

P R I X   C O U P   D E   C O E U R   2 0 0 8

Helena PEREIRA

Etude

Le Liège :

Biologie, Production et Utilisation

ACADEMIE



MORIM

## PREFACE

Le Groupe Amorim, né du liège en 1870 au Portugal, a fondé les bases de son développement sur cette extraordinaire matière première, à travers la production de cet humble mais inséparable compagnon du Vin : le bouchon de liège.

Notre volonté de servir la cause du vin s'est toujours exprimée dans la recherche technologique sur la filière liège, base de notre activité.

En 1992, nous avons souhaité aller plus loin et nous engager davantage aux côtés des chercheurs en œnologie en créant l'Académie Amorim, un lieu de rencontre et d'échange entre œnologues, ingénieurs, professeurs, sommeliers, auteurs, artistes... tous animés d'une même passion du Vin.

Chaque année, notre Académie encourage et soutient la recherche en œnologie par la remise d'un Prix à un chercheur ou à une équipe de chercheurs ayant fait paraître des travaux significatifs qui concourent à la défense et à la promotion de la qualité du Vin. Que soient ici saluées les personnalités, membres de cette Académie, qui contribuent si généreusement à cette mission. Je formule le vœux que cette collection, dédiée aux Lauréats du Grand Prix de l'Académie, devienne, au fil des ans, une référence et la mémoire vivante des efforts et des travaux engagés dans le monde entier pour servir la noble cause du Vin.

**Americo Ferreira de AMORIM**

Président du Groupe Amorim

Une vie de recherche et d'études...

Voici l'aboutissement d'une carrière consacrée au liège sous tous ses aspects ! Dans son œuvre, Helena Pereira a souhaité créer un outil de travail de qualité scientifique faisant la synthèse sur le liège et ses applications.

La formation, la structure et la chimie du liège sont passées en revue.

Puis les procédés de transformation industrielle sont expliqués en fonction des différents types de produit réalisés.

Elle reprend également le système de production du liège en forêt.

Aujourd'hui, le liège est reconnu mondialement pour ses qualités dans le bouchage des vins. Alors que le débat sur les modes de bouchage ne cesse de rebondir, ce livre permettra aux œnologues, producteurs et amateurs de vin de mieux appréhender l'importance du liège notamment au niveau environnemental.

En effet, le liège est un enjeu du développement durable pour ses qualités biologiques et écologiques. Il est aussi un facteur de développement au niveau social et économique dans la région Méditerranée occidentale.

Publié en anglais par une des plus grandes maisons d'édition d'ouvrages scientifiques, l'ouvrage a été retenu pour le Coup de Cœur 2008 par les membres de l'Académie AMORIM, en tant que reflet d' "un vrai monument pour le liège".

**Robert TINLOT**

Président de l'Académie Amorim

## INTRODUCTION

---

Le liège est un matériel biologique avec des propriétés particulières qui a cueilli l'attention de l'homme dès l'Antiquité:

- le liège est léger et n'absorbe pas l'eau; ainsi il est utilisé comme matériel flottant
- le liège est compressible et imperméable aux liquides; il est utilisé comme bouchons de réservoirs
- le liège a une très basse conductivité thermique ce qui le rend un bon isolant contre le froid
- le liège a la capacité d'absorption d'énergie permettant nombreuses utilisations où l'absorption d'impacts, de chocs, de vibrations joue un rôle important.

Quelques unes de ces utilisations se sont maintenues jusqu'à nos jours presque inchangées. Aujourd'hui le liège est connu mondialement comme mode de fermeture des bouteilles de vin et certainement beaucoup d'entre nous se sont demandés d'où vient ce bouchon qui fait poff en sortant de la bouteille. La discussion en cours parmi producteurs et œnologues sur les avantages comparatifs des bouchons de liège et des fermetures alternatives a également déclenché l'attention sur l'interaction vin-bouchon et sur le rôle du bouchon dans le vieillissement du vin. Quoique l'industrie du liège ait vécu une grande phase de modernisation technologique, d'automation et d'innovation du côté des procédés industriels, dans son essence, le bouchon de liège est pratiquement sans changement et il se maintient comme le symbole d'une bouteille de vin.

