

# Projet CONQueTh

## Capacité d'Occupation du Nord par les Quercus Thermophiles

### Rapport du volet 2 : Séchage du bois de chêne pubescent

Rédacteur : Loïc Brancheriau

Date : 30/10/2020

Personnes ayant participé à cette étude :

Daniel Guibal, Sylvain Lotte, Patrick Langbour, Philippe Gallet et Laurent Martin



## Sommaire

|  |    |
|--|----|
| Contexte et objectif .....                         | 3  |
| Sélection des arbres .....                         | 3  |
| Sciage.....  | 3  |
| Constitution des piles et conduite de séchage..... | 4  |
| Mesures réalisées.....                             | 6  |
| Spécifications de qualité de séchage.....          | 7  |
| Résultats .....                                    | 8  |
| Répartition des débits .....                       | 8  |
| Mesures de retraits .....                          | 8  |
| Humidité initiale et en fin de séchage.....        | 8  |
| Suivi du séchage .....                             | 9  |
| Répartition de l'humidité interne.....             | 10 |
| Déformations et présence de défauts.....           | 10 |
| Observations anatomiques .....                     | 12 |
| Conclusions.....                                   | 12 |
| Bibliographie.....                                 | 13 |

## Contexte et objectif

Une possible solution pour adapter les chênaies de la moitié nord du pays aux risques liés au changement climatique et ainsi assurer le maintien de l'approvisionnement de toute une filière serait de les diversifier progressivement par l'introduction d'espèces plus résistantes. Parmi les chênes thermophiles, le chêne pubescent, proche botaniquement du sessile et du pédonculé est un candidat sérieux. Dans le cadre du projet « Chênaies atlantiques » (2009-13), les caractéristiques anatomiques, technologiques et chimiques du bois de chêne pubescent ont été évaluées en comparaison avec celles de chênes pédonculés prélevés dans les mêmes parcelles. Les propriétés de dureté, de flexion et de compression du bois des deux espèces se sont révélées très proches et le contenu en tanins identique qualitativement et quantitativement. Ces premiers résultats montrent qu'en conditions de croissance favorables, le bois du chêne pubescent peut être valorisé en charpente, menuiserie voire en tonnellerie. Dans le même projet, l'étude du comportement au séchage des deux espèces a montré qu'il était nécessaire de définir une table de séchage spécifique pour le chêne pubescent, table qui a été établie<sup>1</sup> sans qu'il ait toutefois été possible de la tester. C'est ce que se propose de faire le présent projet (CONQUeTh, volet 2) afin de mettre à disposition des scieurs le procédé de séchage du bois de chêne pubescent, avancée technologique indispensable à la création d'une dynamique de gestion et d'utilisation de l'espèce par la filière.

## Sélection des arbres

Les chênes pubescents sont prélevés dans la forêt de Pacy (commune de Pacy sur Eure) en août 2018 (Figure 1). Les arbres sont choisis, pour autant que possible, bien conformés avec une absence de signe de dépérissement ou d'altération sur la bille de pied et la sur-bille. Le nombre d'arbre est de 21 avec une répartition de classes de diamètre (à 1,3 m) allant de 40 cm à 50 cm (voir Tableau). Cette répartition est quasi-égale en nombre selon la classe de diamètre. La classe de qualité C est majoritairement présente avec 67% du volume estimé (B à 13%, et D à 20%).



Figure 1 : Chêne pubescent sélectionné en forêt de Pacy.

| Diamètre (cm) | Nombre |
|---------------|--------|
| 40            | 8      |
| 45            | 7      |
| 50            | 6      |
| Total         | 21     |

Tableau 1 : Répartition du nombre des arbres en classes de diamètre.

