica da cortiça em prancha *Revista Florestal* XI (2). Pp: 46-50.
- Pereira H., 2007-** *Cork : Biology, Production and uses.* Ed. Elsevier Science & Technology, Oxford, UK. 329p.
- Pereira H., 2008-** Le liège : Biologie, production et utilisation. Conclusion sélectionnée. Académie AMORIM. 10p.
- Piazzetta R, 2004-** Réhabilitation des suberaies incendiées : Quelles perspectives pour l'utilisation du liège brûlé en bouchonnerie ?. *Vivexpo 2004 : Le chêne-liège face au feu.* Vivés, France, 8p.
- Piazzetta.R, 2006-** Dispositif COVELESS CQ05 d'estimation de la qualité du liège sur pied Bilan d'utilisation dans les Pyrénées-Orientales (campagne 2006). IML. Vivés, France. 26p
- Piazzetta R. et Lecomte B., 2006-** Planter du chêne liège en Roussillon. *Rev. Les nouvelles feuilles forestières.* N°86. CRPF, Languedoc-Roussillon. Pp : 4-6.
- Piazzetta.R., 2007-** Dispositif Coveless CQ 05. *Infoliège*, n°12. IML. Vivés, France. 8p.

- Plieninger T, Van der Horst D, Schleyer C et Bieling C., 2014-** Sustaining ecosystem services in cultural landscapes. *Ecology and Society*. Pp :19- 59.
- PNT ., 1999-** Plan de gestion. Section A : Etude de milieu : approche descriptive et analytique .Parc National de Tlemcen. 134 p.
- Pointereau P., 2006-** La diversité des systèmes arborés et des pratiques de gestion dans le Sud de l'Europe : les dehesas ibériques et les hautains méditerranéens. 1^{er} colloque Européen sur les trognes, Vendôme. 6p.
- Pouillaud C H., 1957 -** Le liège et les industries du liège, tome 1, Les impressions techniques, Paris, 1957.
- Puyo J Y.,2013-** Grandeurs et vicissitudes de l'aménagement des suberaies algériennes durant la période coloniale française (1830-1962). *Forêt méditerranéenne* t. XXXIV, n° 2, juin 2013. Pp :129-142
- Prat R., 2005-** Le bois. B media, Univ., Pierre et Marie curie, France. 11p
- Quelenis N., 2008-** Fiche technique Agro-industrie « Le liège ». Fiche n°33. 6p.
- Quezel P, 1976-** Les forêts du pourtour méditerranéen. In *Forêts et maquis méditerranéens : écologie, conservation et aménagement*. Note technique MAB 2.UNESCO. Paris. Pp : 9-33
- Quezel P et Santa S., 1962-** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome 1, CNRS, Paris. 565p.
- Quezel P., 2000 -** Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Ibis Press, Paris.117 p.
- Quezel P et Medail L., 2003-** Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Lavoisier, Paris. 576p.
- Radi N., 2009 -** Contribution à l'Étude des accroissements annuels du liège en relation avec la pluviométrie dans la suberaie de Nesmoth (w.Mascara). mém. Ing. Dep. Forst. Fac. Sci. Univ. Tlemcen. 96p.
- Ribas-Marques J., 1952-** Etude de la constitution chimique du liège. *Chimie et industrie*, 68(3). Pp : 333-350
- Robert B, Bertoni G, Sayag D et Masson P M., 1996-** Assessment of mineral nutrition of cork oak through foliar analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 27. Pp : 2091-2109.
- Rondeux.J., 1999-** La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Les presses Agronomiques. Gembloux. 521p.
- Rosa M.E., Pereira H. et Fortes M.A., 1990-** Effects of hot water on the structure et and compressive properties of cork. *Wood and Fiber Sciences*. (22). Pp: 149-164.
- Rosa M E., 1993-** Water absorption by cork. *Wood and Fiber Sciences*. 25(4). Pp: 339-348
- Rosa M E, Pereira H et Fortes M A., 1994-** Effects of hot water on the structure and compressive properties of cork. *Wood and fiber*. Sci.22. Pp: 149-164.
- Rosa M.E. et Fortes M.A., 1988-** Rate effects on the compression and recovery dimension of cork. *J. Mat. Sci* (23). Pp : 879-885.
- Rossello E.R. et Beltran R.S., 2008-** Quelques arguments en faveur de la suberaie e du liège. Acte du colloque La guerre des bouchons , Vivexpo 2008. ICMC. Vivés, France. 7p.

- Roula B et Messaoudene M., 2015-** Etude de la qualité du liège de reproduction des suberaies de la région de Jijel (nord-est d'Algérie). Les actes du Med Suber 1 : 1ère Rencontre Méditerranéenne Chercheurs-Gestionnaires-Industriels sur la Gestion des Subéraies et la Qualité du liège. Univ. Tlemcen. Pp : 90-97.
- Roula B., 2010-** Etude de la qualité du liège de reproduction dans les suberaies de Jijel. Ecole Nat Sup Agro. Algérie. 79p
- Saccardy L., 1937 -** Note sur le chêne-liège et le liège en Algérie. Bull. Stat. For. Nord Afr. T 2. Pp: 271-374.
- Sánchez-González M , Tomé M, Montero G., 2005-** Modelling height and diameter growth of dominant cork oak trees in Spain. Ann. For. Sci. 62 INRA, EDP Sciences (2005). Pp: 633-643.
- Sauvagnac G., 1956 -** Les forêts domaniales de Zariéffet et de Hafir. Bull. Soc. Amis du vieux Tlemcen. Pp : 47-53.
- Schweingruber F H., 1986-** Abrupt growth changes in conifers. IAWA Bull. Vol 7.n° 4. Pp: 277-283.
- Sebei H, Albouchi A, Rapp M, El Aounid H., 2004-** Productivité en biomasse du chêne liège dans une séquence de dégradation de la suberaie à Cytise de Kroumirie (Tunisie). Ann. For. Sci. 61. INRA, EDP Sciences, 2004. Pp : 347–361.
- Seltzer P., 1946 -** Le climat de l'Algérie. La Typo-Litho. Alger. 249p.
- Sesbou A. et Hachemi M., 1989-** Le liège, caractéristiques technologiques et utilisation. ENFI. Salé. 20p.
- Sghaier T, Garchi S, Ammari.Y, khouaja A, Santiago R et Rosello M., 2011-** Estimation de la qualité du liège en pile selon la méthode de l'IPROCOR : Application à une pile du liège tunisien. Geo-Eco-Trop, 35. Pp : 51-68.
- Simeone MC, Federici Vessella V, Salis A, Larbi H, Schirone A, Bellarosa R et Schirone B., 2010-** Biogeography of North African cork oak (*Quercus suber L.*). IOBC/wprs Bull, 18. Pp: 1-8.
- Soares J., 1973-** Tannins in cork water from boiling the planks-paper chromatography. Boletim do Instituto dos productos Florestais Cotica. Vol 35. 420. Pp:192-196.
- Soares B, Reis L et Sousa L., 2011-** Cork composites and their role in sustainable development. Elsevier, Procedia Engineering 10, (2011). Pp: 3214–3219
- Soest J F, Matthews P C., 1985-** Laser scanning technique for defect detection, First Inter. Conf. on Scanning technology in sawmilling, 1985. Pp: 4- 17.
- Stewart P., 1969-** Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique : quelques réflexions. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, 59 (1-4). Pp: 23-36.
- Surovy P, Olbrich A, Polle N A., Ribeiro B, Sloboda R., Langenfeld-Heyser R., 2009-** new method for measurement of annual growth rings in cork by means of autofluorescence. Trees (2009) 23. Pp:1237–1246.
- Taco C, Fernando L et Pereira H., 2003-** La variation dans l'arbre de l'épaisseur du liège et du dos des planches de liège pour des chênes lièges en pleine production. Anais Do Instituto Superior De Agronomia. Pp : 209- 221.
- Thintoin R., 1948 -** Les aspects physiques du tell oranais. Essai de morphologie de pays semi aride. Thèse Doct. Ed. Fouquet. Oran. 606p.