Le rôle du liège dans la conservation de la nature est aussi accentué, surtout par les organismes environnementaux. Le chêne-liège, l'arbre qui produit le liège d'une manière soutenable tout au long de sa vie, est le support d'un système écologique très riche biologiquement et qui se revêt d'une grande importance sociale et économique dans la Méditerranée occidentale. La majorité des chênes-liège en production se situe au sud du Portugal et de l'Espagne ou règnent les systèmes multifonctionnels de montado et dehesa.

La couleur jaune-rouge des chênes liège après déliègeage marque un paysage singulier sous le soleil brillant et le bleu du ciel.

Malgré leur singularité et importance, le liège et le chêne-liège n'ont pas été étudiés systématiquement jusqu'à la fin des années 80. Nous avons eu l'opportunité d'être un des acteurs engagés dans cette recherche et d'apporter quelques nouvelles connaissances sur le liège (biologie, chimie, propriétés et qualité du liège) et le chêne-liège (croissance et production) en compagnie des jeunes thésards et boursiers qui ont travaillé avec nous.

Quoique beaucoup reste à faire, sans doute, pour mieux connaître cette espèce complexe et ce matériel fascinant, le volume de publications scientifiques et techniques est déjà considérable, comme le montre la liste de bibliographie de l'ouvrage qui est présenté au

concours et qui est annexé à cette synthèse. Toutefois l'information disponible est plutôt focalisée et spécifique.

Il n'y avait pas un ouvrage qui fasse d'une manière compréhensive le point des connaissances actuelles sur le liège, de sa formation à ses propriétés et transformation, sans oublier son système de production. Le livre qui se présente ici a comme objectif remplir ce vide.

Il ambitionne être un ouvrage de référence qui puisse être utilisé par tous, de l'œnologue à l'industriel du liège ou du chercheur de nouveaux matériaux au producteur de vin.

La connaissance profonde des caractéristiques biologiques et chimiques du liège, qui sont d'une part le résultat du procédé de sa formation dans l'arbre, et d'autre part sont la base de ces propriétés macroscopiques, est essentielle pour comprendre son fonctionnement comme bouchon dans une bouteille de vin et son apport dans l'évolution du vin en bouteille. Ou, tout simplement, pour bien savoir acheter et utiliser ses bouchons de liège.

## **2. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE**

L'ouvrage en concours est constitué par un livre, une monographie de référence, publié en anglais par une des plus grandes maisons d'éditions d'ouvrages scientifiques, Elsevier Publications (Amsterdam, Netherlands), ayant comme objectif faire la synthèse des connaissances sur le liège, tenant en compte surtout son importance comme bouchon de vin.

Le livre détaille la formation, la structure et la chimie du liège, ainsi que ses propriétés qui vont de l'aspect macroscopique au comportement physique, mécanique et thermique. La transformation industrielle montre les procédés qui sont suivis et leur raison d'être pour la production des différents types de produits, des bouchons aux isolements pour véhicules spatiaux ou aux objets de design. La caractérisation des bouchons est faite en fonction de leur rôle dans la bouteille et de sa relation avec le vin.

Le livre comprend aussi le système de production du liège en forêt, avec une caractérisation de l'arbre, de l'extraction du liège et des systèmes de production.

L'organisation se fait par chapitres. Chaque chapitre contient une introduction aux thèmes qui seront développés et se termine par des conclusions intégrées et objectives, suivies par la bibliographie de référence. Le livre est illustré par beaucoup de figures (photographies, graphiques et schémas) de manière à rendre la lecture plus facile.