## Sciage

L'exploitation est réalisée en janvier 2019, et le sciage en février 2019 à la scierie Bourdaud (commune de Nozay). Le sciage a lieu dans le courant de l'hiver pour minimiser le séchage naturel dû au stockage (et transport pour le lot séché au Cirad). L'épaisseur finale sciée est de 27 mm, en 2 m de longueur, avec un débit en plot (le choix du débit est fonction des contraintes logistiques). Deux lots sont constitués après sciage. Le 1<sup>er</sup> lot de 14 m<sup>3</sup> est séché dans un des séchoirs industriels de la scierie

<sup>1</sup> Projet réalisé en 2013, « Les conséquences du changement climatique sur les chênaies en Midi-Pyrénées ». Rapport d'étude Cirad : « Comparaison du comportement au séchage entre chêne pubescent et chêne pédonculé ».

Bourdaud. Le 2<sup>ème</sup> lot de 6 m<sup>3</sup> est envoyé à Montpellier pour être séché dans les locaux du Cirad (séchoir semi-industriel).



Figure 2 : Réception des grumes à la scierie.



Figure 3 : Tronçonnage.



Figure 4 : Sciage en plot.

## Constitution des piles et conduite de séchage

Le lot de 14 m<sup>3</sup> présent à la scierie Bourdaud est séché dans un des séchoirs Cathild de 30 m<sup>3</sup> (les piles constituées sont disposées avec d'autres piles, Figure 5). Les plots réceptionnés au Cirad sont répartis en 2 piles de séchage de 3 m<sup>3</sup> (selon la capacité du séchoir). L'épaisseur des baguettes utilisées est de 30 mm, avec un écartement entre baguettes de 50 cm (Figure 6).



Figure 5 : Piles dans le séchoir de la scierie Bourdaud.



Figure 6 : Pile dans le séchoir Cirad.

Le séchage est réalisé dans des séchoirs à air chaud climatisé. Le taux d'humidité cible est de 11 %. Au cours du processus, la température et l'humidité relative de l'air sont relevées. Le taux d'humidité du bois est contrôlé par des sondes résistives réparties dans les piles (6 sondes). La vitesse de l'air est constante à 2 m/s pour le séchoir du Cirad, et variable avec une valeur moyenne en phase de séchage de 2.3 m/s pour le séchoir de la scierie. La durée de préchauffage est de 12h pour le séchoir du Cirad, et de 8h pour le séchoir de la scierie. Deux tables de séchage sont utilisées : en scierie, la table Cathild préconisée pour le chêne européen (*Q pedunculata*, *Q robur*, et *Q sessifolia*) (Tableau 2) ; au Cirad, la table spécifique Cirad (Tableau 3, 2013) et la table Cathild.

- Scierie – Table Cathild
- Cirad – Table Cirad
- Cirad – Table Cathild

| <b>H Bois</b><br>% | <b>Ts</b><br>°C | <b>HR air</b><br>% | <b>H bois équilibre</b><br>% | <b>Gradient</b> |
|--------------------|-----------------|--------------------|------------------------------|-----------------|
| Préchauffage       | 28              | 84                 | 17.0                         |                 |
| > 50               | 28              | 83                 | 16.8                         |                 |
| 50                 | 28              | 80                 | 15.6                         |                 |
| 40                 | 28              | 77                 | 14.7                         |                 |
| 35                 | 28              | 75                 | 14.1                         |                 |
| 30                 | 27              | 68                 | 12.3                         | 2.4             |
| 27                 | 34              | 63                 | 11.0                         | 2.5             |
| 21                 | 40              | 57                 | 9.7                          | 2.2             |
| 21                 | 44              | 50                 | 8.4                          | 2.5             |
| 18                 | 48              | 42                 | 7.1                          | 2.5             |
| 15                 | 52              | 33                 | 5.8                          | 2.6             |
| 12                 | 55              | 25                 | 4.5                          | 2.7             |
| Equilibrage        | 47              | 66                 | 11.0                         |                 |

Tableau 2 : Scierie Bourdaud, table Cathild (chêne européen).

| <b>H bois</b><br>% | <b>Ts</b><br>°C | <b>HR air</b><br>% | <b>H bois équilibre</b><br>% | <b>Gradient</b> |
|--------------------|-----------------|--------------------|------------------------------|-----------------|
| Préchauffage       | 27              | 87                 |                              |                 |
| vert               | 27              | 87                 | 18.6                         |                 |
| 35                 | 30              | 82                 | 16.3                         |                 |
| 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             |
| 12                 | 65              | 33                 | 5.2                          | 2.3             |
| Equilibrage        | 40              | 65                 | 11.0                         |                 |

Tableau 3 : Cirad, table spécifique Cirad (2013).