- Trabaud L., 2001-** Relation entre les teneurs en bioéléments chez divers végétaux méditerranéens. Ann. Forst. Sci. 58. INRA, EDP Sciences. Pp : 555-567.
- Varela M C, 2004-** Liège, une valeur ajoutée pour les vins. Revue Des Œnologues. N° 112 Juillet 2004. 2p.
- Varela M C., 2008-** Importance du bouchon de liège pour la sauvegarde des subéraies. Actes du colloque La guerre des bouchons . Vivexpo 2008. IML. Vivés. 3p.
- Veillemant C et Fraval A., 2002** – Les insectes ennemis du liège. Insectes. N°125. 2002 (2). Pp: 25-30.
- Vignes E., 1988-** Sylviculture du chêne liège : directive de l'office national des forêts dans le Var. Forêt méditerranéenne, T X, N°01, Paris. Pp : 164-165.
- Vignes E., 1990-** Le traitement du taillis du chêne liège. Actes Editions, Rabat. 336 p.
- Vilar P, 1934-** L'Espagne et le commerce mondial du liège. In: Annales de Géographie. 1934, t. 43, n°243. Pp : 282-298.
- Villement C et Fraval A, 2002-** Les insectes ennemis du liège. Rev. Insectes 25. N°125.6p
- Vivas N., 1995-** Sur la notion de grain en tonnellerie. Sci, Tech, Tonn, Démptos. Talence ,France. 9p.
- Yessad S.P., 2000-** Le chêne liège et le liège dans les pays de la méditerranée occidentales. Ed. ASBL. Forêt Louvain-la-Neuve : Wallonne. 190p.
- Zhang S.H et Romane F., 1991-** Variation de la croissance radiale de *Quercus ilex*.L en fonction du climat. Ann. Sci. For. (48). Elsevier, INRA. Pp : 225-234.
- Ziani-Cherif M., 2013** - Caractérisation sanitaire et sylvicole d'un jeune peuplement artificiel du chêne liège en vue d'une utilisation durable de son liège Cas : de la forêt de M'SILA. Thèse. Mag. Dép. Forest. Fac. Sc. Univ. Tlemcen.138 p.
- Zine M., 1992** - Situation et perspectives d'avenir du liège en Algérie. Actes du Colloque Les Subéraies méditerranéennes . Vivés, France. Pp : 98-107.
- Zeraïa L., 1981-** Essais d'interprétation comparative des données écologiques, phénologiques et de production subéro-ligneuse dans les forêts de chêne liège de provenance cristalline (France méridionale) et Algérie. Thèse. Doct. Université Aix-Marseille. 367 p

ANNEXE

Tableau 01: les accroissements courants annuels de quelques échantillons de zariéffet

ZA1	ZA2	ZA3	ZA4	ZA5	ZA6	ZA7	ZA8	ZA9	ZA10	ZA11	ZA12	ZA13	ZA14	ZA15	ZA16	ZA17
1,624	2,789	0,908	1,901	2,626	1,097											
5,597	4,446	1,866	2,101	4,089	1,742	1,644	1,291	1,993	1,669	1,78999	3,26	3,057	1,6981			
4,609	4,877	2,825	4,206	3,672	1,379	2,378	2,685	3,754	3,848	5,39033	4,56	2,304	2,871			
5,446	3,348	3,503	5,274	3,411	1,242	1,508	5,521	4,57	4,684	3,76991	5,01	2,966	3,905	2,341	1,634	3,773
2,236	3,83	2,488	5,160	3,459	1,605	1,659	5,495	5,639	2,695	2,70011	4,72	1,170	2,14	3,435	4,51	2,72
1,523	3,882	2,376	5,238	3,723	1,490	2,073	5,281	2,886	3,797	2,35164	4,00	1,930	2,851	3,851	3,268	2,467
3,08	2,511	2,319	4,366	3,055	1,417	1,591	3,631	2,795	3,27	1,70969	5,49	2,055	2,667	3,114	4,34	3,073
3,609	3,654	3	4,064	3,877	1,124	2,007	3,339	3,582	2,628	1,80415	4,53	2,485	3,242	3,368	3,755	4,31
3,44	4,507	3,109	3,562	4,081	1,292	1,397	3,058	4,714	2,89	1,96585	3,97	1,965	2,631	2,937	2,756	3,297
3,353	4,519	3,338	3,573	4,29	2,246	1,106	2,557	4,283	1,731	1,72181	3,55	1,736	2,312	3,964	4,075	3,303
2,005	3,44	3,006	2,592	3,476	2,136	1,133	2,609	2,924	2,203	1,63353	2,18	2,217	2,277	3,333	4,176	1,953
1,836	2,956	1,699	3,358	2,757	1,376	1,167	1,823	3,61	2,137	1,65522	2,60	1,571	2,096	3,889	3,247	1,987
1,609	3,614	2,092	2,327	2,855	1,237	1,243	2	2,38	1,158	1,27848	1,79	1,151	1,327	3,468	3,627	2,077
1,378	2,156	2,544	2,875	2,23	0,987	1,233	1,577	1,68	1,672	1,36445	1,85	2,784	2,314	2,845	2,983	1,757
1,455	2,019	2,15	2,606	2,221	1,096	1,282	1,483	2,331	1,799	1,71389	2,04	2,357	2,151	2,628	2,444	3,27
0,993	1,905	1,431	1,6912916	2,006	0,985	0,958	1,456	0,966	1,352	1,37253	1,21	1,582	1,74	1,195	1,193	1,377

Tableau 02: les accroissements courants annuels de quelques échantillons de Zerdeb