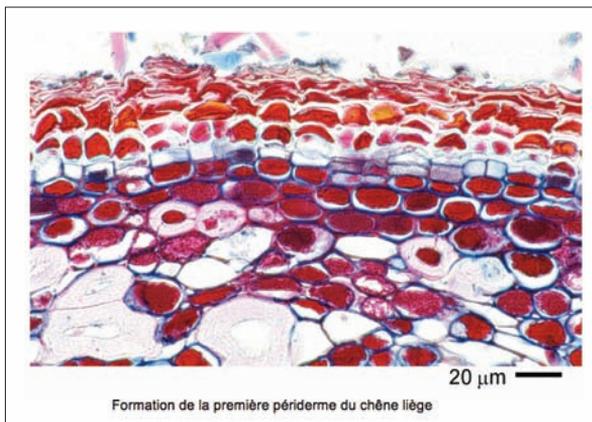
L'index complet se trouve en annexe.

### 3. CONCLUSIONS SELECTIONNÉES

#### Formation

Le liège fait partie de la périderme dans l'écorce extérieure qui revêt le fût et les branches du chêne-liège. En comparaison avec d'autres espèces, la périderme du chêne-liège a un ensemble de caractéristiques qui la singularisent et qui sont à la base d'une exploitation faisable et soutenable de l'arbre comme producteur de liège. Ces caractéristiques sont:

- la première périderme se forme très tôt, dans la première année de la tige
- le phellogène forme un cylindre autour du fût, concentrique avec le cambium de l'arbre
- l'activité méristématique du phellogène se maintient pendant la vie de l'arbre
- chaque cellule mère du phellogène origine un grand nombre de cellules de liège avec un arrangement régulier et sans espaces intercellulaires
- le tissu du liège est homogène en termes de type de cellules excepté la présence des canaux lenticulaires;
- les péridermes traumatiques substituent la périderme initiale si elle devient inactive;
- les péridermes traumatiques ont les mêmes caractéristiques que la première périderme avec une capacité accrue de division cellulaire pendant les années qui suivent à sa formation;
- le processus de formation de péridermes traumatiques peut se répéter beaucoup de fois pendant la vie de l'arbre.

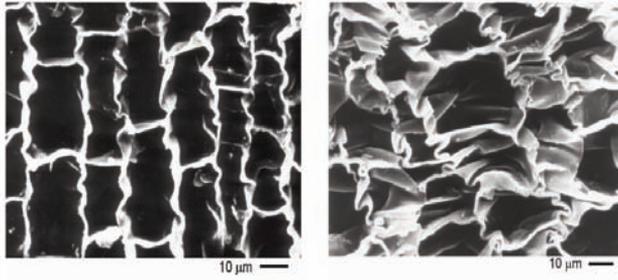


Les canaux lenticulaires qui traversent le tissu du liège dans la direction radiale du phellogène jusqu'à l'extérieur sont des caractéristiques biologiques naturelles de la périderme avec une fonction en relation avec les nécessités d'échanges gazeux. L'activité du phellogène est périodique dans l'année. Des cernes annuels peuvent être observés variables en largeur suivant l'intensité de la division cellulaire du phellogène. Les facteurs qui influencent la croissance du liège sont:

- la croissance diminue avec l'âge du phellogène, plus rapidement dans les premières années et se maintient pratiquement constant pour les phellogènes plus âgées
- la croissance est plus grande pendant les premières années après la formation d'un phellogène traumatique
- la croissance augmente probablement avec l'âge de l'arbre jusqu'à un maximum qui correspond à la maturité et diminue avec le déclin de l'arbre;
- la croissance est en relation avec les conditions climatiques et la sécheresse est un facteur limitant;
- la sylviculture et les conditions édaphiques, ainsi que des occurrences accidentelles peuvent influencer négativement la vitalité de l'arbre et donc diminuer la croissance du liège.

