# Comparaison du comportement au séchage entre chêne pubescent et chêne pédonculé

Rédacteur : Loïc Brancheriau

Date : 27 mars 2013

Personnes ayant participé à cette étude : Claude Daigremont, Sylvain Lotte, Philippe Gallet, Daniel Guibal et Sébastien Paradis.

www.cirad.fr

Innovons ensemble pour les agricultures de demain

**UR Production et valorisation des bois tropicaux**
**TA B-40/16 – 73 Rue Jean François Breton – 34398 Montpellier cedex 5**
**Tél : +33 (0)4 67 61 65 25 – Fax : +33 (0)4 67 61 65 60**

**SIRET 331 596 270 00040**



Etablissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) - SIRET 331 596 270 00040 - SIREN 331596270 - RCS Paris B 331 596 270

cirad
LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT

# Sommaire


Matériel végétal ..... 3
Sciage ..... 4
Séchage ..... 5
Détermination des retraits ..... 7
Mesure des défauts de séchage ..... 7
Analyse statistique ..... 9
Résultats ..... 10
Retrait radial et retrait tangentiel ..... 10
Humidité au cours du séchage ..... 11
Défauts de séchage ..... 13
Conclusions ..... 18




UR Production et valorisation des bois tropicaux
TA B-40/16 – 73 Rue Jean François Breton – 34398 Montpellier cedex 5
Tél : +33 (0)4 67 61 65 25 – Fax : +33 (0)4 67 61 65 60
SIRET 331 596 270 00040



Etablissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) - SIRET 331 596 270 00040 - SIREN 331596270 - RCS Paris B 331 596 270

## Matériel végétal

L'étude est réalisée à partir de 10 arbres (5 c. pubescents et 5 c. pédonculés) prélevés à Saliès (81990), près d'Albi (Figure 1, Tableau 1). Les arbres ont le même âge (130 ans) et sont issus de la même station forestière. Les c. pédonculés présentent des signes de dépérissement dont la présence de pourriture à cœur : coloration brune-rouge provoquée par la présence du champignon *Polyporus sulfureus* qui évolue ensuite vers une pourriture cubique. Cette altération affecte les grumes sur une grande longueur. Afin de prélever du bois sain, autant que possible, 13 billons (bille de pied et sur-bille) ont été coupés à des longueurs de 2,5 m et 4,5 m à partir de 1 m du sol environ (Tableau 2). La bille 1 n'a pas été prise en compte dans la suite de l'étude (pourriture sur toute la longueur).

***Figure 1 : Abattage et prélèvement des billes.***

| Arbre | Essence | Diamètre à 1,3 m | Volume AFOCEL ($m^3$) | Volume Chaudé ($m^3$) |
|---|---|---|---|---|
| **1** | E | 49 | 1.482 | 1.450 |
| **2** | E | 55 | 2.000 | 2.006 |
| **4** | E | 51 | 0.926 | 0.987 |
| **7** | E | 51 | 1.096 | 1.147 |
| **8** | E | 52 | 1.267 | 1.295 |
| **3** | U | 44 | 0.759 | 0.807 |
| **5** | U | 43 | 0.759 | 0.807 |
| **6** | U | 48 | 1.763 | 1.614 |
| **9** | U | 47 | 0.919 | 0.936 |
| **10** | U | 57 | 1.493 | 1.543 |
| | | **Moyenne** | 1.246 | 1.259 |
| | | **Total** | 12.5 | 12.6 |

***Tableau 1 : Volume des arbres prélevés (E : c. pédonculé, U : c. pubescent).***


**UR Production et valorisation des bois tropicaux**
**TA B-40/16 – 73 Rue Jean François Breton – 34398 Montpellier cedex 5**
**Tél : +33 (0)4 67 61 65 25 – Fax : +33 (0)4 67 61 65 60**
**SIRET 331 596 270 00040**



Etablissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) - SIRET 331 596 270 00040 - SIREN 331596270 - RCS Paris B 331 596 270

| Bille | Essence | Etat | Purge à partir du sol (m) | Longueur prélevée (m) |
|---|---|---|---|---|
| **1** | E | Pourri | 2.70 | 2.50 |
| **1 BIS** | E | - | - | 4.70 |
| **2** | E | Pourri | 1.10 | 4.50 |
| **2 BIS** | E | - | - | 4.50 |
| **4** | E | Pourri | 1.50 | 4.00 |
| **7** | E | Pourri | 2.70 | 2.50 |
| **7 BIS** | E | - | - | 4.40 |
| **8** | E | Pourri | 2.90 | 2.50 |
| **3** | U | - | 0.90 | 4.50 |
| **5** | U | - | 0.90 | 4.50 |
| **6** | U | - | 0.90 | 4.50 |
| **9** | U | - | 0.90 | 2.50 |
| **10** | U | Pourri | 3.40 | 4.50 |

***Tableau 2 : Caractéristiques des billes prélevées (BIS correspond à une sur-bille).***

## Sciage

A réception des billes au Cirad, un produit anti-fente est appliqué en bout afin de limiter le séchage naturel. La longueur et les diamètres (2 mesures en croix aux 2 extrémités) de chaque bille sont relevés (une purge de 10 cm d'épaisseur à chaque bout est préalablement effectuée). Les billes sont sciées en planches de 2 m de longueur, de 41 mm d'épaisseur avec une largeur moyenne de 33 cm (Figure 2). L'épaisseur choisie est supérieure à l'épaisseur commerciale (27 mm) majoritaire (avivés : 18, **27**, 34, **41**, 45 et 54 mm).