Zer1	Zer 2	Zer3	Zer4	Zer5	Zer6	Zer7	Zer8	Zer9	Zer10	Zer11
2,41										
1,79										
3,12	2,63	3,44								
2,70	3,04	2,80								
2,56	2,67	2,46	2,298							
2,06	2,53	1,61	5,488							
1,81	1,59	1,70	3,707						2,69	2,04
2,04	1,38	2,69	4,297						2,33	1,72
2,23	2,74	2,33	4,006						1,15	1,63
1,52	2,41	1,15	3,117	1,51	4,419	2,106			0,91	1,83
1,99	1,30	0,91	3,927	1,67	5,414	3,058			1,44	1,89
1,19	1,22	1,44	3,707	1,78	5,13	1,27			1,55	1,58
1,28	1,70	1,55	2,695	1,73	4,56	2,04	4,84	3,42	1,01	1,75
1,35	0,85	1,01	1,858	1,58	3,70	2,01	2,41	4,81	1,77	1,88
1,15	1,07	1,77	1,804	1,88	3,65	2,57	3,02	2,88	1,08	2,44
1,19	1,07	1,08	1,715	2,65	3,39	1,93	3,63	3,52	1,39	2,32
1,68	1,11	1,39	1,999	2,71	3,23	2,01	3,39	2,36	1,59	3,75
1,35	1,00	1,59	1,501	5,09	2,98	2,19	3,17	1,84	1,36	1,84
1,30	0,82	1,36	1,264	1,87	2,76	1,55	2,32	1,30	1,52	1,56
1,86	1,08	1,52	1,337	1,29	2,37	0,95	1,98	1,54	1,17	2,18
1,35	1,15	1,17	1,707	2,74	2,48	3,06	2,04	2,66	1,24	1,78
1,21	1,26	1,24	2,446	1,77	2,32	2,44	4,95	2,23	1,26	1,51

Tableau 03: les accroissements courants annuels de quelques échantillons de Hafir

H23	H1	H26	HX	H22	H4	H30	H8	H27	H11	H17	H24	H20	H9	H13	H6	H7	H3	H09	H28
2540	2375	2475	2110	2440	1060	2125	2155	980	1785	1980	1725	1925	2130	2420	1840	1900	2015	2525	2120
3490	2405	3250	2465	3130	3995	3285	3505	1285	3125	2450	3415	2695	2545	3205	2215	3045	3150	2615	3305
2205	3020	3120	2940	2700	1820	2155	3060	1935	2210	1840	3465	2050	1710	2620	1440	2255	2515	2505	3380
1865	4435	2645	3550	1835	1745	1790	2890	2045	2555	1810	2350	2255	2195	2890	1500	2365	2850	2640	2895
1790	3705	2385	4035	3015	2080	3290	2980	2480	3045	2340	2865	2860	2960	2830	1945	2700	3015	4510	4020
2940	4155	3265	2715	4975	3340	4170	5000	3195	5780	3600	4670	3345	3000	3490	3185	4085	5525	6745	5895
2240	1960	2040	1580	3390	1395	2203	2650	2245	2330	1990	2115	1555	2000	1445	1610	1835	1800	4435	1595
1170	1865	2325	1895	2560	1345	1960	3620	1960	3755	2305	2350	2650	2875	2580	2715	2600	2915	4945	2005
				1345	1005	1405	2580	925	2355	1900	1940	1950	2925	4050	1585	3200	2680	6180	3795
													2090	3805	1060		1755	2425	3710

Tableau 04: les accroissements courants annuels de quelques échantillons de M'Sila

M7	M1	M6	M23	M15	M24	M16	M8	M17	M12	M20	M9	M26	M22	M25	M13	M5	M18	M21	M3
2465	3290	1390	3935	2245	1460	1410	3355	2915	2035	3755									
2910	5720	3385	6005	5465	2635	3165	5520	4010	3075	3580	1885	4325	2325	2395	1980	1000			
2895	4700	5075	4970	4600	3255	2395	5035	3880	3165	3185	3635	5050	3140	3725	4115	3315	2245	2525	985
3925	2895	2995	4150	4405	3120	2175	3895	2045	3545	3125	3100	3570	2180	2500	4350	3535	3780	3555	3075
3160	2530	4025	4560	4525	3250	3185	3430	3080	1455	3470	2560	2385	2315	2220	2455	2380	3045	4010	3050
2030	2695	3140	2640	5070	2495	2820	1715	3285	1210	1500	4805	3340	3650	3180	4205	2440	2795	3975	3920
1850	4710	3795	4205	3820	2940	1360	3635	2915	2980	2885	3455	3190	2970	2225	3840	2290	3125	6380	3995
2715	2770	2755	2900	1785	2020	1880	2430	2015	1120	2575	1910	2720	1630	2090	2775	2440	3040	3995	1620
2110	2185	2670	2325	2640	2060	2740	2340	1935	1955	2415	2360	3005	2510	1980	3130	3295	1850	3675	1775
1620	2685	2340	3325	3760	3335	1530	3870	2300	3075	2820	3230	4745	3880	2500	2675	3300	1770	3475	3025
2035	2280	2345	2670	2800	2160	1615	2970	1815	2300	2005	2300	3200	2535	3485	2000	1870	1530	1945	1080

Tableau 05: Fiche de notation des défauts du liège de Hafir

Echantillons	Def>20%	V	C	EX	TI	F	TJ	TP	TN	LV	LF	LT	S	A T
HA 1	0	0	0	0	0	0	0	B	0	0	0	0	0	0
HA 2	0	0	0	0	0	0	0	B	0	0	0	0	0	0
HA 3	0	1	0	0	0	0	0	D	0	0	0	0	0	0
HA 4	0	0	0	0	0	0	0	C	0	0	0	0	0	0
HA 5	0	1	2	0	0	1	0	B	0	0	0	0	0	0
HA 6	0	0	0	0	0	1	0	B	0	0	0	0	0	0
HA 7	0	0	0	0	0	0	0	A	0	0	0	0	0	0
HA 8	0	0	2	0	0	1	0	C	0	0	0	0	0	0
HA 9	1	0	1	0	0	0	0	D	0	0	0	0	0	0
HA 10	1	0	0	0	0	0	0	C	0	0	0	0	0	0
HA 11	0	1	1	0	0	0	0	A	0	0	0	0	0	0
HA 12	1	0	1	1	0	1	0	C	0	0	0	0	0	0
HA 13	1	0	2	0	1	0	0	D	1	0	0	0	0	0
HA 14	0	0	1	0	0	0	0	B	0	0	0	0	0	0
HA 15	1	0	0	0	0	0	0	C	0	0	0	0	0	0
HA 16	1	0	0	0	0	0	0	D	0	0	0	0	0	0
HA 17	0	0	0	0	0	0	0	A	0	0	0	0	0	0
HA 18	0	0	0	2	0	0	0	A	0	0	0	0	0	0
HA 19	0	0	0	0	0	0	0	A	0	0	0	0	0	0
HA 20	0	0	0	0	0	0	0	B	0	0	0	0	0	0