#### Structure

Le liège est un matériel cellulaire comprenant de petites cellules fermées et vides avec une forme de prismes hexagonaux assemblés dans une structure compacte sans vides intercellulaires. Chaque cellule est formée par une cellule mère du phellogène et la direction de croissance (élongation cellulaire) est radiale, construisant des lignes arrangées parallèlement. Les parois cellulaires ont une paroi secondaire subérinisée et lamellée, qui est suffisamment flexible pour permettre une ondulation ou corrugation sous la pression compressive d'accroissement. En comparaison avec d'autres matériaux cellulaires, le liège a des cellules plus petites et avec des parois plus fines, ainsi qu'une uniformité générale d'épaisseur de la paroi.



Cellules de liège en section transversale montrant ondulation (gauche) et corrugation (droite)

La structure est approximativement axisymétrique dans la direction radiale. La structure est caractérisée par la formation régulière de cernes par déposition d'une couche étroite de cellules plus denses en automne et par la présence de canaux lenticulaires. Les canaux lenticulaires, ou porosité du liège introduisent dans la structure un facteur de variation et d'aléatoire et peuvent augmenter l'anisotropie dans le plan tangentiel.

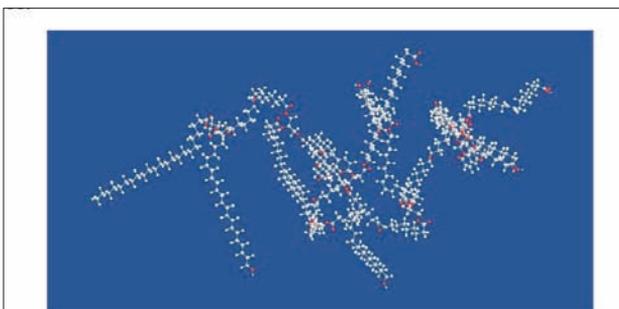
#### Chimie

Les propriétés du liège dérivent largement des spécificités de sa composition chimique et de la structure chimique de ses composants:

- la subérine est le principal composant structurel de la paroi cellulaire et le responsable de beaucoup de propriétés, comprenant près de la moitié des polymères structuraux de la paroi ;
- la lignine est le second composant et elle existe en quantité semblable à celle du bois; son rôle est aussi déterminant pour le comportement du liège ;
- la cellulose a un rôle mineur dans la construction de la paroi cellulaire du liège, représentant seulement près de 10%; cela est une grande différence en relation au bois ;
- le liège contient aussi une quantité appréciable d'extractifs, l comprennent des composés non polaires et polaires, surtout des phénoliques.

La paroi des cellules de liège est une construction en couches dominée par la paroi secondaire qui a une structure microscopique lamellaire. Nous proposons que la subérine se dépose en couches successives d'épaisseur approximativement constante imbibées dans une matrice de lignine.

Le rôle structural de la subérine et de la lignine dans les cellules de liège est schématiquement le suivant: la lignine est un polymère isotrope en réseau qui est le responsable de la rigidité structurale des cellules et de leur résistance sous compression ; la subérine est un polymère avec des unités de type linéaire qui sont assemblées formant des structures en type ruban qui sont les responsables des propriétés élastiques du liège et qui permettent la flexion et le collapse des parois cellulaires.



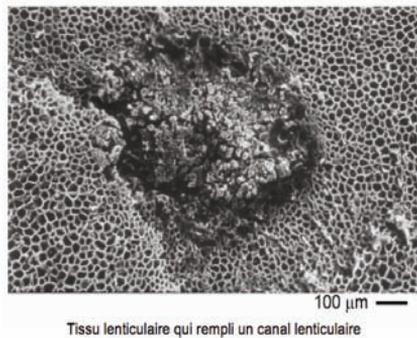
Représentation en modèle tridimensionnel d'une partie de la molécule de subérine

