

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 Zarieffet (Nord-Ouest de l'Algérie)

par Belkhir DEHANE, Rachid Tarik BOUHRAOUA,
José Ramon GONZALEZ-ADRADOS et Latéfa BELHOUCINE

Cet article nous présente une étude détaillée de la qualité du liège selon l'état sanitaire d'arbres de deux zones de production en Algérie, l'une littorale et l'autre de montagne. On y voit que les composantes environnementale, géographique et génétique de l'arbre interfèrent avec le facteur sanitaire, modifiant la physiologie et la croissance du liège.

Introduction

Le liège est un produit naturel qui, par sa nature et l'hétérogénéité des facteurs de sa production, présente une forte variabilité qualitative, d'où la difficulté à définir avec exactitude le concept de « qualité » (CARRASQUINHO, 1987). Dans le liège, les caractères morphologiques sont souvent des indicateurs de cette qualité et ce, par la relation étroite qui existe entre les propriétés du matériau, les caractéristiques et la disposition des tissus subéreux.

Au cours du processus de formation du liège, les perturbations du milieu affectent aussi bien sa croissance, sa couleur, sa texture, sa densité et sa porosité. Certaines de ces altérations, considérées comme des défauts, peuvent limiter les applications industrielles du produit (MOLINAS et OLIVA, 1990).

Parmi les facteurs de perturbation de la qualité du liège, nous citons le dépérissement des arbres. C'est un phénomène qui est apparu dans la région méditerranéenne dès le début du XX^e siècle (NATIVIDADE, 1956). Mais, il a commencé à prendre des dimensions relativement importantes à partir des années 80-90 au Portugal (SOUZA *et al.*, 1995), en Italie (MARRAS *et al.*, 1995), en Espagne (GAROLERA 1988), en France

(NAGELEISEN et HETT, 1989), au Maroc (BAKRY et ABOUROUH, 1996) et en Algérie (BOUHRAOUA *et al.*, 2002). Ce phénomène complexe est en relation avec divers facteurs d'intensités variables d'une région à l'autre : les changements climatiques, les mauvaises pratiques de gestion sylvicole, l'exploitation du liège mal faite, les incendies, les attaques parasitaires, l'abandon des peuplements, etc. (AMANDIER, 2006).

La production mondiale de liège est passée de 380 000 tonnes en 1999 à 299 300 tonnes en 2008 (SANTOS PEREIRA, 2008). Traditionnellement subéricole (450 000 ha-35 000 tonnes), la part de l'Algérie dans ce marché ne constitue actuellement qu'un taux de 5%, soit une production annuelle moyenne de 10 000 tonnes avec une superficie productive de 220 000 ha.

Les zones les plus importantes de production du liège sont concentrées à l'est du pays, région qui détient à elle seule près des 4/5 de la suberaie algérienne et 97% de la production nationale (DGF, 2008). Dans l'Ouest algérien, objet de notre étude, les peuplements de chêne-liège sont situés dans deux grandes divisions phytogéographiques différentes en fonction de l'influence maritime et de la structure géologique. Il s'agit des suberaies du secteur littoral au nord et les suberaies de montagne ou de l'Atlas tellien au sud (BOUDY, 1955, QUÉZEL, 2000).

Ces suberaies ne sont en réalité que des peuplements reliques et isolés coïncidant avec des taches de climat subhumide ou surtout semi-aride, couvrant une superficie ancienne de l'ordre de 9 000 hectares (THINTOIN, 1948). Elles fournissaient un

volume variable de liège (3000 qx/an, soit 1,3% du total national) et de qualité excellente, surtout celui provenant d'Oran (M'Sila) et de Tlemcen (Hafir) (BOUDY, 1955). Malheureusement, ces dernières décennies, cette situation s'est dégradée, avec un appauvrissement et une destruction du capital liège et arbres. En conséquence, la production régionale de liège a chuté considérablement pour atteindre 0,5% du volume total (soit 500 qx/an en moyenne). Les suberaies sont exploitées anarchiquement sans respect des règles sylvicoles en vigueur (période de rotation, coefficient d'écorçage, techniques de récolte, etc.). Les arbres mal écorcés et surexploités sont souvent épuisés et deviennent vulnérables aux agents de déperissement. Cette exploitation inadaptée agit directement sur la vigueur de l'arbre et compromet par conséquent sa production annuelle en liège et peut-être la qualité du suber générée sur le tronc.

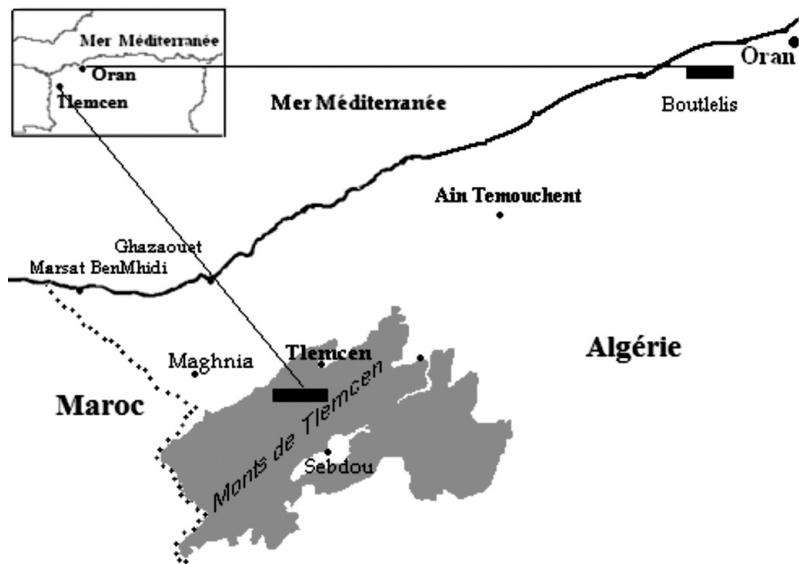
Actuellement, dans les industries espagnole et portugaise du liège, il existe des machines qui utilisent un système de vision artificiel et de reconnaissance des formes qui permet de classer très rapidement les planches et sélectionner les bouchons de liège. Ces machines simulent le processus rationnel de l'examen visuel pour le classement des bouchons. Ce procédé utilise la technologie de l'image vidéo-bichromie à haute résolution, associée à un micro ordinateur de traitement d'image (COMPOS et MOLINAS, 1999). Cette technologie a donné une autre dimension au concept de « qualité du liège ». En effet, ces deux pays monopolisent actuellement le commerce et l'industrie du liège (ELENA, 2005).

L'analyse des images DPA (Digital image Processing and Analysis) 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 qui peuvent être exportées directement sur des tableurs pour traitement statistique. Cette technique se base sur le réglage de l'intensité de la lumière et de la couleur (*threshold*). Depuis les travaux du géologue Delesse en 1848, elle trouve des applications très importantes dans de nombreux domaines : sciences des matériaux, sciences de la vie, médecine, télédétection, géologie, robotique (TALBOT, 2005).

En application à la morphométrie du liège, cette technique d'analyse permet une bonne

Fig. 1 :

Carte de situation des deux forêts domaniales de M'Sila (point du haut) et de Zarieffet (point du bas) (INCT 1997).



quantification de la porosité et par conséquent la possibilité de distinguer les différents défauts du liège, en appliquant une analyse discriminatoire (GONZALEZ-ADRADOS et PEREIRA, 1996). Dans une unité industrielle au Portugal, il a été constaté que le degré de coïncidence entre la classification manuelle subjective reposant sur l'acuité visuelle des opérateurs expérimentés et le procédé automatique était au dessous de 50% (MELLO et PINTO, 1989).

Dans cette optique, la caractérisation de la qualité du liège, en reliant l'état sanitaire des arbres à la région d'origine, a une importance capitale sur la valorisation de ce produit destiné essentiellement à l'industrie bouchonnière. Il s'agit en effet de savoir dans quelle proportion la porosité du liège hérite des effets néfastes du dépérissement à travers les différentes situations sanitaires de l'arbre.