HA 21	0	0	1	0	0	1	0	B	0	0	0	0	0	0
HA 22	0	0	0	1	0	1	0	A	0	0	0	1	0	0
HA 23	0	1	2	0	0	2	0	E	0	0	0	0	0	0
HA 24	1	1	1	0	0	1	0	C	0	0	0	0	0	0
HA 25	0	0	0	0	0	0	0	A	0	0	0	0	0	0
HA 26	0	0	0	0	0	0	0	A	0	0	0	0	0	0
HA 27	0	0	0	0	0	0	0	B	0	0	0	0	0	0
HA 28	1	1	2	0	0	1	0	F	0	0	0	0	0	0
HA 29	0	0	0	0	0	0	0	A	0	0	0	0	0	0
HA 30	1	0	0	0	0	0	0	F	0	0	0	0	0	0

Tableau 06: Fiche de notation des défauts du liège de Zariéffet

	Def> 20%	V	C	EX	TI	F	TJ	TP	TN	LV	LF	LT	S	A T
ZA 1	0	1	0	0	0	1	0	B	1	1	0	0	0	0
ZA 2	1	0	2	0	0	1	0	C	0	0	0	0	0	0
ZA 3	0	0	1	0	0	0	0	B	1	0	0	0	0	0
ZA 4	0	0	0	0	0	0	1	D	1	0	0	0	0	0
ZA 5	1	0	1	0	0	1	0	F	1	0	0	0	0	0
ZA 6	0	0	0	2	0	0	0	C	1	0	0	0	0	0
ZA 7	0	1	2	0	0	1	0	C	0	1	0	0	0	0
ZA 8	0	2	1	0	0	0	0	B	0	0	0	0	0	1
ZA 9	0	0	1	0	0	0	0	B	0	0	0	0	0	0
ZA 10	1	2	0	0	0	1	0	D	0	0	1	0	0	0
ZA 11	1	1	0	0	0	0	0	B	0	0	0	0	0	0
ZA 12	0	0	0	0	0	0	0	B	0	0	0	0	0	1
ZA 13	1	0	1	0	0	1	0	C	0	0	0	0	0	0
ZA 14	1	1	0	0	0	1	0	D	0	0	0	0	0	1
ZA 15	1	2	1	0	0	1	0	F	0	0	0	0	0	0
ZA 16	0	0	0	0	0	0	0	B	0	0	1	0	0	0
ZA 17	0	0	0	0	0	0	0	A	0	0	0	0	0	0
ZA 18	0	0	1	0	0	1	0	F	0	0	0	0	0	0
ZA 19	1	0	1	1	0	0	0	D	0	0	0	0	0	0
ZA 20	1	2	2	0	0	0	0	F	0	0	0	0	0	0
ZA 21	0	0	2	0	0	1	0	A	0	0	0	0	0	0
ZA 22	0	0	2	0	1	1	0	B	0	0	0	0	0	0
ZA 23	1	2	1	1	0	0	0	D	1	0	0	0	0	0
ZA 24	0	0	1	0	0	1	0	A	1	0	0	0	0	0
ZA 25	1	0	1	0	0	1	0	C	1	0	0	0	0	0

Tableau 07: Fiche de notation des défauts du liège de Skikda

	Def>20%	V	C	EX	TI	F	TJ	TP	TN	LV	LF	LT	S	A T	LL
SK3	1	1	1	0	0	1	0	E	0	1	0	0	0	1	1
SK4	1	1	2	0	1	1	0	F	1	0	0	0	0	0	
SK5	0	1	2	0	0	1	0	F	1	1	0	0	0	0	1
SK6	1	1	1	1	0	0	1	D	1	0	0	0	0	0	0
SK7	0	0	2	0	0	1	0	C	0	0	0	0	0	1	1
SK8	0	0	0	1	0	1	0	D	0	0	0	0	0	0	0
SK9	0	0	1	0	0	0	0	C	1	0	0	0	0	0	0
SK10	1	1	0	0	0	1	0	F	0	0	0	0	0	0	0
SK11	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
SK12	1	0	1	0	0	1	0	D	1	0	0	0	0	1	0
SK13	1	1	1	0	0	0	0	F	1	0	0	0	0	0	0
SK14	1	1	1	0	0	0	0	E	1	0	0	0	1	0	0
SK15	1	0	1	0	0	0	0	E	0	0	0	0	0	0	1
SK16	1	0	1	0	0	1	0	E	1	0	0	0	0	0	1
SK17	0	0	1	0	0	0	0	B	0	0	0	0	0	0	1
SK18	1	2	2	0	1	1	1	D	0	0	0	0	0	0	0
SK19	1	1	1	0	1	2	1	D	1	0	0	0	0	0	0
SK20	1	2	1	0	0	0	1	C	0	0	0	0	0	1	0
SK21	1	1	1	0	0	0	0	D	0	0	0	0	0	0	1
SK22	0	0	1	0	1	1	0	C	0	0	0	0	0	0	0
SK23	0	0	1	0	0	1	0	C	1	1	0	0	0	1	0
SK24	1	1	1	0	0	1	0	C	0	0	0	0	0	1	0
SK25	1	0	1	0	0	0	1	F	1	0	0	0	0	0	0
SK26	1	2	1	1	0	0	0	E	0	1	1	0	0	0	0
SK27	0	0	1	0	0	0	0	E	0	1	0	0	0	1	1
SK28	0	1	1	0	1	1	0	C	0	0	0	0	0	0	1
SK29	1	0	1	1	0	1	1	D	1	0	0	0	0	0	0
SK30	1	1	1	1	0	1	1	E	1	0	1	0	0	1	0

Tableau 08: Quelques variables de la porosité de l'échantillon Za14

Obj#	Area	Aspect	Angle	Axis (major)	Axis (minor)	Diameter (max)	Diameter (min)	Diameter (mean)	Perimeter	Roundness
1	1,401	6,467	7,682	3,544	0,548	3,442	0,508	1,587	7,913	4,193
30	0,502	4,871	174,555	1,818	0,373	1,696	0,304	0,893	3,725	2,694
17	0,561	1,748	11,539	1,124	0,643	1,104	0,591	0,832	2,802	1,179
4	0,726	1,269	82,709	1,154	0,910	1,201	0,819	0,943	3,739	1,637
10	0,766	1,292	159,578	1,266	0,980	1,108	0,655	0,896	5,134	3,230
100	0,806	7,032	1,980	2,794	0,397	2,912	0,424	1,147	6,650	5,344
62	0,849	2,276	2,331	1,970	0,866	2,495	0,330	1,062	8,714	9,596
6	0,869	1,166	134,520	1,171	1,004	1,247	0,844	1,006	3,816	1,376