#### Qualité

L'aspect visuel du liège est caractérisé par la présence de cernes annuels, une couleur brun clair et la présence de canaux lenticulaires. Les canaux lenticulaires sont la caractéristique visuelle la plus marquée et que constitue une spécificité du liège. Ils constituent la porosité du liège avec les caractéristiques suivantes:

- ils traversent les planches de liège de l'intérieur à l'extérieur ;

- en section tangentielle ils apparaissent comme des pores plutôt circulaires et en section transversale et radiale comme des lignes;
- Ils contiennent un tissu d'une couleur plus foncée qui permet une identification visuelle et l'application de techniques d'analyse d'image;
- le tissu lenticulaire est cellulaire mais différent en anatomie et chimie du tissu de liège;
- les canaux lenticulaires sont la base de la classification par qualité du liège.



Les planches de liège sont classées suivant leur aptitude pour la transformation industrielle et la valeur potentielle des produits, en tenant en compte que l'objectif majeur sera la production de bouchons de liège.

Les planches sont caractérisées par :

- les classes d'épaisseur sont standardisées ; les meilleures sont la 27-32 mm et la 32-40 mm;
- le classement par qualité est basé sur la porosité lenticulaire et sur la présence de défauts occasionnels d'origine biologique ou extérieure ;
- la classification peut utiliser des mesures quantitatives de porosité faites par analyse d'image et sélection de limites de classes, par exemple du coefficient de porosité ;
- un index de qualité intégrant épaisseur et qualité peut être utilisé pour évaluer la valeur comme matière première d'un assortiment de planches de liège.

### **Bouchons**

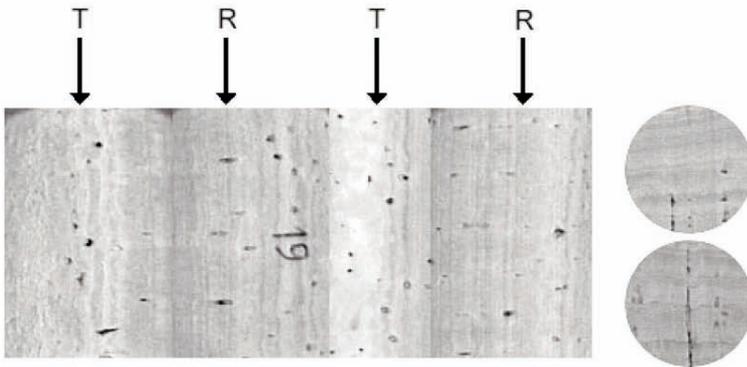
Les bouchons de liège obéissent aux exigences d'étanchéité des bouteilles de vin :

- ils ont des propriétés mécaniques qui permettent l'insertion dans la bouteille et une compression contre le col de la bouteille ;
- ils scellent la bouteille quant au passage du vin;
- ils peuvent être retirés en appliquant une force d'extraction modérée;
- ils sont stables physiquement et chimiquement au long du temps;
- ils sont neutres et n'altèrent pas le vin ;
- ils maintiennent leurs propriétés sous différentes conditions de température et d'environnement.

Les bouchons de liège sont classés par leur aspect macroscopique en relation avec la porosité de leur surface. Le classement par qualité est une opération industrielle importante et la différence de valeur commerciale entre bouchons de classes de qualité différentes est importante.

La classification industrielle de qualité de bouchons et de rondelles est faite actuellement d'une manière automatique par des systèmes de vision; toutefois les variables utilisées et les limites des classes ne sont pas spécifiés. Cette quantification peut être faite par mesure du coefficient de porosité et des dimensions du pore le plus grand.