***Figure 2 : Sciage des billes.***

Le cœur et l'aubier ne sont pas purgés. Le volume final scié est de 4,2 $m^3$ avec un rendement de 77 % (Tableau 3). Ce volume est réparti en 2,4 $m^3$ de c. pédonculé et 1,8 $m^3$ de c. pubescent.

| Bille | Essence | Diamètre (cm) | Longueur (m) | Largeur (cm) | Nombre de planche | Volume de bille ($m^3$) | Volume scié ($m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1B** | E | 38 | 4.31 | 30 | 6 | 0.489 | 0.318 |
| **2** | E | 45 | 4.01 | 43 | 8 | 0.638 | 0.566 |
| **2B** | E | 38 | 4.03 | 33 | 7 | 0.463 | 0.381 |
| **4** | E | 41 | 3.61 | 38 | 7 | 0.482 | 0.392 |
| **7** | E | 40 | 2.1 | 37 | 6 | 0.264 | 0.189 |
| **7B** | E | 38 | 3.88 | 30 | 7 | 0.446 | 0.329 |
| **8** | E | 39 | 2.11 | 31 | 7 | 0.246 | 0.189 |
| **3** | U | 37 | 4.07 | 32 | 6 | 0.438 | 0.316 |
| **5** | U | 36 | 4.06 | 28 | 6 | 0.402 | 0.277 |
| **6** | U | 40 | 4.08 | 27 | 7 | 0.500 | 0.316 |
| **9** | U | 41 | 4.01 | 36 | 7 | 0.517 | 0.419 |
| **10** | U | 43 | 4.14 | 37 | 8 | 0.594 | 0.502 |
| | | | | | **Total** | 5.48 | 4.19 |

***Tableau 3 : Dimensions et volumes de sciage.***

## Séchage

Le séchage est réalisé dans 2 séchoirs à air chaud climatisé d'un volume de 1,5 $m^3$ (séchoir A) et 3 $m^3$ (séchoir B). L'épaisseur des baguettes utilisées est de 30 mm avec un écartement entre baguettes d'environ 50 cm. La durée de préchauffage est de 12 h. La vitesse de séchage est constante (vitesse lente, de 2 m/s environ en sortie de ventilateur). Le nombre total de planches utilisées est de 88 réparti en 22 planches (A) et 66 planches (B), soit 2,35 $m^3$ (0,60 $m^3$ en A et 1,75 $m^3$ en B). Pour chaque séchoir, le nombre de planches est divisé en parts égales entre le c. pédonculé et le c. pubescent (soit 11 planches en A et 33 planches en B). L'empilage – répartition – est strictement identique entre les 2 essences (alternance des 2 essences : étage n [E U E U…], étage n+1 [U E U E…]) (Figure 4).

***Figure 3 : Mesure d'humidité.***

En cours de séchage, l'humidité est contrôlée par mesures résistives en 6 sondes (réparties des 2 côtés du séchoir et de bas en haut). Deux tables de séchage sont utilisées : dans le séchoir A, la table utilisée pour évaluer les bois tropicaux difficiles à sécher au Cirad ; dans le séchoir B, la table conseillée pour le séchage du chêne (Séchage du bois : Guide pratique, CTBA, 1990) (Tableau 4). En fin de séchage, l'humidité de toutes les planches est déterminée par mesure résistive (1 relevé par planche, Figure 3).


UR Production et valorisation des bois tropicaux
TA B-40/16 – 73 Rue Jean François Breton – 34398 Montpellier cedex 5
Tél : +33 (0)4 67 61 65 25 – Fax : +33 (0)4 67 61 65 60
SIRET 331 596 270 00040

Etablissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) - SIRET 331 596 270 00040 - SIREN 331596270 - RCS Paris B 331 596 270

| H % | Ts °C | HR air % | H0 % | Gd | H % | Ts°C | HR air % | H0 % | Gd |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| vert | 42 | 87 | 17.6 | | vert | 30 | 82 | 16.3 | |
| 35 | 46 | 78 | 13.9 | 2.5 | 35 | 30 | 80 | 15.5 | 2.3 |
| 25 | 52 | 71 | 11.7 | 2.1 | 30 | 40 | 80 | 15.0 | 2.0 |
| 20 | 54 | 65 | 10.4 | 1.9 | 28 | 45 | 77 | 13.7 | 2.0 |
| 15 | 56 | 57 | 8.9 | 1.7 | 25 | 50 | 70 | 11.6 | 2.2 |
| | | | | | 22 | 55 | 67 | 10.7 | 2.1 |
| | | | | | 20 | 60 | 57 | 8.7 | 2.3 |
| | | | | | 18 | 60 | 50 | 7.7 | 2.3 |
| | | | | | 15 | 65 | 42 | 6.4 | 2.3 |

***Tableau 4 : Tables de séchage utilisées (gauche-séchoir A, droite-séchoir B). H : humidité du bois ; Ts : température sèche ; HR : humidité relative de l'air ; H0 : humidité d'équilibre ; Gd : gradient de séchage.***

***Figure 4 : Photographies des piles de séchage.***

## Détermination des retraits

Les retraits sont déterminés sur les 10 arbres à partir d'1 planche sur quartier. Dans chaque planche, environ 6 échantillons de dimensions 20 x 20 x 10 mm sont découpés selon les directions R, T, L (l'aubier est une zone de prélèvement possible, Figure 5). Le nombre total d'échantillons est de 55 réparti en 28 échantillons pour le c. pédonculé et 27 pour le c. pubescent. Les retraits dans le sens radial et dans le sens tangentiel sont déterminés en utilisant l'équation (1).