Le milieu d'étude

Pour cette étude, nous avons retenu deux forêts aux disparités écologiques, productives et qualitatives du liège, connues depuis longtemps. Il s'agit de la forêt littorale de M'Sila située à 30 km à l'ouest d'Oran et la forêt de montagne de Zarieffet localisée dans le massif occidental des monts de Tlemcen (Cf. Fig. 1).

Dans la première, sur une superficie de 1570 ha, le chêne-liège couvre actuellement une surface productive de 460 ha constituant une vieille futaie naturelle pure ou mélangée avec le Pin d'Alep. Elle jouit d'un bioclimat semi-aride recevant des tranches pluviométriques moyennes de l'ordre de 400 mm par an. Le volume moyen du liège extrait annuellement de cette forêt était de 500 quintaux, mais dans cette dernière décennie, il a chuté jusqu'à 250 qx.

Dans la seconde forêt, le chêne-liège couvre presque la totalité de la superficie soit 900 ha. C'est une chênaie naturelle pure ou mixte (chêne vert ou chêne zeen). L'ambiance bioclimatique est de type subhumide inférieur recevant 600 mm de pluie par an. Elle offre historiquement un liège de meilleure qualité et de quantités appréciables (520 qx). Mais actuellement, la production moyenne annuelle est devenue médiocre (< 100 qx/an) en raison de la réduction importante de la superficie productive.

Matériel et méthodes

Prélèvement des échantillons de liège

Durant l'été 2009, des échantillons de liège ont été prélevés aléatoirement sur des arbres des deux forêts. Les deux sites font partie du réseau de surveillance de la santé des subéraies, installé depuis 1999 dans la région Ouest par BOUHRAOUA (2003). A partir du premier arbre repéré au milieu du peuplement, les autres ont été choisis par la méthode du plus proche voisin. Dans chaque peuplement, 40 plaques de 15x15cm ont été extraites à 1,30 m du sol au moyen d'un couteau tranchant. La surface totale de liège à analyser était donc de 1,8 m².

Chaque plaque de liège portait le nom de la forêt, le numéro de la station et celui de l'arbre-échantillon, le statut sanitaire de l'arbre de l'année d'observation ainsi que la date de la dernière exploitation.

Tri des échantillons selon l'état sanitaire des arbres

Avant d'entamer la caractérisation de la qualité du liège, nous avons procédé au tri des 80 plaques-échantillons selon l'état de santé des arbres correspondants. Ce dernier est évalué par appréciation visuelle de l'aspect de la cime notamment du "déficit foliaire". Il est noté selon la méthode européenne (DSF, 1991) et adaptée au chêne-liège en Algérie (BOUHRAOUA & VILLEMAN 2005). Trois classes sont considérées (Cf. Fig. 2) :

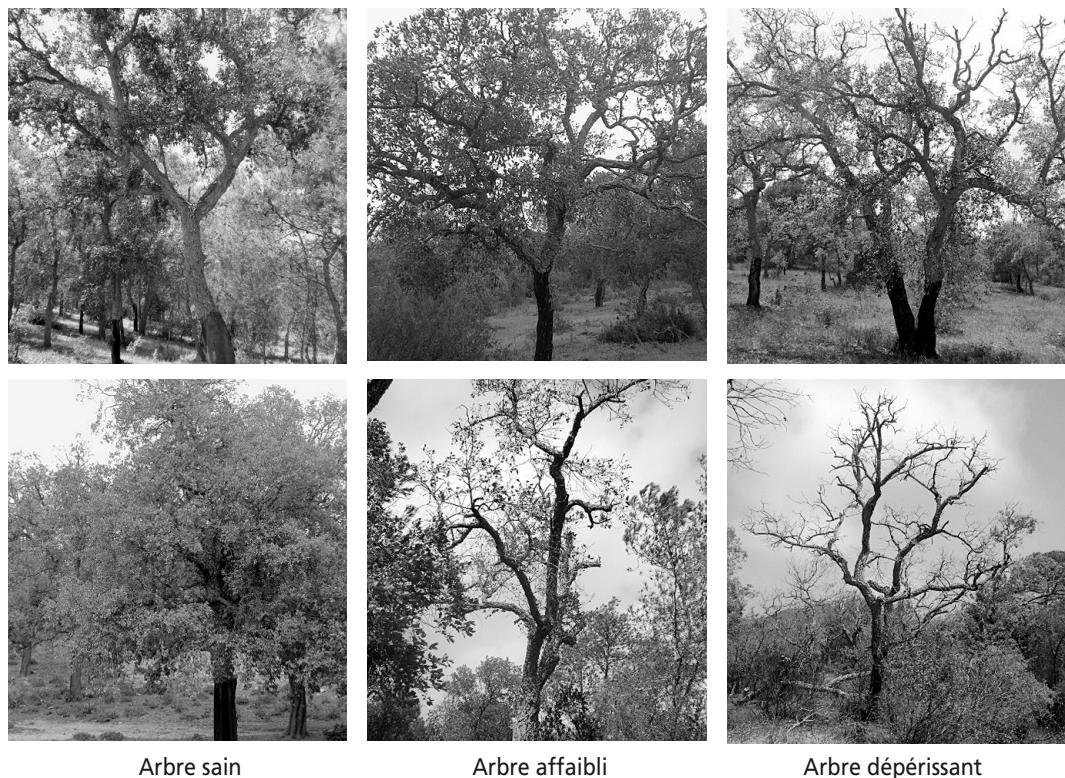
- 1 : déficit foliaire < 25 % : arbre sain,
- 2 : déficit foliaire 30-60% : arbre affaibli,
- 3 : déficit foliaire >65% : arbre dépérissant.

Il est à noter que les arbres morts de la 4^e classe sont exclus de l'échantillonnage.

Selon les antécédents sanitaires des sujets-échantillons notés entre 1999 et 2008, fournis par BOUHRAOUA (non publiés) et complétés par le dernier inventaire de 2009, nous avons estimé leur vigueur pendant un cycle de croissance du liège par la moyenne des onze notations (1999-2009). Pour cela, un liège est considéré globalement comme sain lorsqu'il est formé d'un arbre dont la moyenne est inférieure à 1,5, affaibli de 1,6 à 2,4 et dépérissant si > 2,5.

Fig. 2 :

Catégories d'arbres selon leur état sanitaire
En haut : M'Sila
En bas : Zarieffet



Préparation des échantillons à l'analyse d'image

Après le classement des plaques en lot, ces dernières ont été traitées à l'eau bouillante pendant 60 mn à 100°C suivant la pratique industrielle. Les plaques ont été ensuite équilibrées en étuve à la température ambiante de 20°C pendant 48 heures pour éliminer l'eau d'imbibition provenant de l'opération de bouillage. L'humidité finale des planches séchées était de l'ordre de 7 %. Plusieurs paramètres ont été mesurés sur les échantillons, notamment l'épaisseur totale mesurée à l'aide d'un pied à coulisse, la densité volumétrique ainsi que la productivité de l'arbre estimée comme poids de liège produit par unité de surface d'écorçage (kg/m²) (Cf. Fig. 3).

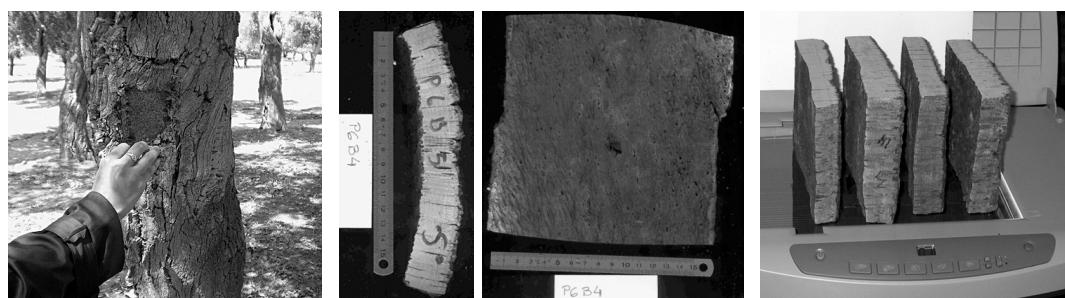
Les 80 planches ont ensuite été préparées pour l'observation des défauts par ponçage

des deux sections transversales puis par nettoyage à l'air comprimé. L'acquisition d'images des deux sections transversale et tangentielle a été effectuée par un scanner laser (Cf. Fig. 3).