L'occurrence de goûts de moisi dans le vin embouteillé est un problème important pour l'industrie vinicole. Le TCA peut être la cause, ou une contribution, pour la formation de ce goût; toutefois, dans beaucoup de cas, il n'est pas le responsable et ce sont d'autres anisoles halogénés ou d'autres composés. La présence de TCA indique une contamination antérieure avec des chlorophénols ce qui requiert l'élimination de matériaux traités au chlore ou composé chlorinés. Toutefois la présence de composés chlorinés est répandue sur la terre et dans des produits naturels tels qu'aliments et eau. Les caves et les unités d'embouteillage doivent donc avoir un contrôle strict sur les phénols halogénés et anisoles, ainsi que sur la contamination microbienne



Aspect de la surface extérieure d'un bouchon de liège, montrant la variation de la forme de la porosité dans la surface latérale (T-section tangentielle, R-section radiale)



Variation de la porosité dans une planche de liège après ponçage de bouchons

L'industrie du liège a éliminé une opération qui était considérée comme la source majeure de chlorophénols : le lavage et blanchissement à l'hypochlorite. Dans les unités industrielles de production de bouchons d'aujourd'hui, le stockage et la transformation évitent le développement de microorganismes. Il s'agit dans développement récent des 5 dernières années. Ceci veut dire que la plupart des études sur le TCA sont surpassées en ce qui concerne les bouchons de liège naturel.

Quoique les bouchons synthétiques et les capsules à vis aient maintenant un pourcentage solide du marché, les bouchons de liège restent les préférés du consommateur. Il ne faudra pas oublier que l'évolution du vin s'est faite au long des temps en considérant le vieillissement du vin bouchonné au liège; ainsi, autres solutions pour l'emballage du vin auront besoin d'adaptation et de recherche.

# **Liège : Biologie, Production et Utilisation**

## **Partie I. Biologie du liège**

### Chapitre 1. Formation et croissance du liège

- 1.1. Écorce et périderme des arbres
- 1.2. Périderme et formation du liège dans le chêne-liège
  - 1.2.1. Épiderme
  - 1.2.2. Première périderme
  - 1.2.3. Péridermes traumatiques
- 1.3. Formation des canaux lenticulaires
- 1.4. La croissance du liège
  - 1.4.1. Cernes annuels
  - 1.4.2. Variation de la croissance du liège avec l'âge
  - 1.4.3. Effet de l'environnement sur la croissance du liège
- 1.5. Conclusions

### Références

### Chapitre 2. Structure du liège

- 2.1. Premières observations sur le liège
- 2.2. Forme et topologie cellulaires
- 2.3. Structure 3D
- 2.4. Dimensions cellulaires
- 2.5. Structure du liège en relation avec la formation et croissance cellulaires
- 2.6. La paroi cellulaire
- 2.7. Discontinuités structurelles
  - 2.7.1. Canaux lenticulaires
  - 2.7.2. Inclusions ligneuses
- 2.8. Anisotropie structurelle
- 2.9. Conclusions

### Références

### Chapitre 3. Composition chimique du liège

- 3.1. Subérine
  - 3.1.1. Composition monomérique
  - 3.1.2. Assemblage des monomères
  - 3.1.3. Composants aromatiques associés
  - 3.1.4. Structure moléculaire
- 3.2. Lignine
  - 3.2.1. Composition et liaison monomériques
  - 3.2.2. Structure moléculaire
  - 3.2.3. Aromatiques non-ligneux
- 3.3. Polysaccharides
  - 3.3.1. Cellulose
  - 3.3.2. Hémicelluloses
  - 3.3.3. Pectines
- 3.4. Extractifs
  - 3.4.1. Composés aliphatiques de chaîne longue
  - 3.4.2. Extractifs terpénoides
  - 3.4.3. Extractifs phénoliques
- 3.5. Composants inorganiques
- 3.6. Composition chimique du liège
- 3.7. Topochimie de la paroi cellulaire
- 3.8. Méthodes d'analyse chimique
  - 3.8.1. Analyse sommative
  - 3.8.2. Caractérisation par FT-IR
  - 3.8.3. Résonance magnétique nucléaire
- 3.9. Conclusions