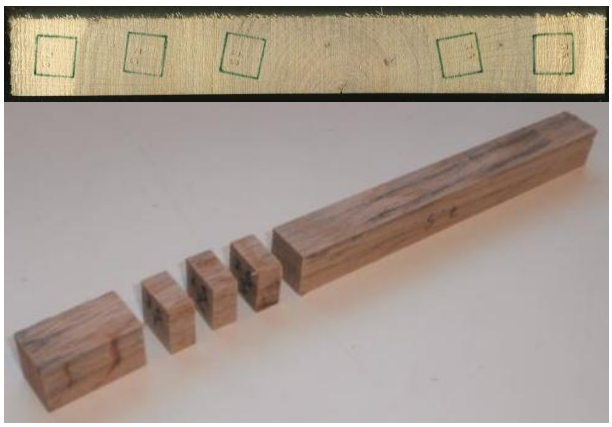


***Figure 5 : Prélèvement et façonnage des éprouvettes de retrait.***

(1) $$R = \frac{Ls - Lo}{Ls} \times 100$$

Avec R : retrait total en % ; Ls : dimension à l'état saturé et Lo : dimension à l'état anhydre.

## Mesure des défauts de séchage

Pour chaque planche, la présence de fente (nombre et longueur cumulée) est relevée. Les déformations géométriques comme le gauchissement, le tuilage et les flèches sont mesurées (Figure 7). L'absence ou la présence de gerce et de collapse est également relevée. Pour chaque essence, 2 mesures de répartition de l'humidité sont réalisées (humidité interne et externe, Figure 6) pour des planches d'humidité voisine de la moyenne du lot de bois séché.

***Figure 6 : Découpes pour mesures de répartition de l'humidité.***

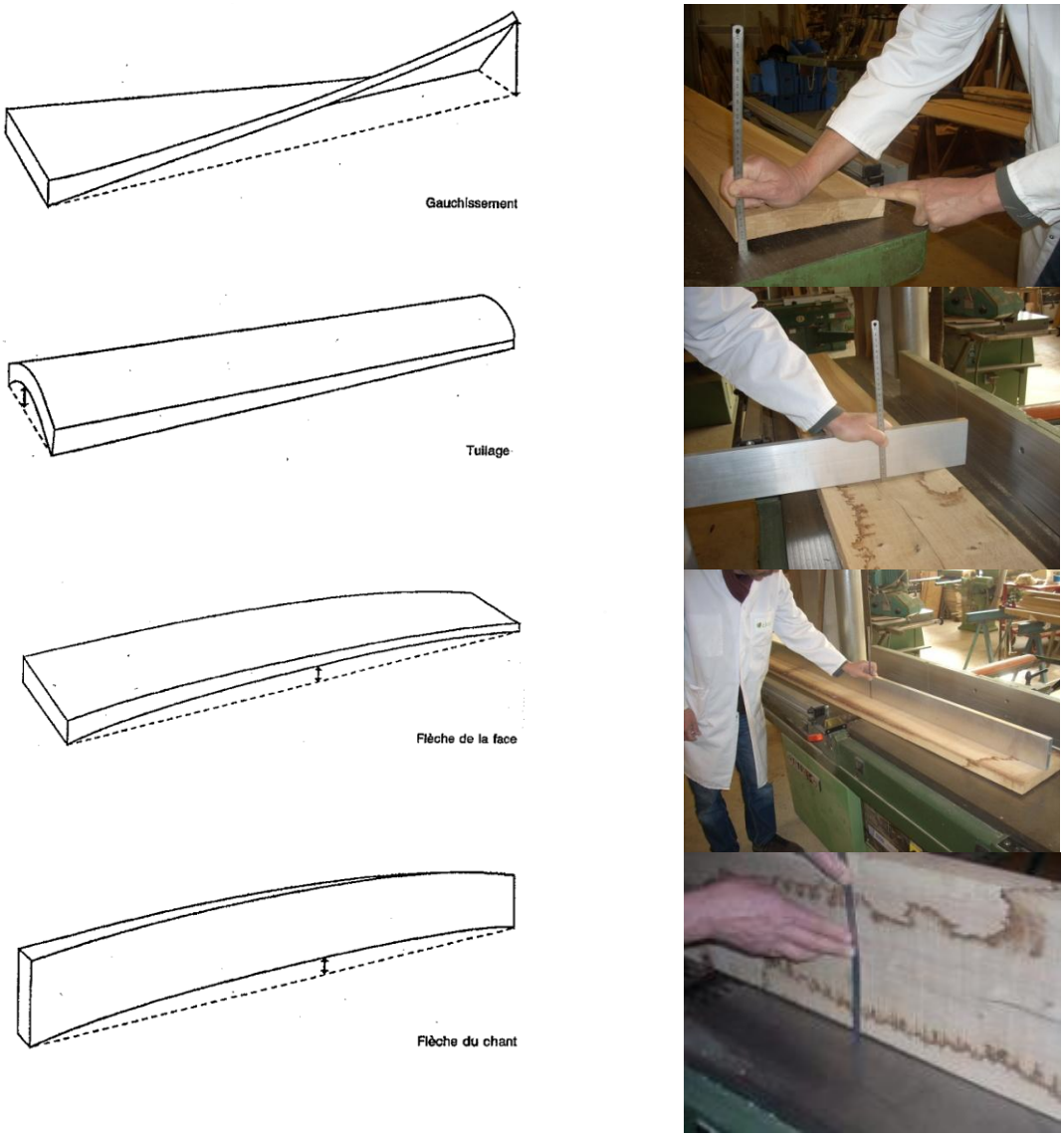



***Figure 7 : Mesures des déformations géométriques de séchage.***

# Analyse statistique

Diagramme de Tukey

Les distributions statistiques sont représentées en utilisant le diagramme de Tukey. Ce diagramme est un moyen rapide de figurer le profil essentiel d'une série statistique quantitative. Il s'agit de tracer un rectangle allant du premier quartile au troisième quartile et coupé par la médiane. Des segments sont ajoutés aux extrémités menant jusqu'aux 5e et 95e centiles.

Tests statistiques et règle de décision

Dans le cas où le nombre de données est faible (incertitude sur l'estimation de la moyenne et de la variance, de même que sur la normalité des distributions), il est préférable d'utiliser des tests non paramétriques. Les tests non paramétriques (tests de rangs) ne font aucune hypothèse sur la distribution sous-jacente des données.