La porosité a été étudiée par analyse d'image. Il s'agit d'un logiciel Olympus cell^{^D} qui traite l'image scannée en détectant les pores en réglant la région d'intérêt (ROI) et en définissant au préalable le *Set threshold level*. Le niveau de couleur du *threshold* était compris entre 75 et 100 pour la section tangentielle et entre 80 et 95 pour la section transversale. Les échantillons scannés sur la section tangentielle ont une superficie de 225 cm² (15 cm x 15 cm), tandis que ceux de la section transversale ont une longueur de 15 cm dont le maximum de la superficie était en relation avec l'épaisseur de chaque échantillon sans la croûte (Cf. Fig. 4).

Fig. 3 :

Etapes de l'étude de la qualité du liège par analyse d'image



Plusieurs paramètres ont été mesurés pour chaque échantillon correspondant à la section tangentielle dont nous retenons : le coefficient de porosité CP (%), défini par le pourcentage de la superficie totale des pores contenus dans une superficie du liège considérée, la densité des pores par 100 cm² calculé sur la région d'intérêt (ROI) de l'échantillon et enfin la superficie totale des pores (en mm²).

Pour mesurer les accroissements annuels du liège, des lames de 10 mm d'épaisseur ont été découpées dans chaque plaque. Les années de croissance (anneaux ou cernes) sont déterminées sur chaque section transversale dans trois endroits à distance égale (4 cm) marquées avec une épingle entomologique très fine. Elles sont mesurées au 1/1000 mm sous une loupe binoculaire (stéréo microscope LEICA) reliée à un ordinateur équipé d'un système automatique d'enregistrement (TSAPWin). Les résultats sont donc la moyenne des trois mesures.

Quatre classes de qualité ont été alors définies dans cette étude en se basant sur le logiciel CALCOR : bonne qualité (correspond aux 1^{ère}, 2^e et 3^e classes), qualité moyenne (correspond aux 4^e et 5^e classes), faible qualité (6^e classe) et le rebut (GARCIA DE CECA, 2001 ; GONZALEZ-ADRADOS *et al.*, 2005). 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*.

Tous les traitements de données (moyenne, écart-type, test de Student, analyse factorielle et Anova1) ont été effectués par le logiciel XLSTAT 2009 au seuil de signification 95%.

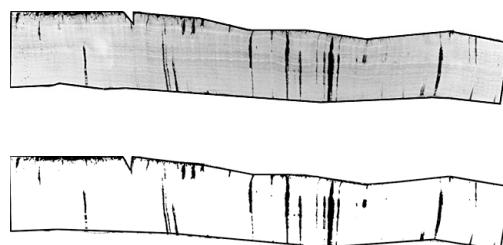
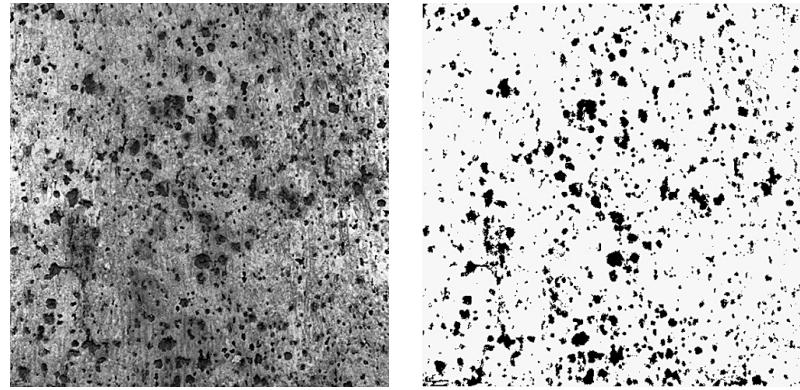


Fig. 4 :
Image binaire après application d'un *threshold* sur l'image réelle.
En haut : section tangentielle.
Ci-contre : section transversale

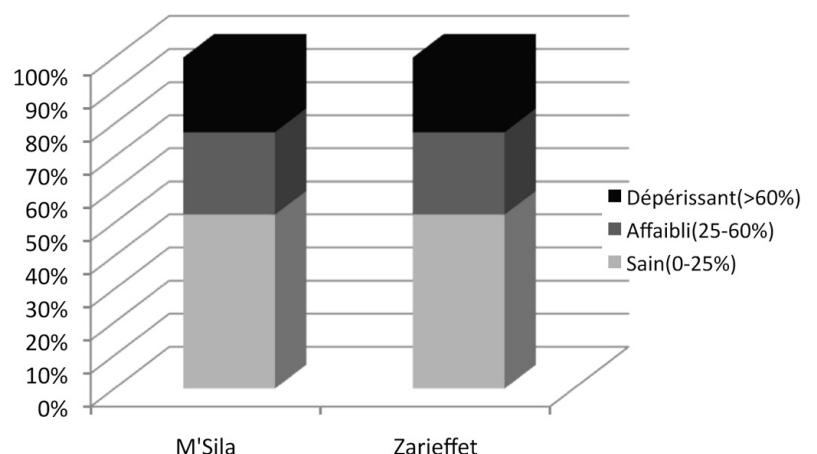
Caractérisation des échantillons par classe d'état sanitaire

Variation des accroissements moyens annuels et densité

Liège des arbres sains

En situation sanitaire vigoureuse, les arbres des deux forêts produisent en moyenne 7 à 8 kg de liège par m² de surface déliée, ce qui est similaire à la littérature en cours (FEREIRA *et al.*, 2000 ; ALOUI *et al.*, 2006). C'est un liège dense en montagne (> 0,3) à moyennement dense en littoral (> 0,25). Ces valeurs de densité sont identiques à celles relatées par FEREIRA *et al.*, (1998) pour des limites de 0,27 et 0,32.

Fig. 5 :
Répartition des arbres échantillons selon les classes d'état sanitaire des arbres



Résultats

Distribution des échantillons de liège selon l'état sanitaire des arbres

La distribution des 80 plaques-échantillons par classe d'état sanitaire des arbres montre que les lièges issus des arbres sains sont dominants à plus de la moitié (52,5%), suivis par les lièges des arbres affaiblis (25%) puis ceux des arbres dépérissants (22,5%) (Cf. Fig. 5).

De haut en bas :

Tab. I :

Caractérisation des échantillons de liège des arbres sains récoltés dans les deux suberaies

Tab. II :

Caractérisation des échantillons de liège des arbres affaiblis récoltés dans les deux suberaies

Tab. III :

Caractérisation des échantillons de liège des arbres déperissants récoltés dans les deux suberaies

Entre parenthèses : l'écart type.

Les accroissements moyens annuels sont rapides à M'Sila (2,49 mm) ce qui est un caractère distinctif du liège de plaine. En montagne, ils sont plutôt moyens, de l'ordre de 2,18 mm. A 9 ans, le liège littoral assure une épaisseur des planches suffisante apte au bouchonnage (> 27 mm) ; par contre en montagne, cette aptitude n'est atteinte qu'à 10 ans et plus selon les calibres des bouchons à fabriquer (Cf. Tab. I).

Liège des arbres affaiblis

En situation sanitaire affaiblie, les arbres expriment en réalité une tendance variée entre vigueur et déperissement. En effet, les accroissements moyens annuels se rétrécissent et deviennent moyens à relativement minces (environ 2 mm) dans les deux suberaies. Cette réduction est plus marquée en littoral qu'en montagne. En conséquence, les épaisseurs des planches du liège se réduisent vers les classes commerciales inférieures et la productivité chute de 8 % (M'Sila) à 13 % (Zarieffet), (Cf. Tab. II).