### Références

## **Partie II. Production du liège**

### Chapitre 4. Le chêne-liège

- 4.1. Distribution géographique
- 4.2. Description botanique
- 4.3. Ecologie
- 4.4. Croissance de l'arbre
  - 4.4.1. Saisonnalité de la croissance radiale
  - 4.4.2. Influence climatique
- 4.5. Sylviculture
  - 4.5.1. Régénération
  - 4.5.2. Peuplements juvéniles
  - 4.5.3. Peuplements adultes
- 4.6. Forêts de chêne-liège
- 4.7. Conclusion

#### Références

### Chapitre 5. L'extraction du liège

- 5.1. Extraction du liège
  - 5.1.1. Opération de déliègeage
  - 5.1.2. Intensité de déliègeage
  - 5.1.3. Effet sur la croissance de l'arbre
- 5.2. Opérations après extraction
  - 5.2.1. Stockage en forêt
  - 5.2.2. Variation de la teneur en eau
  - 5.2.3. Stockage et préparation
- 5.3. Chaîne Forêt-Industrie
  - 5.3.1. Types de liège brut
  - 5.3.2. Exigences industriels

#### 5.4. Conclusions

#### Références

### Chapitre 6. La gestion soutenable de la production du liège

- 6.1. Croissance du liège et productivité
  - 6.1.1. Croissance du liège
  - 6.1.2. Productivité du liège
- 6.2. Modélisation de la croissance du liège et du chêne-liège
  - 6.2.1. Prédiction de la production de liège
  - 6.2.2. Modélisation de la croissance et rendement
  - 6.2.3. Echantillonnage en forêt pour inventaire et estimation de production
- 6.3. La soutenabilité des forêts de chênes-liège
  - 6.3.1. Multifonctionnalité des systèmes de chênes-liège
  - 6.3.2. Gestion soutenable des forêts de chênes-liège

#### 6.4. Conclusions

#### Références

## **Partie III. Propriétés du liège**

### Chapitre 7. Aspect macroscopique et qualité

- 7.1. L'aspect du liège
  - 7.1.1. Canaux lenticulaires
  - 7.1.2. Couleur
  - 7.1.3. La crôte du liège
- 7.2. Défets du liège
  - 7.2.1. Discontinuités
  - 7.2.2. Inclusions et taches
  - 7.2.3. Liège vert

- 7.3. Analyse d'image des surfaces de lièges
  - 7.3.1. Section tangentielle
  - 7.3.2. Sections radiale et transversale
  - 7.3.3. Variation de la porosité
- 7.4. Classification de la qualité du liège
  - 7.4.1. Classes d'épaisseur
  - 7.4.2. Classification par qualité
  - 7.4.3. Index de valeur intégré
- 7.5. Conclusions

#### Références

### Chapitre 8. Densité et humidité

- 8.1. Densité
  - 8.1.1. Densité du liège
  - 8.1.2. Facteurs de variation de la densité du liège
  - 8.1.3. Densité des planches de liège
- 8.2. Teneur d'humidité
  - 8.2.1. L'eau dans le liège
  - 8.2.2. Humidité d'équilibre
  - 8.2.3. Isothermes de sorption
- 8.3. Absorption d'eau
  - 8.3.1. Diffusion de l'eau
  - 8.3.2. Variations dimensionnelles
  - 8.3.3. Bouillage à l'eau du liège
  - 8.3.4. Séchage du liège
  - 8.3.5. Transport de l'eau dans le liège

#### 8.4. Conclusions

#### Références

### Chapitre 9. Propriétés mécaniques

- 9.1. Tension et extension
- 9.2. Compression
  - 9.2.1. Courbes de tension-extension
  - 9.2.2. Anisotropie de compression
  - 9.2.3. L'effet de Poisson
  - 9.2.4. L'effet de l'air dans les cellules
  - 9.2.5. L'effet de la densité, porosité et humidité
  - 9.2.6. L'effet du bouillage à l'eau
  - 9.2.7. Récupération de dimensions après compression
- 9.3. Tension
- 9.4. Flexion
- 9.5. Torsion
- 9.6. Variation des propriétés mécaniques dans le liège
- 9.7. Conclusions