En statistiques, un test d'hypothèse est une démarche consistant à rejeter ou à ne pas rejeter une hypothèse (H0) en fonction d'un ensemble de données. La probabilité (valeur p), associée à la variable de décision, est calculée en supposant que H0 est vraie. Il est alors nécessaire de définir un risque seuil (valeur α) en dessous duquel H0 est rejetée. Un risque de première espèce $\alpha = 0.05$ est considéré comme acceptable dans l'analyse. Accepter H0 ne signifie pas que cette hypothèse est vraie, mais seulement que les informations disponibles ne sont pas incompatibles avec cette hypothèse.

Les tests ci-dessous sont utilisés :

- Comparaison de moyennes : Wilcoxon
- Comparaison de distributions : Kolmogorov - Smirnov
- Test de corrélation : Kendall
- Comparaison de proportion : Chi-2


UR Production et valorisation des bois tropicaux
TA B-40/16 – 73 Rue Jean François Breton – 34398 Montpellier cedex 5
Tél : +33 (0)4 67 61 65 25 – Fax : +33 (0)4 67 61 65 60
SIRET 331 596 270 00040

Etablissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) - SIRET 331 596 270 00040 - SIREN 331596270 - RCS Paris B 331 596 270

# Résultats

## Retrait radial et retrait tangentiel

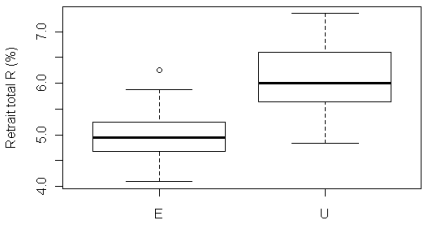
| Sens | N | Moyenne | Ecart type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|---|
| **E** | | | | | |
| **R** | 26 | 5.0 | 0.56 | 4.1 | 6.3 |
| **T** | 26 | 10.7 | 1.04 | 9.1 | 13.0 |
| **U** | | | | | |
| **R** | 23 | 6.1 | 0.74 | 4.8 | 7.4 |
| **T** | 23 | 13.1 | 1.85 | 10.4 | 17.1 |

***Tableau 5 : Statistiques descriptives des retraits selon l'essence.***

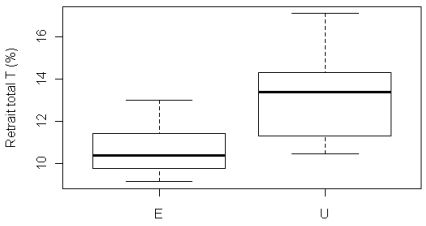
Le Tableau 5 et la Figure 8 présentent la synthèse des mesures de retrait réalisées. Les échantillons prélevés dans l'aubier (n=4) et présentant une coloration brune-rouge (n=2) ont été retirés de l'analyse. Les valeurs moyennes sont cohérentes avec les données bibliographiques (9.3% T, 6.0% R pour le c. pédonculé[1]). Les moyennes des retraits sont comparées entre les 2 essences :

- Radial : W = 84, $p < 10^{-3}$ : moyennes différentes.
- Tangentiel : W = 78, $p < 10^{-3}$ : moyennes différentes.
- Ratio T/R : W = 293, p = 0.90 : moyennes égales.

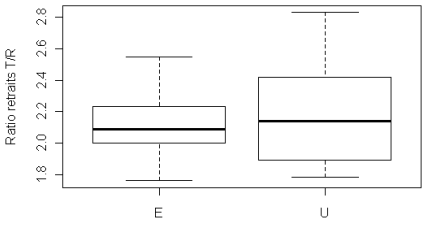
Les retraits moyens sont significativement différents entre c. pubescent et c. pédonculé. Cependant, l'anisotropie moyenne des retraits est identique entre les 2 essences (avec une dispersion plus forte pour le c. pubescent). Il faut donc s'attendre à des déformations géométriques moyennes identiques avec un taux plus élevé de pièces comportant des déformations importantes pour le c. pubescent.




a




b




c

***Figure 8 : Diagrammes de Tukey pour les retraits selon l'essence (a : sens R, b : sens T, c : ratio des retraits T/R).***

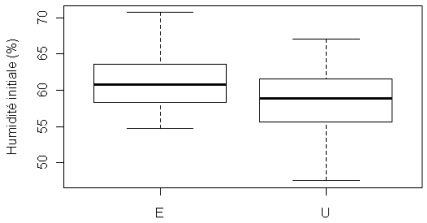
[1] Bolmont D., Fouchard M. (2010) Le guide du bois et ses dérivés. AFNOR, page 78.

## Humidité au cours du séchage

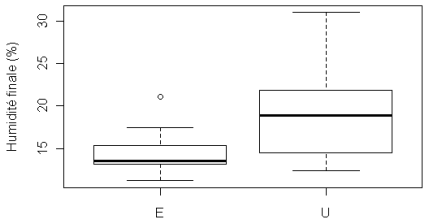
| Essence | N | Moyenne | Ecart type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|---|
| **Initiale** | | | | | |
| **E** | 28 | 61.5 | 4.4 | 54.7 | 70.7 |
| **U** | 27 | 58.9 | 4.3 | 47.5 | 67.0 |
| **Finale A** | | | | | |
| **E** | 10 | 14.5 | 2.8 | 11.2 | 21.1 |
| **U** | 12 | 18.9 | 5.2 | 12.4 | 31.0 |
| **Finale B** | | | | | |
| **E** | 33 | 15.9 | 3.0 | 11.6 | 23.5 |
| **U** | 33 | 17.2 | 3.4 | 12.7 | 26.0 |