32	0,958	19,710	5,795	5,024	0,255	4,921	0,430	1,523	9,973	10,664
107	1,038	3,669	8,770	2,293	0,625	2,330	0,588	1,378	5,873	3,123
111	1,189	5,292	5,923	3,022	0,571	2,931	0,549	1,465	7,290	4,139
15	1,487	1,308	5,001	1,606	1,228	1,814	1,193	1,356	5,006	1,542
29	1,508	5,113	7,986	3,230	0,632	3,302	0,515	1,690	7,339	3,058
48	1,542	4,387	9,872	3,025	0,690	2,797	0,609	1,507	7,182	3,143
49	1,789	6,990	6,246	4,495	0,643	4,459	0,456	1,816	11,022	6,186
75	1,837	2,977	3,088	2,690	0,904	2,665	0,764	1,506	6,736	2,136
85	2,806	11,222	6,048	6,832	0,609	6,338	0,643	2,292	15,557	7,374
9	2,971	1,848	150,998	2,815	1,523	2,821	0,778	1,962	9,258	2,414
70	3,285	12,904	3,114	8,170	0,633	8,108	0,398	2,563	18,155	8,638
106	3,397	4,248	4,986	4,463	1,051	4,135	0,764	2,074	10,524	2,701
21	3,456	27,590	6,994	11,443	0,415	10,802	0,449	2,375	22,246	12,487
74	4,383	7,319	6,946	6,849	0,936	6,873	0,776	2,219	16,742	5,511
14	6,203	16,649	7,550	12,782	0,768	13,289	0,881	2,567	27,549	8,156
13	12,040	24,979	6,703	21,398	0,857	20,145	0,667	3,757	43,251	12,546
16	14,953	9,803	4,967	14,973	1,527	15,569	1,167	3,501	48,517	12,857

Tableau 09: Quelques variables de la porosité de l'échantillon Ze 10

Obj#	Area	Aspect	Angle	Axis (major)	Axis (minor)	Diameter (max)	Diameter (min)	Diameter (mean)	Perimeter	Roundness
1	4,16	9,70	5,01	8,03	0,83	7,82	0,33	2,44	19,04	7,57
2	16,65	5,66	176,71	11,51	2,03	11,99	2,04	3,84	28,93	4,10
42	0,54	4,95	84,92	1,93	0,39	1,85	0,65	1,13	4,31	3,26
111	0,55	6,05	176,77	2,22	0,37	2,10	0,34	1,07	4,79	4,15
120	0,56	2,36	166,14	1,32	0,56	1,22	0,49	0,84	3,05	1,52
25	0,57	2,39	173,50	1,32	0,55	1,40	0,51	0,86	3,15	1,67
34	0,57	4,62	110,90	1,89	0,41	1,92	0,42	0,97	4,22	3,25
66	0,78	5,25	176,26	2,34	0,45	2,07	0,33	1,13	4,78	2,64
113	1,06	1,99	27,76	1,66	0,83	1,70	0,73	1,20	4,60	1,77
96	1,14	1,25	49,45	1,37	1,10	1,55	1,02	1,20	4,69	1,66
108	1,25	3,70	177,48	2,48	0,67	2,32	0,60	1,48	5,65	2,29
8	1,52	6,41	116,04	3,72	0,58	4,06	0,31	1,55	9,14	4,93
121	1,62	1,94	174,25	2,05	1,06	2,14	0,87	1,46	5,74	1,75
110	2,02	1,85	178,98	2,41	1,30	2,26	0,91	1,82	9,31	3,81
5	2,05	2,51	175,77	2,98	1,19	3,14	0,39	1,51	9,72	4,11
67	2,12	17,39	179,75	7,66	0,44	8,18	0,44	2,12	17,65	13,69
51	2,52	6,45	2,32	4,85	0,75	4,62	0,49	1,85	10,91	4,23
103	2,73	10,54	3,57	6,58	0,62	6,33	0,45	1,81	13,53	5,66
9	2,94	4,41	176,93	4,33	0,98	4,79	0,79	2,01	12,36	4,36
105	3,43	4,87	2,48	4,84	0,99	4,72	0,73	2,29	11,26	3,12
70	3,96	9,44	174,49	7,23	0,77	7,24	0,65	2,29	16,56	5,94
86	4,36	4,24	0,76	4,96	1,17	5,13	1,03	2,31	12,84	3,25

7	4,94	5,37	177,45	5,97	1,11	5,41	0,89	2,41	12,99	2,82
49	8,44	8,68	178,03	10,74	1,24	11,59	0,86	3,15	27,43	7,38
20	9,37	8,56	177,38	11,35	1,33	10,94	0,86	2,64	29,11	7,52
13	16,17	8,06	172,65	14,71	1,83	15,53	0,81	3,26	54,92	14,95
10	16,50	10,22	1,26	15,01	1,47	14,87	1,20	3,56	33,15	5,55
38	16,52	5,19	176,66	10,90	2,10	11,27	1,65	3,78	28,05	4,02
22	19,46	8,75	174,87	16,05	1,83	16,94	1,28	3,98	48,69	10,24
12	33,11	4,74	179,06	15,02	3,17	16,94	2,34	5,44	47,90	5,57

Tableau 10: Fiche de mesures effectuées à l'usine sur une planche de liège de Zariéffet

N°	Epaisseur (mm)		Poids (Kg)	Surface		Nbe de bande	Poids de bandes avant fabrication (Kg)	Poids déchets primaire (Kg)	Nbre total de bouchons fabriqués	Poids total des bouchons	Poids et nbre de bouchons utiles	Poids et nbre de bouchons éliminés	Poids de bandes après tubage
				Longueur	Largeur								
2	39	40	3,5	118	50	23	3,3	0,2	250	0,7	0,3	0,4	1,95
	35	40		98	50								

N°	N° de la bande	Epaisseur (Cm)		Classe de qualité	Défaut	Longueur Cm	Largeur Cm	nbre total des bouchons	Poids et nbre de bouchons utiles	Poids et nbre de bouchons éliminés
1	20	3,4	4	C18	TJ	31	5	11	5	6
		3,6	3,2							
2	2	4,5	4,5	C17	TJ		5	2	2	0
		3,6	3,6							
3	10	4	3,5	C17	TJ	50	5	9	4	5
		3,3	4							
4	8	3,6	3,7	C17		45	5	9	6	3
		4	3,7							
5	14	4	3,5	C37		60	5	10	5	5
		3,7	4							
6	16	3,6	3,5	C37		31	5	7	1	6
		3	3							
7	12	4	3,8	C32	TJ	36	5	9	4	5
		4,2	4,1							
8	18	3,5	3,5	C28	TJ	30	5	8	5	3
		3,8	3,2							
9	4	32	35	C17	TJ	32	5	8	6	2
		35	39							
10	6	3,5	3,5	C22	TJ	33	5	9	4	5
		4	3							