#### Références

### Chapitre 10. Propriétés de surface, thermiques et autres

- 10.1. Propriétés de surface
  - 10.1.1. Mouillabilité
  - 10.1.2. Energie de surface
  - 10.1.3. Propriétés acide-base
- 10.2. Friction
- 10.3. Usure
- 10.4. Propriétés thermiques
- 10.5. Traitements de température
- 10.6. Absorption d'énergie
- 10.7. Propriétés diélectriques
- 10.8. Conclusions

#### Références

## **Partie IV. Transformation et produits de liège**

### Chapitre 11. Produits de liège et transformation industrielle

- 11.1. Utilisations historiques de liège
- 11.2. Le liège dans la science
- 11.3. Utilisations actuelles du liège
- 11.4. Le liège dans l'exploration spatiale
- 11.5. Le liège dans la médecine
- 11.6. Applications potentielles
- 11.7. Conclusions

#### Références

### Chapitre 12. Production de bouchons et rondelles de liège

- 12.1. Lignes de production industrielles
- 12.2. Transformation post-harvest
  - 12.2.1. Stockage
  - 12.2.2. Bouillage à l'eau
  - 12.2.3. Altérations du liège par le bouillage
  - 12.2.4. Transformation des planches de liège bouillies
  - 12.2.5. Transformation du liège vert
  - 12.2.6. Second bouillage
- 12.3. Production de bouchons de liège
  - 12.3.1. Opérations de transformation
  - 12.3.2. Finition et traitements de surface
  - 12.3.3. Rendements de production
- 12.4. Production de rondelles pour bouchons techniques
  - 12.4.1. Opérations de transformation
  - 12.4.2. Rendements de production
  - 12.4.3. Assemblage des bouchons

#### 12.5. Conclusions

#### Références

### Chapitre 13. Agglomérés et composites de liège

- 13.1. Matières premières et types d'agglomérés
  - 13.1.1. Types d'agglomérés de liège
  - 13.1.2. Transformation de sous-produits
  - 13.1.3. Matières premières de liège
- 13.2. Trituration du liège
- 13.3. Agglomération du liège avec adhésifs
- 13.4. Composites de liège et caoutchouc
- 13.5. Agglomérés d'isolement de liège expansé
- 13.6. Conclusions

#### Références

### Chapitre 14. Bouchons de liège et vin

- 14.1. Histoire et types de bouchons de vins
- 14.2. Qualité visuelle des bouchons de liège
  - 14.2.1. Surface des bouchons de liège naturel
  - 14.2.2. Classification de qualité des bouchons de liège
  - 14.2.3. Règles de décision pour la classification par qualité
  - 14.2.4. Classification par qualité des rondelles de liège
- 14.3. Propriétés du liège comme bouchons
  - 14.3.1. Compression des bouchons
  - 14.3.2. Force d'extraction
  - 14.3.3. Qualité de l'étanchéité

#### 14.4. Taints et off-flavours du vin

- 14.4.1. TCA taint du vin

I4.4.2. Détection du TCA

I4.4.3. Origine du TCA and du TCA-taint

I4.5. Liège et taints du vin

I4.5.1. TCA dans les bouchons de liège

I4.5.2. La transformation du liège et le TCA

I4.6. Certification et contrôle de qualité

I4.7. Utilisation d'autres fermetures

I4.8. Conclusions

Références

ACADEMIE  MORIM

11, Villa Wagram Saint-Honoré - 75008 Paris - France  
Tel : +33 (0)1 58 05 10 70 - Fax : +33 (0)11 58 05 10 71  
Email : [contact@academie-amorim.com](mailto:contact@academie-amorim.com)  
[www.academie-amorim.com](http://www.academie-amorim.com)

 GREENWICH