I : Arbres sains :

Variables	M'Sila	Zarieffet
Epaisseur totale (mm)	26 (5,19)	23,5 (3,98)
Densité superficielle	0,29 (0,06)	0,32 (0,06)
Productivité (kg/m ²)	7,31 (1,22)	8,12 (1,77)
Age du liège (an)	9	9
Accroissement moyen (mm)	2,49 (0,50)	2,18 (0,35)

II : Arbres affaiblis :

Variables	M'Sila	Zarieffet
Epaisseur totale (mm)	23,07 (5,27)	21,5 (3,06)
Densité superficielle	0,29 (0,034)	0,32 (0,025)
Productivité (kg/m ²)	6,71 (1,84)	7,04 (0,94)
Age du liège (an)	9	9
Accroissement moyen (mm)	2,01 (0,62)	2,05 (0,30)

III : Arbres déperissants :

Variables	M'Sila	Zarieffet
Epaisseur totale (mm)	21,2 (3,14)	20,49 (6,16)
Densité superficielle	0,32 (0,07)	0,35 (0,07)
Productivité moyenne (kg/m ²)	6,77 (1,64)	6,57 (1,11)
Age du liège (an)	9	9
Accroissement moyen (mm)	1,95 (0,24)	1,96 (0,59)

Liège des arbres déperissants

Les arbres en déficit sanitaire produisent partout un liège dense à très dense. Les accroissements moyens annuels se ralentissent davantage et deviennent faibles (< 2 mm) en perdant 11% (Zarieffet) à 22% (M'Sila) de leur valeur par rapport à ceux des arbres en bonne santé. Cette dépréciation de l'activité subérogène des arbres affecte la productivité moyenne qui devient faible et plus contrastée en montagne, où la perte peut atteindre jusqu'à 27%. Chaque arbre ne peut donner alors que 6,5 kg de liège par m². Au cours d'un cycle de production de 9 ans et selon la vitesse de la formation du liège, les planches acquièrent des épaisseurs de type mince à très mince (< 21 mm) inaptes au bouchonnage.

Variation de la porosité

La porosité (coefficient de porosité) caractérise la distribution des pores ou canaux qui traversent radialement la masse du suber dans toute son épaisseur. La couleur foncée de leurs tissus facilite l'identification visuelle et l'application des techniques d'analyse d'image (PEREIRA, 2007).

Surface totale des pores

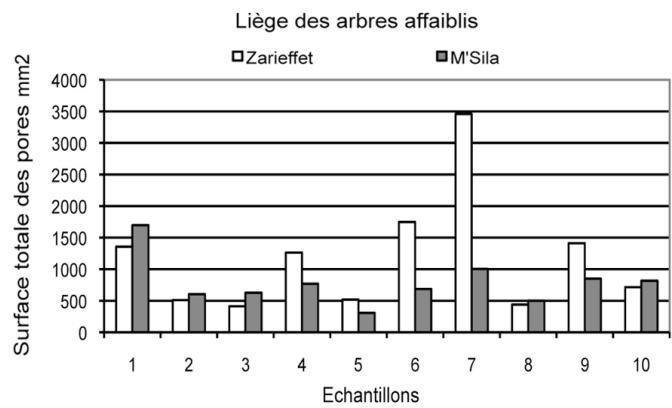
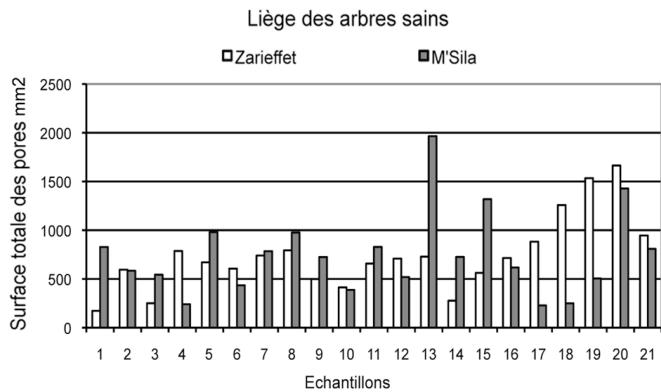
Les 40 échantillons provenant des arbres du littoral se caractérisent par des superficies totales des lenticelles supérieures à ceux de montagne, soit respectivement une moyenne de 1329,76 mm² et 1125,96 mm² sur la section tangentielle (Cf. Fig. 6). Ce paramètre reste invariable entre les échantillons géographiquement différents et identiques du point de vue statut sanitaire. Par contre, il diffère significativement entre les échantillons des trois classes sanitaires en littoral et en montagne ($F=5,66$; $p=0,14$).

Densité de pores par 100 cm²

Les résultats obtenus à travers le dénombrement total de 68372 pores (tout échantillon confondu) montrent qu'ils varient entre des limites très marquées au 100 cm² de liège. Nous enregistrons pour les trois catégories sanitaires de chaque entité écologique les valeurs suivantes (Cf. Fig. 7) :

– à M'Sila : sains (298-1201), affaiblis (379-1135), déperissants (785-1230) ;

– à Zarieffet : sains (314-1012), affaiblis (321-690), déperissants (319-1281).



Cette densité varie très significativement en littoral au sein des trois classes d'état sanitaire ($F=9,15$; $p = 0,0004$). En revanche, en montagne, nous assistons à une indépendance entre la production des lenticelles et l'état de vigueur de l'essence ($F=2,18$; $p = 0,13$).

Coefficient de porosité

Le coefficient moyen de porosité exprimant le pourcentage de la surface perforée par rapport à la surface intacte, s'avère moins atténué sur les échantillons du littoral (4,90%) que ceux de montagne (4,50%) (Cf. Fig. 8). Il varie significativement entre les échantillons des trois classes d'état sanitaire du littoral ($F=7,07$; $p = 0,02$). En montagne, ce coefficient est similaire entre les échantillons et ne semble pas affecté significativement par la santé des arbres ($F=1,20$; $p = 0,31$).

Fig. 7 (ci-contre et ci-dessous) :
Variation de la densité des pores par échantillon selon l'état sanitaire des arbres

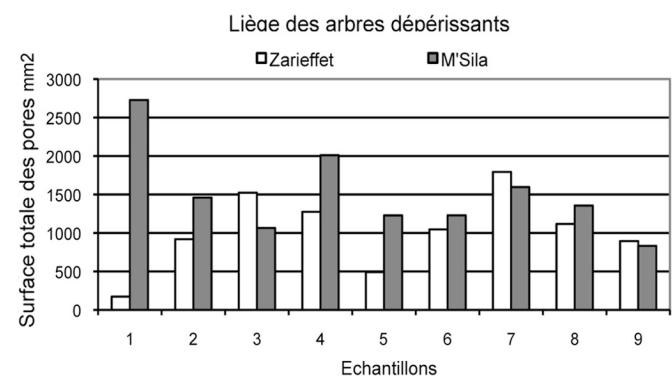
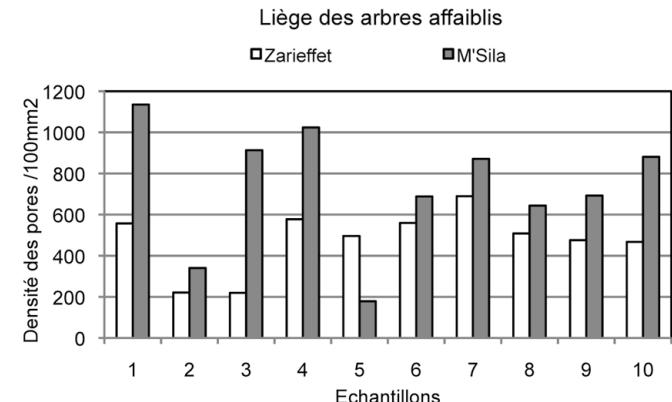
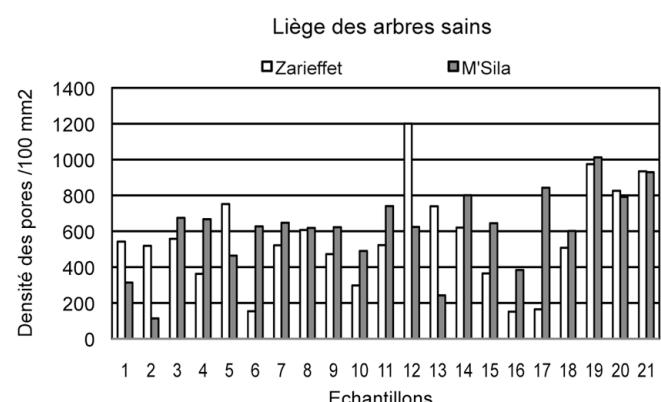
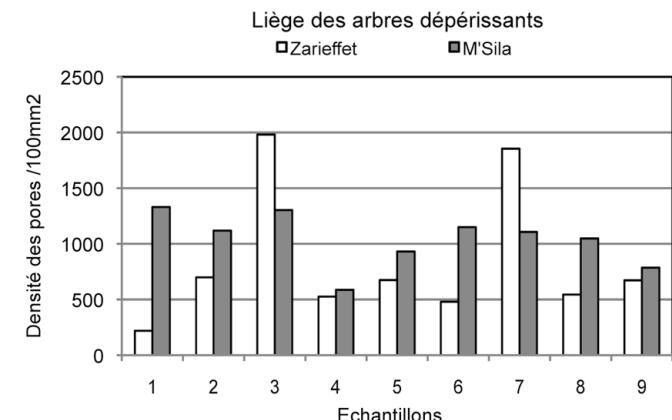