Tableau 11: Fiche de mesures effectuées à l'usine sur une planche de liège de Zerdeb

N°	Epaisseur (mm)		Poids (Kg)	Surface		Nbe de bande	Poids de bandes avant fabrication (Kg)	Poids déchets primaire (Kg)	Nbre total de bouchons fabriqués	Poids total des bouchons	Poids et nbre de bouchons utiles	Poids et nbre de bouchons éliminés	Poids de bandes après tubage
				Longueur	Largeur								
1	50	30	2,2	87	37	13	2	0,2	99	1,45	39	2	0,75
	25	40		86	41								

N°	num de la bande	Epaisseur (Cm)		Défaut	Long (cm)	Larg	Classe de qualité				
							U1	U2	U3	U4	U5
1	11	45	60	trou d'insecte, poreux, croûteux	25	5	C21	c26	c36		
		40									
2	10	50	35	trou d'insecte, poreux, croûteux	38	5	C16	C21	C36	C31	
		40									
3	4	45	40	trou d'insecte, poreux, croûteux	36	5	C37	C37	C37	C27	
4	5	45	45	trou d'insecte, poreux, croûteux	37	5	C26	C31	C31	C36	
5	3	45	40	trou d'insecte, poreux, croûteux	27	5	C26	C36	C36		
6	13	45	60	trou d'insecte, poreux, croûteux	26	5	C36	C21	C21		
7	9	45	50	trou d'insecte, poreux, croûteux	39	5	C21	C26	C36	C36	
		40									

Tableau 12: Fiche de mesures effectuées à l'usine sur une planche de liège de Skikda

N°	Epaisseur (mm)		Poids (Kg)	Surface		Nbe bande	Poids de bandes avant fabrication (Kg)	Poids déchets primaire (Kg)	Nbre total de bouchons fabriqués	Poids de bandes après tubage
				Longueur	Largeur					
1	25	30	1,95	60	49	9	1,75	0,2	1,75	0,75
	26	26		68	51					

N°	numéro de la bande	Epaisseur (mm)		Défaut	Longueur	Largeur	Classe de qualité				
							U1	U2	U3	U4	U5
1	9	30	25	/	13	5,5	C25				
2	4	26	35	liège terreux	50	5,5	C19	C24	C34	C34	C24
		25							TERREUX	TERREUX	
3	6	30	30	soufflé/poreux	51	5,5	c13	C13	C33	C33	C26
									soufflure	poreux	
4	5	30	25	/	49,5	5,5	C24	C24	C24	C34	C24
5	3	30	31	terreux, poreux	48	5,5	C19	C34	C24	C39	C39
		25						terreux			
6	2	35	30	/	47,5	5,5	C23	C33	C23	C33	C33
7	7	30	35	/	51	5,5	C18	C33	C33	C13	C13
		25	30						soufflure		
8	1	35	30	/	47,5	C13	C33	C13	C33	C33	
		30					poreux				
9	8	25	30	/	34	C28	C28				
		30						C23			

Tableau 13: Tableau récapitulatif de différentes mesures effectuées dans le liège de Hafir

ech	Age	acc	poids	EP moy	Ep cm	L	l	Surf (cm2)	volume cm3	D (kg/m3)	PROD KG/M2
H1	7	2,77	71	28,62	2,862	10,9	11,45	124,805	357,19	198,77	5,689
H2	9	4,32	63,6	21,375	2,1375	15,85	8,55	135,518	289,67	219,56	4,693
H3	9	3,03	73,7	31,93	3,193	13,45	8,6	115,67	369,33	199,55	6,372
H4	8	3,28	76,3	21,89	2,189	16,1	9,6	154,56	338,33	225,52	4,937
H5	10	3,36	75,3	27,63	2,763	15,7	8,3	130,31	360,05	209,14	5,779
H6	9	2,70	45	21,115	2,1115	14,5	6,95	100,775	212,79	211,48	4,465
H7	8	2,33	77,7	25,955	2,5955	16	8,3	132,8	344,68	225,42	5,851
H8	8	3,97	60,8	31,295	3,1295	13,85	7,5	103,875	325,08	187,03	5,853
H9	9	2,49	81,7	29,015	2,9015	18	7,8	140,4	407,37	200,55	5,819
H10	7	2,12	76,9	31,975	3,1975	12,5	9,6	120	383,70	200,42	6,408
H11	8	2,25	41,7	26,295	2,6295	11,6	7	81,2	213,52	195,30	5,135
H12	8	3,39	49,5	24,36	2,436	11,5	8,05	92,575	225,51	219,50	5,347
H13	9	2,56	77,3	31,84	3,184	13,75	8,25	113,438	361,19	214,02	6,814
H14	7	2,66	45,9	21,58	2,158	12,6	7	88,2	190,34	241,15	5,204
H15	8	2,78	53,8	20,195	2,0195	13,7	7,65	104,805	211,65	254,19	5,133
H16	8	2,88	73,6	32,49	3,249	17,55	7,7	135,135	439,05	167,63	5,446
H17	8	2,17	74,3	21,655	2,1655	13,6	12,7	172,72	374,03	198,65	4,302
H18	8	2,16	40,3	19,135	1,9135	12,4	7,45	92,38	176,77	227,98	4,362
H19	11	2,89	56,4	25,48	2,548	13,65	8,75	119,438	304,33	185,33	4,722

H20	8	2,69	56,1	22,98	2,298	12,7	8,7	110,49	253,91	220,95	5,077
H21	7	2,81	56,9	19,94	1,994	12	9,7	116,4	232,10	245,15	4,888
H22	8	2,42	92,4	27,205	2,7205	19,05	7,7	146,685	399,06	231,55	6,299
H23	7	2,02	104,8	21,595	2,1595	14,85	10,6	157,41	339,93	308,30	6,658
H24	8	3,60	66,6	27,37	2,737	12,3	8	98,4	269,32	247,29	6,768
H25	8	3,26	66,7	20,63	2,063	11,85	11,6	137,46	283,58	235,21	4,852
H26	7	2,12	65,5	22,155	2,2155	12,75	9,9	126,225	279,65	234,22	5,189
H27	8	3,09	51,3	21,595	2,1595	12,35	7,5	92,625	200,02	256,47	5,538
H28	9	2,65	153,4	34,405	3,4405	15	10,5	157,5	541,88	283,09	9,740
H29	9	3,06	71,4	27,08	2,708	15,35	7,35	112,823	305,52	233,70	6,329
H30	8	2,67	41,7	26,295	2,6295	11,6	7	81,2	213,52	195,30	5,135