***Tableau 6 : Statistiques descriptives de l'humidité initiale et finale selon l'essence et le séchage.***

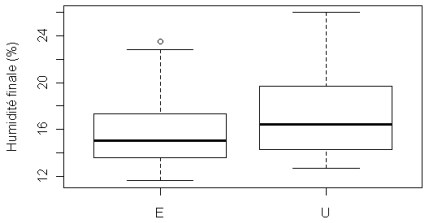
Le Tableau 6 et la Figure 9 présentent les statistiques descriptives de l'humidité. Les humidités initiales sont déterminées sur les éprouvettes de retrait. La comparaison des moyennes ne permet pas d'affirmer leur égalité (W = 492, p = 0.056 ; probabilité voisine du risque accepté). Le diagramme de Tukey (Figure 9-a) montre cependant qu'il existe plus de planche de faible humidité pour le c. pubescent que pour le c. pédonculé (H<60%).




a




b




c

***Figure 9 : Diagrammes de Tukey de l'humidité selon l'essence (a : humidité initiale, b : humidité finale - séchoir A, c : humidité finale - séchoir B).***

Le séchage a duré 28 jours pour (A) et 33 jours pour (B). La masse d'eau évacuée est de l'ordre de 180 kg pour (A) et de 510 kg pour (B). Il est, dans un premier temps, vérifié que la position des pièces dans la pile de séchage n'est pas liée avec l'humidité finale mesurée (tau de Kendall, corrélation des rangs). La répartition de l'humidité des pièces peut être considérée comme homogène dans les séchoirs.

Pour le séchoir (A) :

- c. pédonculé, tau = -0.13, p = 0.59 : corrélation nulle.
- c. pubescent, tau = -0.17, p = 0.45 : corrélation nulle.

Pour le séchoir (B) :

- c. pédonculé, tau = -0.11, p = 0.40 : corrélation nulle.
- c. pubescent, tau = +0.13, p = 0.31 : corrélation nulle.

Le test de comparaison des moyennes montre que les humidités finales diffèrent entre les 2 essences pour (A) (W = 25, p = 0.021). L'humidité finale est de 14.5% pour le c. pédonculé contre 18.9% pour le c. pubescent. Le diagramme de Tukey (Figure 9-b) met également en évidence une forte dispersion des valeurs pour le c. pubescent (écart type de 5.2%, forte proportion à des humidités élevées, H>20%). Concernant le séchoir (B), les humidités finales ne différent pas entre les 2 essences (W = 421, p = 0.113). Il existe néanmoins un nombre plus important de planches au-dessus de la moyenne pour le c. pubescent que pour le c. pédonculé (Figure 9-c, H>16%).

D'après les préconisations de la norme NF EN 14298 (2005) « Bois scié - Estimation de la qualité du séchage », l'étendue admissible de teneur en humidité moyenne est de [-2.0%, +1.5%], soit entre 13% et 16,5% (H cible = 15%). En tenant compte de l'étendue admissible, l'humidité moyenne pour le séchoir (A) :

- du c. pédonculé est satisfaisante (14.5%),
- du c. pubescent n'est pas satisfaisante (18.9%).

Pour le séchoir (B) :

- du c. pédonculé est satisfaisante (15.9%),
- du c. pubescent n'est pas satisfaisante (17.2%).

D'autre part, selon la norme NF EN 14298 (2005), 93.5% des pièces doivent avoir une teneur en humidité individuelle comprise entre entre 10.5% et 19.5% (H cible = 15%). Aucune des 2 essences ne satisfait cette exigence, cependant la proportion de pièces admissibles est plus élevée pour le c. pédonculé que pour le c. pubescent.

Pour le séchoir (A), avec N le nombre de pièces en dehors des limites admissibles :

- c. pédonculé N = 1 sur 10 pièces (90.0%),
- c. pubescent N = 6 sur 12 pièces (50.0%).

Pour le séchoir (B) :

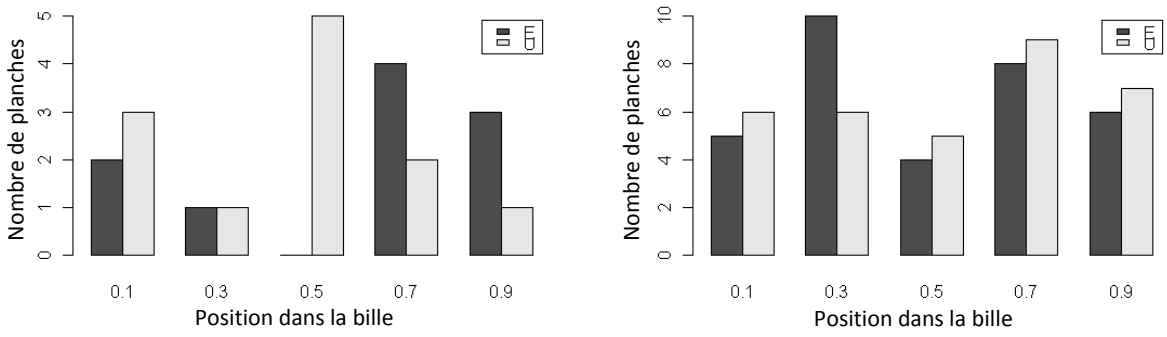
- c. pédonculé N = 4 sur 33 pièces (87.9%),
- c. pubescent N = 9 sur 33 (72.7%).

| Essence | Position | Humidité (%) | Essence | Position | Humidité (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Séchoir A** | | | **Séchoir B** | | |
| **E** | Externe | 11.4 | **E** | Externe | 12.7 |
| | Interne | 14.7 | | Interne | 19.4 |
| **E** | Externe | 11.4 | **E** | Externe | 9.5 |
| | Interne | 14.6 | | Interne | 11.2 |
| **U** | Externe | 14.2 | **U** | Externe | 11.6 |
| | Interne | 25.0 | | Interne | 16.5 |
| **U** | Externe | 14.2 | **U** | Externe | 12.8 |
| | Interne | 22.1 | | Interne | 18.4 |