Fig. 6 (ci-dessus) :
Variation des superficies totales des pores par échantillons et selon l'état sanitaire des arbres



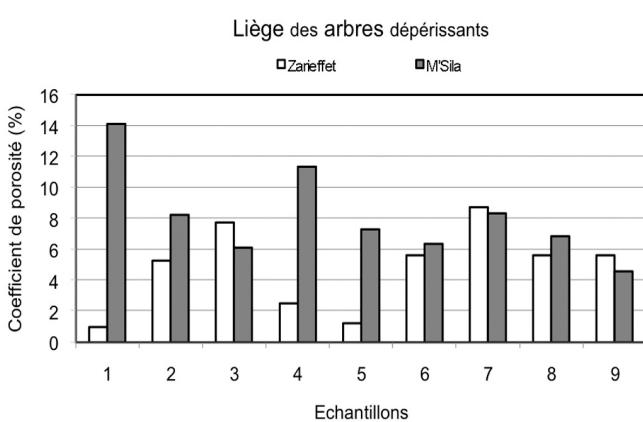
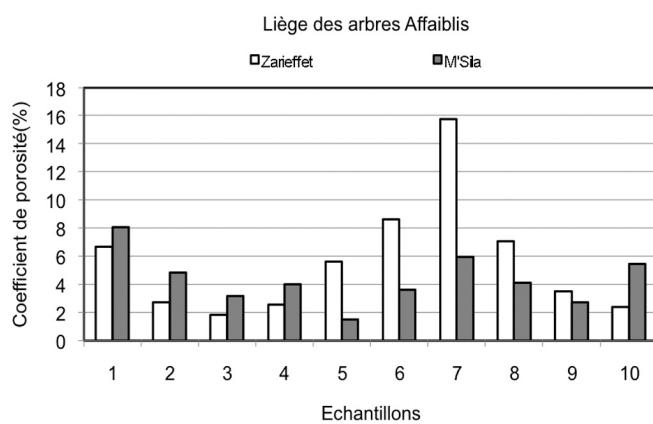
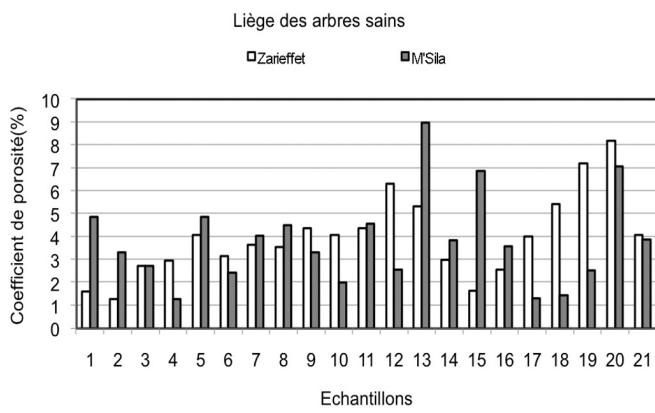


Fig. 8 (ci-dessus) :
Variation du coefficient de porosité par échantillons et selon l'état sanitaire des arbres

Variation de la qualité du liège selon l'état sanitaire des arbres

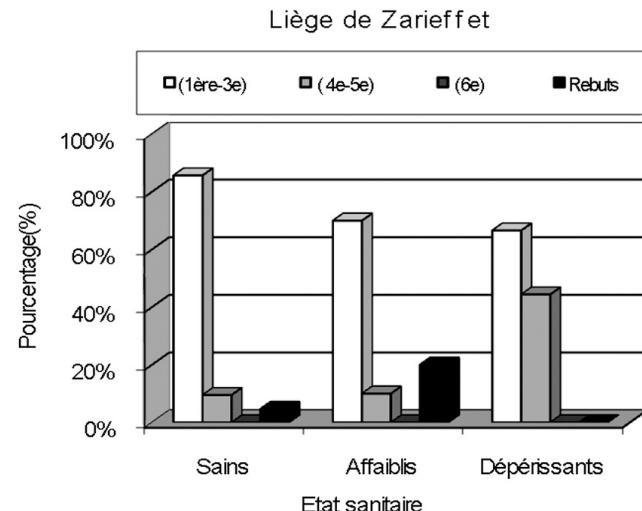
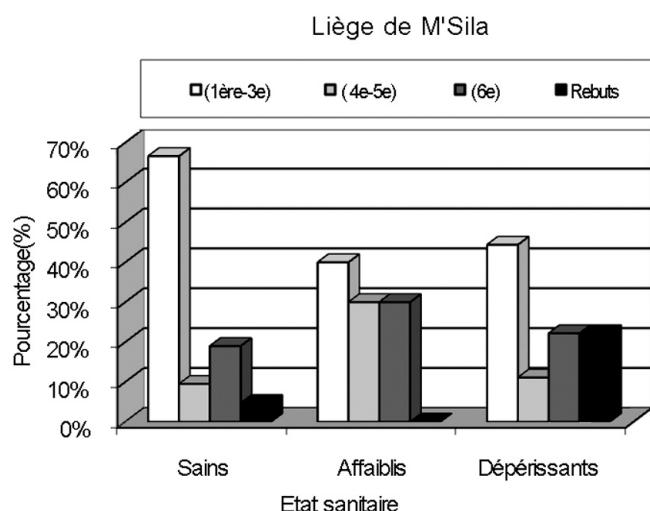
En section transversale, la meilleure qualité du liège se traduit par son homogénéité et sa propreté, mais aussi par l'absence de défauts visibles. Ces derniers détériorent facilement la qualité des planches de liège à la vente, en le rendant impropre à la fabrication des bouchons de qualités requises. La répartition des classes de qualité commer-

Fig. 9 (ci-dessous) :
Distribution des échantillons par classes de qualité commerciale selon l'état sanitaire

ciale des échantillons du liège des deux provenances selon l'état sanitaire des arbres est illustrée dans la figure 9.

Le liège de bonne qualité appartenant aux trois premières classes commerciales se distingue à travers les catégories sanitaires des arbres des deux régions. En effet, les arbres sains dominent largement avec des taux élevés allant de 65% à M'Sila et 85% à Zarieffet. Mais l'altération physiologique de l'arbre ne s'accompagne pas forcément d'une éradication totale du liège de bonne qualité, mais plutôt d'une réduction progressive selon l'intensité de dépréssissement. Ce phénomène est beaucoup plus marqué en peuplement littoral qu'en peuplement de montagne.