Tableau 14: Tableau récapitulatif de différentes mesures effectuées dans le liège de Zariéffet

	acc moy	age	Poid g	Ep cm	l	L	Surf (cm2)	volume cm3	D (kg/m3)	PROD KG/M2
1	1,31681	36	69,9	5,00	18	4,2	75,6	378,00	184,92	9,24603
2	2,76357	8	25,62	2,65	6,1	5	30,5	80,83	316,98	8,4
3	3,5619	12	38,83	4,40	4,2	9,3	39,06	171,86	225,93	9,94112
4	4,07887	11	38,84	4,30	4,2	10,8	45,36	195,05	199,13	8,56261
5	4,18234	9	34	3,90	9,2	4,4	40,48	157,87	215,36	8,39921
6	3,53576	14	38,9	5,60	10,5	4,5	47,25	264,60	147,01	8,2328
7	3,63885	14	93,99	5,00	19,1	4,2	80,22	401,10	234,33	11,7165
8	3,56128	14	39	5,60	19,4	4,2	81,48	456,29	85,47	4,78645
9	3,15845	14	41	4,60	9,5	4,5	42,75	196,65	208,49	9,59064
10	1,66353	29	35,8	5,35	6,7	4	26,8	143,38	249,69	13,3582
11	3,37123	15	39,6	5,78449	4,4	8	35,2	203,61	194,49	11,25
12	3,55422	15	38,32	6,10	8,85	4	35,4	215,94	177,46	10,8249
13	3,34846	12	39,84	4,29629	4,3	10,8	46,44	199,52	199,68	8,57881
14	3,66457	15	48	5,812	8	5,2	41,6	241,78	198,53	11,5385
15	3,47306	14	49,4	5,70	8,85	4,6	40,71	232,05	212,89	12,1346
16	1,455	15	42,4	2,50	8,8	7,4	65,12	162,80	260,44	6,51106
17	1,52128	14	41,3	2,60	11	6,5	71,5	185,90	222,16	5,77622
18	1,92481	18	15,5	3,90	5,5	4,2	23,1	90,09	172,05	6,70996
19	1,15	47	25,2	6,70	6,4	4,2	26,88	180,10	139,93	9,375
20	3,055	8	24	2,55	6,3	6,1	38,43	98,00	244,91	6,24512
21	2,65488	14	32,37	3,63	8,95	4,5	40,275	146,20	221,41	8,03724
22	2,23531	14	21,43	3,30	6,45	4,4	28,38	93,65	228,82	7,55109
23	2,05312	14	19,48	3,30	6,7	4,5	30,15	99,50	195,79	6,46103
24	2,65143	8	21,83	2,40	6,1	6,4	39,04	93,70	232,99	5,5917
25	3,126	11	16,93	3,80	5	4,7	23,5	89,30	189,59	7,20426

Tableau 15: Tableau récapitulatif de différentes mesures effectuées dans le liège de Zerdeb

N°	acc	age	Poid g	Ep cm	l	L	Surf (cm2)	volume cm3	D (kg/m3)	PROD KG/M2
1	2,656	11	23	3,1	6,6	4,3	28,38	86,56	265,71	8,1043
2	3,174	11	31	3,8	7	4	28	107,07	289,54	11,0714
3	2,174	14	21,81	3,50	6,6	4,35	28,71	100,49	217,05	7,59666
4	3,570	14	47,7	6,40	6	4,5	27	172,80	276,04	17,6667
5	2,092	14	39	3,075	5	11	55	169,11	230,62	7,09091
6	2,715	19	25	5,24	5,6	4,5	25,2	132,05	189,33	9,92063
7	1,708	21	22,93	3,8	7,1	4,41	31,311	118,98	192,72	7,3233
8	1,632	21	40	3,20	11,5	4,6	52,9	169,28	236,29	7,56144
9	1,779	23	42,6	4,20	11,5	5	57,5	241,50	176,40	7,4087
10	1,367	35	61,6	4,20	18,5	4,5	83,25	349,65	176,18	7,3994
11	2,010	11	48,1	3,80	10,2	4,5	45,9	174,42	275,77	10,4793
12	1,750	19	26	3,49	7,4	4,2	31,08	108,38	239,91	8,36551
13	1,490	11	35,33	2,31	5	8	40	92,40	382,36	8,8325

Tableau 16: Tableau récapitulatif de différentes mesures effectuées dans le liège de M'Sila

Ech	EP moy	age	acc moy	poids	EP moy	L	l	Surf (cm2)	volume cm3	D	D (kg/m3)	PROD KG/M2
1	43,035	10 ans	3,4322	154,1	43,035	12,45	10,5	130,725	5625,75	0,03	273,92	11,79
2	28,74	8 ans	2,9229	59,1	28,74	11,15	8,05	89,7575	2579,63	0,02	229,10	6,58
3	37,935	9 ans	3,2569	71,1	37,935	12,15	7,2	87,48	3318,55	0,02	214,25	8,13
4	26,255	8 ans	2,5736	94,4	26,255	13,15	10,15	133,473	3504,32	0,03	269,38	7,07
5	37,405	10 ans	3,3533	107,2	37,405	15,35	9,6	147,36	5512,00	0,02	194,48	7,27
6	32,32	10 ans	2,568	111,3	32,32	12,35	9,95	122,883	3971,56	0,03	280,24	9,06
7	40,05	10 ans	3,5411	81,6	40,05	14,75	6,65	98,0875	3928,40	0,02	207,72	8,32
8	32,835	9 ans	3,1319	82,9	32,835	14,6	7,75	113,15	3715,28	0,02	223,13	7,33
9	39,395	8 ans	4,495	116,5	39,395	13,75	9	123,75	4875,13	0,02	238,97	9,41
10	30,91	8 ans	3,755	89,8	30,91	15,15	9,75	147,713	4565,79	0,02	196,68	6,08
11	27,815	10 ans	2,3978	63,4	27,815	11,2	9,65	108,08	3006,25	0,02	210,89	5,87
12	31,535	9 ans	3,4431	97,3	31,535	13	8,9	115,7	3648,60	0,03	266,68	8,41
13	32,725	9 ans	3,3363	98,1	32,725	13,45	9,15	123,068	4027,38	0,02	243,58	7,97
14	36,295	10 ans	4,0078	120	36,295	14,75	9,2	135,7	4925,23	0,02	243,64	8,84
15	23,835	10 ans	2,3611	68,8	23,835	17,3	7,4	128,02	3051,36	0,02	225,47	5,37
16	32,875	10 ans	2,8294	78,3	32,875	10,45	9,9	103,455	3401,08	0,02	230,22	7,57
17	27,145	8 ans	2,7721	87,3	27,145	12,6	10,75	135,45	3676,79	0,02	237,44	6,45
18	30,855	9 ans	3,2694	84,4	30,855	12,25	10	122,5	3779,74	0,02	223,30	6,89
19	35,145	8 ans		157,2	44,645	20,7	10,5	217,35	9703,59	0,02	162,00	7,23
20	32,56	10 ans	2,8394	146,9	35,145	14,15	13,15	186,073	6539,52	0,02	224,63	7,89
21	29,915	9 ans	2,7844	114,7	29,915	15,05	9,7	145,985	4367,14	0,03	262,64	7,86
22	43,775	10 ans	3,8978	124,4	43,775	12,5	10,5	131,25	5745,47	0,02	216,52	9,48
23	29,605	10 ans	2,79	95	29,605	14,35	9	129,15	3823,49	0,02	248,46	7,36
24	29,59	9 ans	2,5525	76,5	29,59	9,6	9,7	93,12	2755,42	0,03	277,63	8,22
25	29,68	9 ans	2,9969	59,1	29,68	12	8,05	96,6	2867,09	0,02	206,13	6,12