***Tableau 7 : Répartition de l'humidité dans la section de 4 planches selon l'essence et le séchoir.***

La détermination du gradient interne d'humidité est réalisée sur 2 planches par essence et par séchoir (planches d'humidité voisine du lot de bois séché). Les résultats obtenus sont montrés au Tableau 7. Pour le c. pédonculé, la différence d'humidité observée entre le cœur et la périphérie est de 3% pour (A) et de 4% pour (B). Pour le c. pubescent, cette différence est de 9% pour (A) et 5% pour (B). Le gradient d'humidité est similaire entre les 2 essences pour le séchoir (B) et pour le c. pédonculé du séchoir (A). Il existe par contre un gradient important pour le c. pubescent du séchoir (A).

## Défauts de séchage




Séchoir (A) Séchoir (B)

***Figure 10 : Distribution des positions des planches dans les billes selon l'essence et le séchoir (0 : quartier à 1 : dosse).***

En raison de l'anisotropie du retrait, les déformations géométriques après séchage sont fonction de la position de la planche dans la bille (quartier, faux-quartier, dosse ; Figure 11).

Pour pouvoir comparer les 2 essences, il est préalablement nécessaire de montrer que les distributions des positions des planches dans les billes sont identiques (Figure 10). Le test d'identité des distributions de Kolmogorov-Smirnov donne les résultats suivants :

- Séchoir (A), D = 0.45, p = 0.22
- Séchoir (B), D = 0.09, p = 0.99

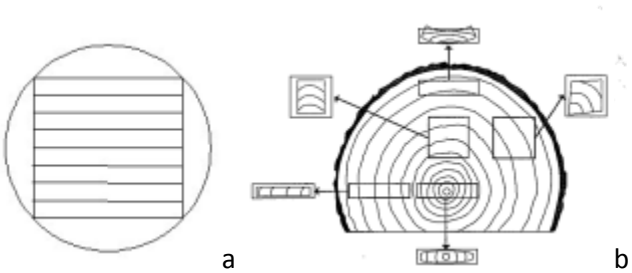
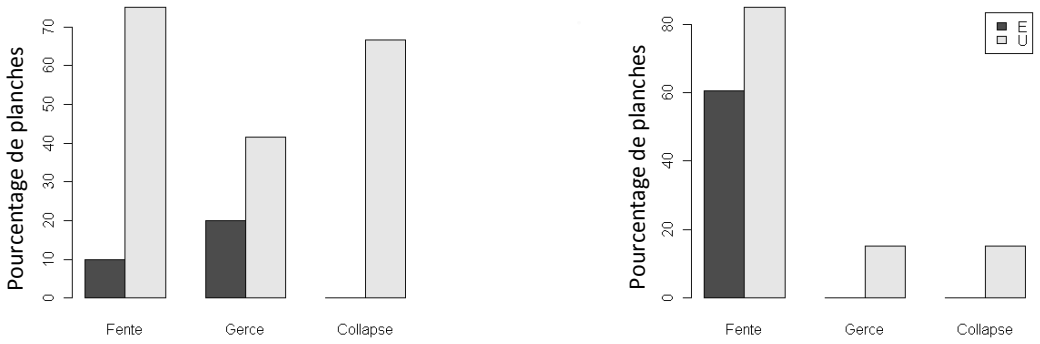



***Figure 11 : Mode de débit employé (a) et effet de l'anisotropie des retraits sur les déformations géométriques de séchage (b).***

L'hypothèse d'égalité des distributions est donc acceptable au risque de 5%. Les distributions du séchoir (B) sont plus semblables que celles du séchoir (A).




Séchoir (A) Séchoir (B)

***Figure 12 : Pourcentage de planches comportant des défauts (fente, gerce et collapse) selon l'essence et le séchoir.***

***Figure 13 : Collapse avec fentes internes dans le c. pubescent en sortie de séchoir (A).***

La répartition des proportions de planches comportant des défauts qualitatifs est montrée à la Figure 12. Utiliser les résultats d'un test de comparaison sur des lots aussi limités n'a pas beaucoup de validité (plus N est petit et plus l'erreur sur l'estimation de la proportion est grande ; ici N=11 et N=33). Autrement dit, pour qu'un écart de % soit significatif, il doit être énorme (Figure 12-A, les proportions sont statistiquement différentes pour la modalité 'Fente' mais identiques pour 'Gerce').

Les résultats observables sont la présence plus importante de défauts pour le c. pubescent que pour le c. pédonculé (en particulier de collapse dans le séchoir A, Figure 13). La présence de fentes concerne principalement les planches sur quartier (cœur non purgé). La présence de gerces et de collapse est également visible dans des planches de c. pubescent pour le séchoir (B) alors qu'aucune planche de c. pédonculé ne présente ces types de défaut.

Le Tableau 8 et la Figure 14 présentent la synthèse des résultats obtenus pour les défauts quantitatifs mesurés. La courbure est utilisée à la place du tuilage car les planches n'ont pas la même largeur. Cette grandeur est calculée avec la formule suivante : $c = a^2/(2xe)$ avec c : courbure, a : largeur de la planche et e : tuilage. Lorsque le tuilage est grand, la courbure est faible et inversement. Le test de comparaison des moyennes donne les résultats suivants, pour le séchoir (A) :

- Fente : W = 21, p = 0.005 : moyennes différentes.
- Gauchissement : W = 53, p = 0.64 : moyennes égales.
- Rive : W = 39, p = 0.14 : moyennes égales.
- Face : W = 59, p = 0.95 : moyennes égales.
- Rayon de courbure : W = 82, p = 0.061 : moyennes égales.