En dépit de la porosité propre à chaque planche, l'aspect du liège de M'Sila semble bien touché par les anomalies de dépréciation de la qualité (liège des arbres sains : 32% ; liège des arbres affaiblis : 34% ; lièges arbres dépréssants : 36%). Par contre, en montagne, nous évoquons plus les défauts de la lignification verticale, la tache verte et l'excès de croûte (liège des arbres sains : 28% ; liège des arbres affaiblis : 31,3% ; lièges arbres dépréssants : 35%).



En effet, les défauts du liège terreux, les soufflures, les fentes, les trous de fourmis et la tache verte sont présents dans toutes les catégories sanitaires, mais avec des degrés variables : M'Sila. Le suber de Zarieffet se montre cependant moins sujet à ces déformations. Hormis la lignification verticale et l'épaisseur de la croûte, les autres défauts sont quasiment absents, à l'instar des fentes, des soufflures à large cavité et de la tache jaune (Cf. Fig. 10).

Discussion

La vigueur des arbres et la zone naturelle d'origine (littorale ou montagne) interviennent dans la variabilité entre les différents paramètres subéreicoles.

Les principales causes explicatives et les mécanismes de l'altération sanitaire des arbres sont bien connus dans ces deux forêts (BOUHRAOUA et VILLEMANT, 2005). En littoral, ce sont les cycles de sécheresse, l'absence de travaux sylvicoles (débroussaillement et assainissement) et surtout l'enrésinement qui ont contribué au déclenchement de l'affaiblissement voire du dépérissement des arbres. Par contre en montagne, nous trouvons plutôt les incendies, fréquents, dont les plus graves ont été enregistrés en 1966, 1983 et 1994. Les arbres ayant résisté à ces feux ont perdu définitivement une partie de leur feuillage en raison du dessèchement des rameaux.

Dans de telles situations, la santé de l'arbre s'altère progressivement. Les effets du

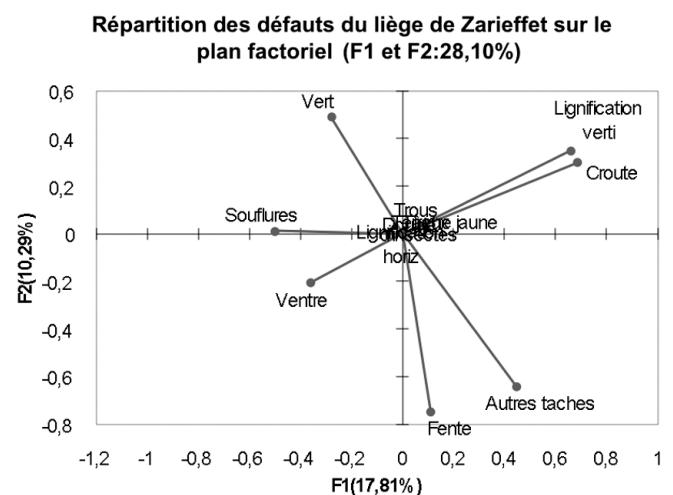
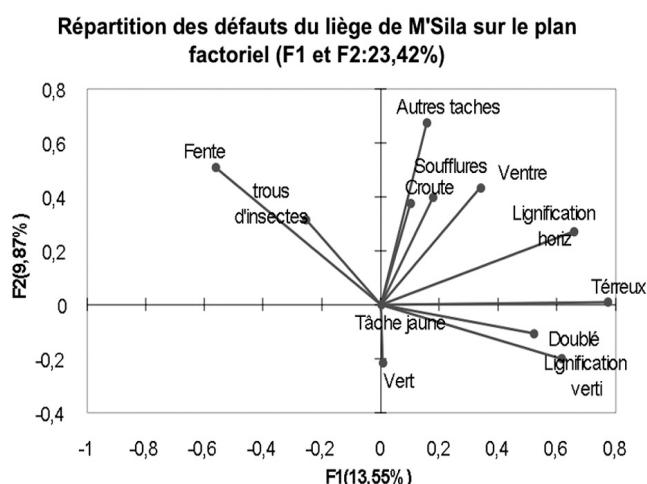
stress sont plutôt visibles au niveau des feuilles des arbres par les perturbations des échanges gazeux et la modification du métabolisme biochimique. Au niveau des branches, il en résulte un dessèchement suite à la rupture des colonnes d'eau dans les vaisseaux. Ces mécanismes conduisent à une défoliation totale et répétée et génèrent le dépérissement (ABDENDI, 2003).

L'appartenance des deux suberaies à deux zones écologiquement et climatiquement différentes a conduit à la production d'une mosaïque de calibres de liège, plus marquée à M'Sila (coefficients de variation = 5 %). Dans les conditions propices à la bonne croissance du chêne-liège, ces arbres qualifiés de sains se caractérisent en montagne par des lièges minces à très minces (flotte) où il est fréquent de n'avoir que des calibres entre 18 et 26 mm. L'épaisseur marchande de 27 mm n'est atteinte qu'après l'âge de 12 ans en moyenne (DAHANE, 2006).

En zone littorale, malgré les cycles de sécheresse, une humidité maritime très élevée durant toute l'année, permet à ce liège de dépasser le premier par une quantité variable de calibre juste épais (>27mm) aux alentours de 15%.

La lente croissance du liège de Zarieffet s'accompagne d'une concentration élevée des petites assises subéreuses causant sa lourdeur et son élasticité excessive ; c'est un suber plus dense ($0,32 \pm 0,02$) que celui de M'Sila ($0,29 \pm 0,015$). Cela s'explique par le fait que dans le suber du littoral, aux accroissements rapides, dominent les cellules de printemps aux parois latérales et aux bases longues et minces. Cette situation

Fig. 10 :
Analyse factorielle entre les paramètres affectant la qualité du liège des deux provenances



favorise la rectitude des parois et imprime aux cellules leur droiture et, par conséquent, cause l'atténuation des ondulations lors du bouillage. L'expansion après bouillage est plus prononcée dans la section radiale du parenchyme du liège de littoral ($>30\%$) que dans celui de montagne ($>10\%$) (ABOU, 2008). En revanche, sur le suber de Zarieffet, aux accroissements faibles, dominent les cellules d'automne aux parois latérales et aux bases courtes et épaisses. Ce schéma à faible ondulation ne s'accompagne lors du bouillage que d'une faible proportion d'expansion de leurs parois ; ainsi le rapport H/l est au bénéfice des cellules de M'Sila (Cf. Fig. 11).

La croissance du chêne-liège génère aussi la formation des lenticelles. Ces pores sont proportionnels au rythme élevé des accroissements annuels du liège (NATIVIDADE, 1956). En effet, les caractéristiques de reproduction sexuée du chêne-liège, les phénomènes d'hybridation interspécifique et d'allo-gamie ont permis l'existence et le maintien d'une grande diversité génétique à l'intérieur des populations (GARCIA-VALDECANTOS et ELENA ROSELLO, 1995). Cette haute diversité génétique, très présente à M'Sila, est conforme à la haute variabilité de la qualité et de la production de liège par les chênes-lièges.

Les deux types de liège issus des arbres sains sont tous caractérisés par des coefficients de porosité élevés, mais plus marqués à M'Sila à cause de la forte représentativité des grosses surfaces totales de leurs pores. En outre, le nombre de pores par 100 cm^2 dans chaque classe sanitaire est similaire à celui trouvé par PEREIRA *et al.* (1996) et COSTA et PEREIRA (2005). Ces derniers proposent des valeurs minimum et maximum de 285 et 1297 par 100 cm^2 .