Résumé : La qualité du liège et le rendement industriel ont été étudiés à partir de 146 planches de liège provenant de 5 suberaies algériennes (Zarieffet, Hafir, Zerdeb, M'Sila et Skikda). La première phase de ce travail réalisée dans deux unités industrielles de transformation du liège en Algérie nous a permis de constater que les bouchons de liège constituent 27% du poids de la planche contre 73% de déchets potentiels. Ce taux est fortement lié à la surface de la planche (70 bouchons/m²). Il est plus élevé dans les planches de bonne qualité qui produisent 60% des bouchons de bonne qualité. Dans la comparaison entre le liège algérien et celui portugais, nous avons trouvé que dans les deux types de liège la porosité augmente dans la masse du liège de la mie vers la croûte, mais le liège algérien est caractérisé par une grande hétérogénéité du point de vue croissance et qualité. Le coefficient de porosité est plus élevé dans le liège portugais (13,2%) par rapport au celui algérien (9,2%), avec une forte présence des pores de grandes surface (>2mm²) dans le liège portugais. La croissance moyenne annuelle est plus rapide dans le littoral algérien (3,16 mm/an) et portugais (3,6 mm/an) et rapide en montagne (2,81 mm/an). La vitesse de croissance du liège est plus rapide durant les 5 premières années qui représentent 60% de l'épaisseur du liège puis elle diminue avec le temps, ce qui recommande l'adaptation d'un cycle de production adéquat pour chaque zone géographique. Chaque année de croissance hors du cycle est une perte de production ; cette perte est estimée de -32% à -35% durant les 5 premières années de croissance. La croissance du liège est pluvio-dépendante, une forte corrélation est enregistrée Janvier-Juillet de l'année en cours et le cumul des précipitations de l'année précédente. D'une façon générale la productivité des arbres est variable entre les forêts, elle varie de 5,63 à 8,7 kg/m², mais elle reste très faible par rapport aux autres pays méditerranéen, ce qui nécessite un plan de gestion adéquat pour chaque subéraie.

Mots clés: Qualité, Analyse d'image, croissance de liège, productivité, rendement, bouchons de liège, Algérie, Portugal.

Abstract: Qualitative and technological characterization of the reproduction cork of a few Algerian cork oak forests. Cork quality and industrial yield were studied from 146 cork planks from 5 Algerian forests (Zarieffet, Hafir, Zerdeb, M'Sila and Skikda). The first phase of this work carried out in two industrial units for cork transformation in Algeria showed that the stoppers constitutes 27% of the weight of the cork planks against 73% cork wastes. This rate is strongly related to the surface of the planks (70 stoppers /m²). It is higher in good quality boards that produce 60% of good quality of stoppers. In the comparison between the Algerian and Portuguese corks, we found in both types of cork that porosity increases in the cork mass of the crumb to the crust, but the Algerian cork is characterized by a great heterogeneity in quality and growth. The porosity coefficient is higher in Portuguese cork (13.2%) than in Algeria (9.2%), with a strong presence of pores with a large surface area (> 2 mm²) in Portuguese cork. The annual average growth is faster in the Algerian coast (3.16 mm / year) and Portuguese (3.6 mm / year) and fast in the mountains (2.81mm /year). The growth rate of cork is higher during the first 5 years, which represents 60% of the thickness of the cork and then decreases with time, which recommends the adaptation of a suitable production cycle for each geographical area. Each year of growth outside the cycle is a loss of production; This loss is estimated at -32% to -35% during the first 5 years of growth. Cork growth is rainfed, a strong correlation is recorded between January- July of the current year and the cumulative rainfall of the previous year. In general, tree productivity is variable between forests, it varies from 5.63 to 8.7 kg /m², but it remains very low compared to the other Mediterranean countries, which requires an adequate management plan for Each cork oak forest.

Key words: Quality, Image analysis, cork growth, productivity, yield, cork stoppers, Algeria, Portugal.

: التوصيف النوعي والتكنولوجي لفلين بعض غابات الفلين الجزائرية

تم دراسة نوعية الفلين و المرود الصناعي من 146 الفلين من 5 الغابات الفلين الجزائرية (زاريفات، احفير، المسيلة وسكيدة). الأولى من هذا العمل تم امجازها في اثنين من الوحدات الصناعية المتخصصة في الفلين في الجزائر، بحيث وجدنا أن فقط 27 الفلين هو عبارة عن سداة أما 73% المتبقية ففي عبرة عن النفايات، ويرتبط هذا المعدل ارتباطا وثيقا بمساحة اللوح (70 سداة فلين/ 2)، و هذه النسبة تكون عالية في الفلين ذو النوعية جيدة التي تنتج 60% من السدادات ذات نوعية جيدة. أثناء المقارنة بين الفلين الجزائري والبرتغالي، وجدنا أن في كلا النوعين يتميز بزيادة المسامية من الداخل نحو القشرة، ولكن يتميز الفلين الجزائري باختلاف كبير من حيث النمو والجودة. المسامية أعلى في الفلين البرتغالي (13.2) (9.2)، مع كثرة المسامات ذات المساحة الكبيرة (2 >) في الفلين

(3.16 /) و الغابات البرتغالية (3.6 /) أما في الجبل فهو سريع (2.81 /). الفلين الأسرع خلال ال 5 سنوات الأولى والذي يمثل 60% من سمك الفلين ومن ثم تتناقص مع مرور الزمن، مما يتطلب ضرورة التكيف مع دورة الإنتاج الملائمة لكل منطقة جغرافية.

نمو الفلين يعتمد على المطر، فانه تم تسجيل وجود علاقة قوية بين أمطار يناير إلى يوليو 32- 35- 5. عموما تختلف إنتاجية شجرة بين الغابات، حيث تتراوح 5.63 8.7 / 2. تزال منخفضة جدا بالمقارنة مع الدول المتوسطية الأخرى، الأمر الذي يتطلب خطة الإدارة الكافية ل كل غابة بلوط الفلين.

الكلمات المفتاحية: تحليل الصور، النمو الفلين، الإنتاجية، الفلين،