Pour le séchoir (B) :

- Fente : W = 327, p = 0.005 : moyennes différentes.
- Gauchissement : W = 590, p = 0.57 : moyennes égales.
- Rive : W = 443, p = 0.18 : moyennes égales.
- Face : W = 683, p = 0.074 : moyennes égales.
- Rayon de courbure : W = 619, p = 0.089 : moyennes égales.

La Figure 14 permet de préciser ces résultats. Concernant le séchoir (B), le profil des distributions est quasi-identique pour les déformations géométriques. Seule la longueur cumulée des fentes diffère (plus importante pour le c. pubescent). Concernant le séchoir (A), la même observation est valable pour la longueur des fentes. Des différences importantes sont cependant observables dans les profils des distributions : le c. pubescent comporte plus de planches avec un gauchissement, une flèche de rive et un tuilage important.


UR Production et valorisation des bois tropicaux
TA B-40/16 – 73 Rue Jean François Breton – 34398 Montpellier cedex 5
Tél : +33 (0)4 67 61 65 25 – Fax : +33 (0)4 67 61 65 60
SIRET 331 596 270 00040

Etablissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) - SIRET 331 596 270 00040 - SIREN 331596270 - RCS Paris B 331 596 270

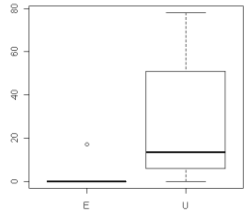
| Séchoir (A) | N | moyenne | Ecart type | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fente (cm)** | | | | | |
| **E** | 10 | 2 | 5 | 0 | 17 |
| **U** | 12 | 27 | 26 | 0 | 78 |
| **Gauch. (mm)** | | | | | |
| **E** | 10 | 7 | 4 | 2 | 14 |
| **U** | 12 | 9 | 8 | 0 | 24 |
| **Rive (mm)** | | | | | |
| **E** | 10 | 2 | 4 | 0 | 11 |
| **U** | 12 | 5 | 5 | 0 | 15 |
| **Face (mm)** | | | | | |
| **E** | 10 | 6 | 3 | 0 | 10 |
| **U** | 12 | 6 | 2 | 0 | 8 |
| **Courbure (m)** | | | | | |
| **E** | 10 | 10.8 | 4.4 | 6.4 | 18.0 |
| **U** | 11 | 7.4 | 2.1 | 3.8 | 11.4 |
| **Séchoir (B)** | | | | | |
| **Fente (cm)** | | | | | |
| **E** | 33 | 16 | 24 | 0 | 120 |
| **U** | 33 | 31 | 29 | 0 | 113 |
| **Gauch. (mm)** | | | | | |
| **E** | 33 | 5 | 5 | 0 | 19 |
| **U** | 33 | 4 | 4 | 0 | 17 |
| **Rive (mm)** | | | | | |
| **E** | 33 | 3 | 3 | 0 | 11 |
| **U** | 33 | 5 | 5 | 0 | 24 |
| **Face (mm)** | | | | | |
| **E** | 33 | 7 | 3 | 2 | 17 |
| **U** | 33 | 5 | 3 | 0 | 11 |
| **Courbure (m)** | | | | | |
| **E** | 30 | 7.8 | 2.6 | 4.0 | 13.5 |
| **U** | 33 | 6.6 | 1.9 | 3.0 | 11.0 |

***Tableau 8 : Statistiques descriptives des défauts quantitatifs de séchage selon l'essence et le séchoir.***

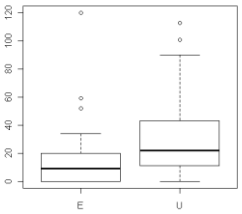

**UR Production et valorisation des bois tropicaux**
**TA B-40/16 – 73 Rue Jean François Breton – 34398 Montpellier cedex 5**
**Tél : +33 (0)4 67 61 65 25 – Fax : +33 (0)4 67 61 65 60**
**SIRET 331 596 270 00040**



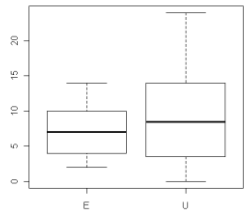
Etablissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) - SIRET 331 596 270 00040 - SIREN 331596270 - RCS Paris B 331 596 270



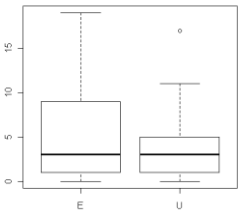

Fente (cm)



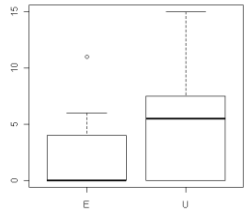

Fente (cm)



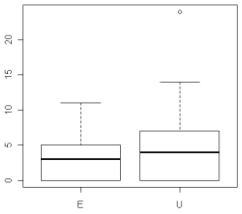

Gauchissement (mm)



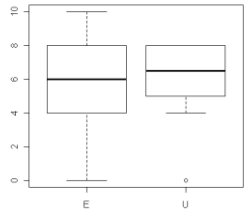

Gauchissement (mm)



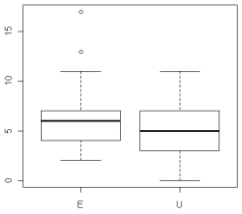

Rive (mm)



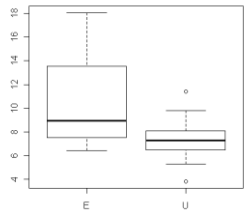

Rive (mm)




Face (mm)

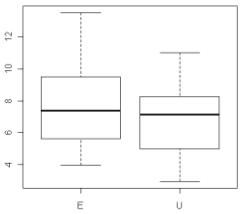



Face (mm)




Courbure (m)

**Séchoir (A)**




Courbure (m)