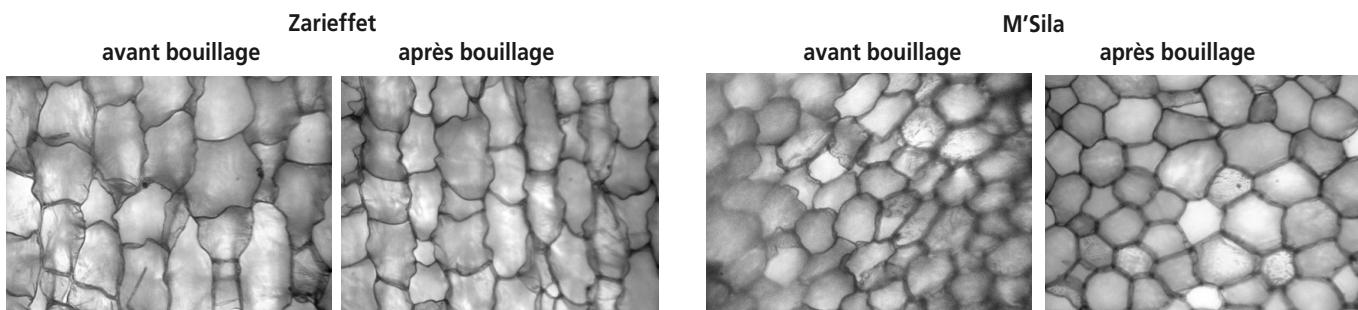
En application à la croissance du chêne-liège, nous assistons à une réduction des épaisseurs du liège ainsi que de sa productivité de l'ordre de 42% et 50% CAMBINI (1971), mais sans jamais être corrélée à une chute prononcée de la porosité.

En effet, certaines études ont montré que les plus fortes productions de liège femelle sont influencées favorablement par les fortes teneurs en potassium et en azote du feuillage, et par des milieux humides et peu perturbés (ORGEAS et BONIN, 1996 ; ROBERT, 1997). Dans les conditions de xérité excessive « prolongée », le déficit hydrique agit sur la teneur de K ce qui va influencer la division cellulaire et sur une partie du bon fonctionnement du phellogène et par conséquent sur la bonne qualité de liège (épaisseur-porosité-défauts) durant un cycle de croissance (10 ans à 12 ans) (COURTOIS et MASSON, 1998).

Au détriment des trois situations sanitaires, les arbres du littoral se tracent toutes les géométries des pores dans un sens descendant, très accusé sur la section tangentielle des échantillons des sujets dépérissants. En montagne, la forte densité des parois subéreuses et la fermeté des accroissements absorbent physiquement la pression radiale exercée par l'arbre et par conséquent s'opposent à la déchirure et la lignification qui accompagnent la formation des lenticelles. Dans ce type de liège, les surfaces et le nombre de pores produits ne manifestent pas un changement durant l'altération physiologique de l'arbre.

En relation avec les critères de classification des planches de liège par ordre de qualité, les arbres du littoral présentent davantage certaines anomalies de dépréciation. En effet, les fentes, le liège doublé et les soufflures (caractérisant les cavités de porosité) sont plus présentes sur la section transversale des échantillons de M'Sila. Ces défauts sont bien corrélés à la tension exercée par la formation rapide des accroissements du liège ($>3\text{ mm}$). Sur les échantillons de Zarieffet, la minceur du calibre aux accroissements lents s'oppose à la genèse de ces anomalies. Sur ce type de liège, nous évoquons plus la lignification verticale du suber ainsi que l'épaisseur de la croûte ($>2\text{ mm}$).

Fig. 11 :
Forme géométrique des cellules de liège des deux provenances avant et après bouillage
A droite : tissu subéreux de M'Sila
A gauche : tissu subéreux de Zarieffet (x40)



Conclusion

La caractérisation de la qualité du liège en relation avec l'antécédent sanitaire des arbres semble une opération très délicate où interfèrent deux autres variables logiquement très opposées. Il s'agit de la composante environnementale et géographique et de la composante génétique de l'arbre.

Les accroissements moyens annuels produits sur le liège du littoral des arbres sains sont propices à la formation des pores de grande taille qui s'accompagnent d'autres anomalies de dépréciation telles que les fentes, les soufflures, le liège doublé, etc. Au sein du liège de montagne, dans les mêmes conditions sanitaires, la lenteur de la croissance des cernes procure un liège ferme et très élastique. La formation de pores aux superficies réduites est plus marquée que sur le littoral. Les défauts de lignification verticale et de l'épaisseur excessive de la croûte influent sur le poids et la densité de ce type de liège.

Avec la dégradation de la santé de l'arbre, nous assistons à une réduction des épaisseurs du liège dans les deux provenances (DAHANE, 2006) sans pour autant perturber visiblement les dimensions et les formes des pores. Ce sont les paramètres intrinsèques à chaque arbre qui vont dicter l'abondance ou la raréfaction des pores et par voie de conséquence les autres anomalies physiologiques et de croissance.

Références bibliographiques

- Abdendi Z.E.A, 2003 - Le déprérissement des forêts au Maroc : Analyse des causes et stratégie de lutte. *Science et Changements Planétaires. Sécheresse*, vol.14, n°4, 209-18.
- Abou A., 2008 - Contribution à l'étude de l'effet du bouillage sur les accroissements et la porosité du liège de la suberaie de M'Sila et de Zarieffet. Thèse. Ing. Dept. Forest. Fac.Sci., Univ. Tlemcen, 129 p.
- Aloui A., Rjaibi A., Ben Hamad N., 2006 - Etude de la qualité du liège de reproduction des suberaies d'ain Draham (Tunisie). *Ann. de l'INGREF* (2006), numéro spécial, (44-59) ISSN 1737-0515.
- Amandier L. 2006 - Les causes de déprérissement du chêne-liège et de chêne vert. Séminaire « Vitalité des peuplements des chênes-lièges et des chênes verts : situation actuelle, état des

- connaissances et actions à entreprendre. 25-26 octobre 2006, Evora, Portugal, pp :3
- Bakry M. et Abourouh M., 1995 - Déprérissement du chêne liège au Maroc : état des connaissances et perspectives d'intervention. *IOBC/wprs Bull.* 18, 50-55.
- Boudy P. ,1955 - *Guide du forestier en Afrique du Nord*. Maison rustique, Paris, 509 p.
- Bouhraoua R.T., Villemant C., Khelil M.A. et BouchaourS., 2002 - Situation sanitaire de quelques suberaies de l'ouest algérien : impact des xylophages. *Integrated Protection in Oak Forests IOBC/wprs Bull.* 25(5), 2002. pp 85- 92.
- Bouhraoua R.T, 2003 - Situation sanitaire de quelques forêts de chêne-liège de l'ouest algérien. Etude particulière des problèmes posés par les insectes. Thèse. Doct. Dept. Forest. Fac. Sci., Univ. Tlemcen, 267 p.
- Bouhraoua RT. & Villemant C. 2002 - Situation sanitaire de quelques suberaies de l'ouest algérien : impact des xylophages. *IOBC/WPRS Bull.* 25(5) : 85-92.
- Bouhraoua et Villemant, 2005 - Mécanismes généraux de l'altération sanitaire des peuplements du chêne-liège de l'Algérie nord occidental, *Integrated Protection in Oak Forests IOBC/wprs Bull.* 28(8), 2005, pp :1-8.
- Cambini A.,1971 - Valutazione dei danni causati dagli insetti defogliatori alla querci da sughero. Atti del 1° Convegno Regional del Sughero, Tempio Pausania, 14-16 ottobre 1971 : 327-339.
- Campos M. & Molinas M.,1999 - Aplicacion del analisis de imagenes al estudio de parámetros morfometricos del corcho. *SCIENTIA gertindensis*, 24: 47-58.
- Courtois M. & Masson P. 1999 - Relation entre la qualité du liège, sa composition minérale et la composition minérale des feuilles du chêne-liège (*Quercus suber* L.). *Ann. Sci. For.* 56 : 521-527.
- Carrasquinho, M. I.,1987 - A qualidade da cortiça. *Boletim do Instituto dos Productos Florestais-Cortiça.* 583: 17-18, Lisboa.
- Costa A., et Pereira H.,2005 - Quality characterization of wine cork stoppers using computer vision. *J. Int. Sci. Vin.* 2005. 39. n 4. 209-218.
- Dahane B., 2006 - Incidences des facteurs écologiques sur les accroissements annuels et la qualité du liège de quelques suberaies du nord-ouest algérien. Thèse. Mag. Dept. Forest. Fac. Sci., Univ. Tlemcen , 129 p.
- D.G.F., 2008 - Bilan annuel de la production du liège en Algérie. 2p.
- D.S.F., 1991 - Réseaux de surveillance de l'état sanitaire des forêts (réseau CEE et réseau Bleu) : protocole pour les observations. D.E.R.F, Min. Agri. For., 27 p.
- Elena M. 2005 - La economía del alcornoque y el corcho. In *Curso Restauración de Alcornocales incendiados. Proyecto SUBERNOVA. ICMC. Unpublished*. Mérida. España.
- Ferreira A., Lopes F. & Pereira H., 2000 : Caractérisation de la croissance et de la qualité du liège dans une région de production. *Ann. For. Sci.* 57 (2000) 187-193 187. INRA, EDP Sciences. Portugal. 7p.
- Fereira L. Lopes F. & Pereira H.,1998- Variabilidade da produção e qualidade da

Remerciements

Nous tenons à remercier M. Bouhraoua R. qui a accepté de mettre à notre disposition les données d'inventaires de l'état sanitaire de nos arbres-échantillons (1999-2008) et la collaboration de Garcia de Ceca, Lorenzo et Ma Luisa Estéban de l'INIA – CIFOR de Madrid, dans la prise des mesures.

Belkhir DEHANE
Rachid Tarik
BOUHRAOUA
Département d'Agroforesterie,
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, BP 119
Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen
Algérie
Mél : belk_dahane@yahoo.fr
rtbouraoua@yahoo.fr

José Ramon GONZALEZ-ADRADOS
INIA – Centro de Investigación Forestal,
Dpto. Productos Forestales, Ctra. Coruña, 28040 Madrid
Espagne
Mél : adrados@inia.es

Latéfa BELHOUCINE
INSFP Mansourah
681 les Amandiers
chemin n°36 Kiffane
Tlemcen
Algérie
Mél : belhoucine_latifa2@yahoo.fr

- cotriça na regiao de Alcacer do Sal. Sobreiro e Corticça. Ed H Pereira. pp.70-78. Portugal.
- Garcia de Ceca J.L., 2001 - Factores que afectan a la calidad del corcho en plancha. Universidad politecnica de Madrid, 166p.
- Garcia-Valdecantos J.L., Elena Rosello J.A., 1995 - Genetic variability of *Quercus suber* L. First results of provenance test and isozyme analysis, PROCORK, Workshop 1, European Research on Cork-oak and Cork, Lisbon, 18-19 octobre 1995.
- Garolera E., 1988 - Problèmes et perspectives de la production du liège en Catalogne espagnole. *For. médit.* 10(1), juillet 1988 : 160- 161.
- González Adrados, J.R., García de Ceca, J.L., González Hernández, F., 2005 - Evaluacion de anomalías y classificacion del corcho. Congreso internacional"Alcornocales, Fabricas y comerciantes.Pasado, presente y futuro del negocio corchero.Palafrugell.16p.
- Gonzalez-Adrados J., Pereira H., 1996 - Classification of defects in cork planks using image analysis, *Wood Sci. Technol.* 30 (1996) 207-215.
- Graça J., Barros L., Pereira H., 1985 - Importância da produção de cortiça de qualidade para a indústria transformadora, *Cortiça* 566 (1985) 697-707.
- Marras F., Franceschini A. et Maddau L., 1995 - Principales maladies du chêne-liège (*Quercus suber* L.) en Sardaigne. Protection intégrée des forêts de chênes. *IOBC wprs Bull.* 18(6) : 8-13.
- Melo B., Pinto R., 1994 - Analise de diferenças nos critérios de classificação qualitativa das rolhas. *Cortiça* 601 : 293-302.
- Molinas, M. & Oliva, M., 1990 - El suro i les seves classes. L'Estoig (Publicació de l'Arxiu i Museu de Palafrugell), 2: 33-34.
- Natividade J.V., 1956 - Subericulture. Ecole Nationale des eaux et forêts, Nancy, 302p.
- Nageleisen L.M. et Hett P., 1989 - Les problèmes entomologiques, pathologiques et physiologiques: Les feuillus. La Santé des Forêts [France] en 1989, Min. Agri. Pêche (DERF), Paris : 14-16.
- Orgeas J., 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 (1996) 615-624.
- Pereira, H.; Lopes F. et Graça J., 1996- The evaluation of the quality of cork planks by Image Analysis. *Holzforschung* 50: 111-115.
- PereiraH., 2007- Cork - Biology, production and Uses. Elsevier. ISBN 13. Oxford. UK.329p.
- Quézel P., 2000 : *Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen*. Ibis Press, Paris, 117 p.
- Robert B., 1997 - Contribution to the study of the cork-oak (*Quercus suber* L.) mineral nutrition in the natural medium, Thèse Universitat de Girona, ENSAT.
- Santos Pereira J., Burgalho M.N., Caldeira M.C., 2008 - From the cork oak to cork-A sutainable systeme. APCOR. 44p.
- Sousa E.M.R., Debouz D. et Pereira H., 1995 - Le rôle de l'insecte *Platypus cylindrus* F. (Coleoptera, Platypodidae) dans le processus de déperissement des peuplements du chêne-liège au Portugal. Integrated Protection in Cork-Oak Forests, *IOBC wprs Bull.* 18(6) 1995, pp. 24-37.
- Talbot H., 2005 - Cours de Morphologie Mathématique Introduction à l'analyse d'images ISBS / ESIEE 61p.
- Tinthoin R., 1948 - *Les aspects physiques du teloranais*. L. Fouquet, Oran, 639p.

Résumé

La caractérisation de la qualité du liège selon l'état sanitaire des arbres a été étudiée dans deux zones de production en Algérie, l'une littorale (M'Sila) et l'autre de montagne (Zarieffet). Les prélèvements de liège ont été effectués aléatoirement dans chaque zone sur 40 arbres : 42 sujets sains, 20 affaiblis et 19 arbres déperisants. Les résultats montrent que les arbres sains du littoral produisent un liège aux accroissements supérieurs à ceux de montagne (2,49 mm/an⁻¹ ; 2,18 mm/an⁻¹). La porosité mesurée par analyse d'image était moins atténuée à M'Sila qu'à Zarieffet (4,90% ; 4,50%). Avec la dégradation de l'état sanitaire des arbres, les accroissements moyens annuels se ralentissent davantage et deviennent faibles (<2 mm) en perdant de 11% (Zarieffet) à 22% (M'Sila) mais sans jamais être corrélés à une chute de la porosité. Ce sont les paramètres intrinsèques à chaque arbre qui vont dicter l'abondance ou la raréfaction des pores et par voie de conséquence les autres anomalies physiologiques.

Summary

Defining cork quality via the state of health of the cork oak trees using image analysis: example in the forests of M'Sila and Zarieffet (N.-W. Algeria)

Defining cork quality via the state of health of the trees was studied in two production areas in Algeria: one on the coast (M'Sila), the other in the mountains (Zarieffet). The cork was sampled at random from 40 cork oaks in each area: 42 healthy specimens, 20 weak and 19 dying. The results show that the healthy trees on the coast produced cork that grew at a faster rate than that in the mountains (2.49mm/yr⁻¹; 2.18mm/yr⁻¹). Porosity, as measured by image analysis, was less affected at M'Sila than at Zarieffet (4.90%; 4.50%). With a deterioration in the health of the trees, the average annual growth diminished to become little (>2mm), dropping by 11% (Zarieffet) to 22% (M'Sila), though this was never correlated to a drop in porosity. It is the parameters intrinsic to each tree which determine the abundance or lack of pores and, in consequence, other physiological anomalies.