**Séchoir (B)**

***Figure 14 : Diagrammes de Tukey des défauts quantitatifs de séchage selon l'essence et le séchoir.***


**UR Production et valorisation des bois tropicaux**
**TA B-40/16 – 73 Rue Jean François Breton – 34398 Montpellier cedex 5**
**Tél : +33 (0)4 67 61 65 25 – Fax : +33 (0)4 67 61 65 60**

**SIRET 331 596 270 00040**



Etablissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) - SIRET 331 596 270 00040 - SIREN 331596270 - RCS Paris B 331 596 270

# Conclusions

Les retraits moyens sont plus élevés pour le c. pubescent que pour le c. pédonculé. L'anisotropie moyenne des retraits est cependant identique avec une dispersion plus forte pour le c. pubescent. Les déformations géométriques moyennes doivent donc être identiques avec un taux plus élevé de pièces comportant des déformations importantes pour le c. pubescent.

Deux tables de séchage ont été utilisées (séchoirs A et B). Un séchage fort au début puis très doux à la fin caractérisé par des vitesses de séchage de 4.5%/jour à 0.2%/jour (séchoir A, durée totale de 28 jours). Un séchage doux caractérisé par des vitesses de 2.5%/jour à 0.7%/jour (séchoir B, durée totale de 33 jours).

L'humidité initiale est voisine de 60% avec plus de planches de faible humidité pour le c. pubescent que pour le c. pédonculé. En fin de séchage, le c. pubescent ne satisfait pourtant pas aux tolérances d'écart d'humidité finale moyenne imposées par la normalisation (séchoirs A et B, avec une humidité finale voisine de 18% contre 15% pour l'humidité cible). Il existe un nombre important de planches au-dessus de la moyenne pour le c. pubescent avec un gradient interne d'humidité élevé pour (A).

L'observation visuelle des défauts montre la présence plus importante de défauts qualitatifs (fente, gerce et collapse) pour le c. pubescent que pour le c. pédonculé (séchoirs A et B). La présence de gerce et de collapse est notamment visible dans des planches de c. pubescent pour le séchoir (B) alors qu'aucune planche de c. pédonculé ne présente ces types de défaut.

Le c. pubescent comporte plus de planches avec des fentes, gauchissements, flèches de rive et tuilages importants pour le séchoir (A). Concernant le séchoir (B), les déformations géométriques sont similaires. Seule la longueur cumulée des fentes diffère (plus importante pour le c. pubescent).

La table de séchage (A) exacerbe la différence de comportement entre les 2 essences. Elle fait apparaître que le séchage du c. pubescent est plus difficile que pour le c. pédonculé. La table de séchage (B) est plus adaptée que la table de séchage (A) du fait de l'importance moindre des défauts relevés. Les principaux problèmes constatés pour le c. pubescent sont la plus longue durée de séchage, la présence de gerce, de collapse et de fissuration interne.

Le collapse est caractérisé par des effondrements cellulaires localisés. Il est dû à des pressions capillaires qui s'exercent sur les parois des cellules et se produit en début de séchage lorsque la température de l'air est trop élevée (avec possibilité de fissuration interne). L'utilisation d'une basse température en début de séchage (de l'ordre de 30°C lorsque l'humidité est supérieure à 30%) peut également limiter l'apparition de discolorations.


UR Production et valorisation des bois tropicaux
TA B-40/16 – 73 Rue Jean François Breton – 34398 Montpellier cedex 5
Tél : +33 (0)4 67 61 65 25 – Fax : +33 (0)4 67 61 65 60
SIRET 331 596 270 00040

Etablissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) - SIRET 331 596 270 00040 - SIREN 331596270 - RCS Paris B 331 596 270

Au cours du séchage, la zone externe passe en dessous du point de saturation des fibres et commence à se rétracter. Cette zone est alors en tension et la zone interne (au-dessus du point de saturation des fibres) en compression. Lorsque la zone interne commence à se rétracter, il y a une inversion progressive de l'état de contrainte et l'extérieur se trouve en compression alors que l'intérieur est en tension. Dans ce cas, des fentes internes peuvent apparaître (d'autant plus que le gradient interne d'humidité est important). Pour remédier à ce phénomène, il est nécessaire d'utiliser un air plus humide en début de séchage (au-dessus du point de saturation des fibres).

Une modification possible de la table de séchage (B) doit donc être faite pour une teneur en humidité supérieure à 30% avec une température de l'air plus faible et un air plus humide :

| H % | Ts°C | HR air % | H0 % | Gd |
|---|---|---|---|---|
| vert | 27 | 87 | 18.6 | |
| 35 | 30 | 82 | 16.3 | 2.1 |
| 30 | 40 | 80 | 15.0 | 2.0 |
| 28 | 45 | 77 | 13.7 | 2.0 |
| 25 | 50 | 70 | 11.6 | 2.2 |
| 22 | 55 | 67 | 10.7 | 2.1 |
| 20 | 60 | 57 | 8.7 | 2.3 |
| 18 | 60 | 50 | 7.7 | 2.3 |
| 15 | 65 | 42 | 6.4 | 2.3 |

Les modifications de la table (B) concernent la phase au cours de laquelle la vitesse de séchage est maximale. Ces modifications ont donc un effet limité sur la durée de séchage : 2 jours supplémentaires sur 12 jours initiaux pour passer de l'état vert (60%) à une humidité voisine de 30%.


UR Production et valorisation des bois tropicaux
TA B-40/16 – 73 Rue Jean François Breton – 34398 Montpellier cedex 5
Tél : +33 (0)4 67 61 65 25 – Fax : +33 (0)4 67 61 65 60
SIRET 331 596 270 00040



Etablissement public à caractère industriel et commercial (EPIC) - SIRET 331 596 270 00040 - SIREN 331596270 - RCS Paris B 331 596 270