## Mesures réalisées

Pour chaque plateau, les types de mesures suivantes sont réalisés :

- Humidité initiale et finale (humidimètre capacitif)
- Déformations : flèche du chant, flèche de face, tuilage, gauchissement
- Présence de fentes; de collapse
- Répartition de l'humidité interne sur quelques échantillons (humidimètre résistif)
- Mesures de retraits sur quelques échantillons
- Observations anatomiques pour les plateaux à fort collapse

Les retraits sont déterminés sur des échantillons de dimensions 20 x 20 x 10 mm découpés selon les directions R, T, L (Figure 7). Les retraits dans le sens radial et dans le sens tangentiel sont calculés en utilisant l'équation ci-dessous.

$$R = \frac{L_s - L_o}{L_s} \times 100$$

Avec R : retrait total en % ; L<sub>s</sub> : dimension à l'état saturé et L<sub>o</sub> : dimension à l'état anhydre.



Figure 7 : Prélèvement et façonnage des éprouvettes de retrait.

Des dispositifs spécifiques sont utilisés pour les mesures de déformation (flèche du chant, flèche de face, tuilage, et gauchissement) (Figure 8). Les déformations sont en effet bien définies pour les planches, mais nécessitent des méthodes adaptées pour pouvoir être estimées sur des plateaux. Les caractéristiques géométriques des dispositifs sont données ci-après (Figure 9).

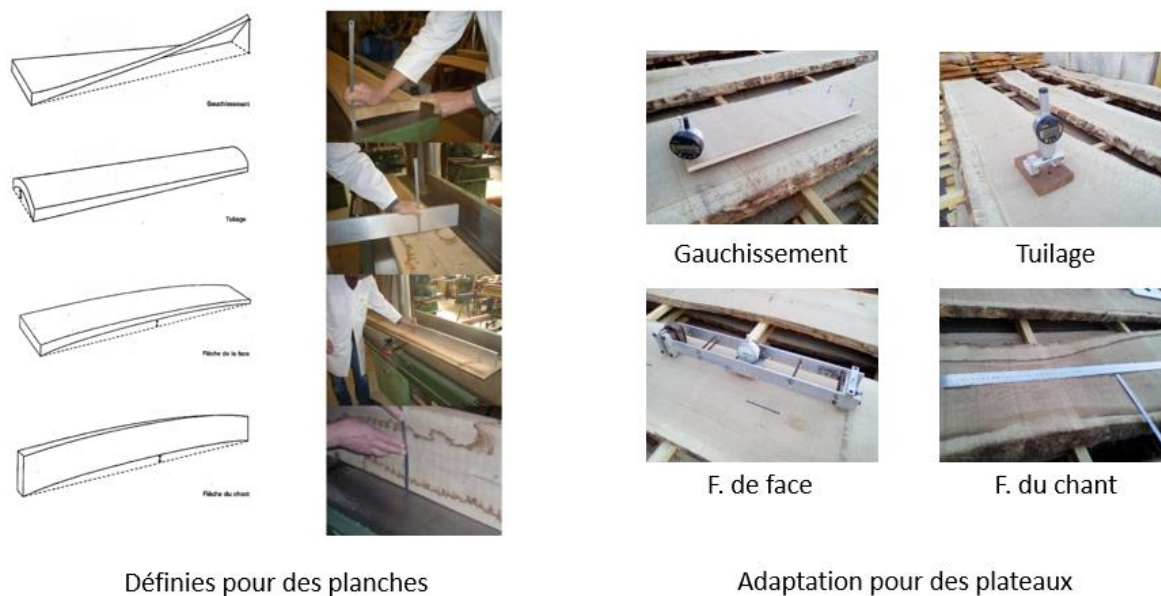


Figure 8 : Dispositifs spécifiques utilisés pour mesurer les déformations sur les plateaux.

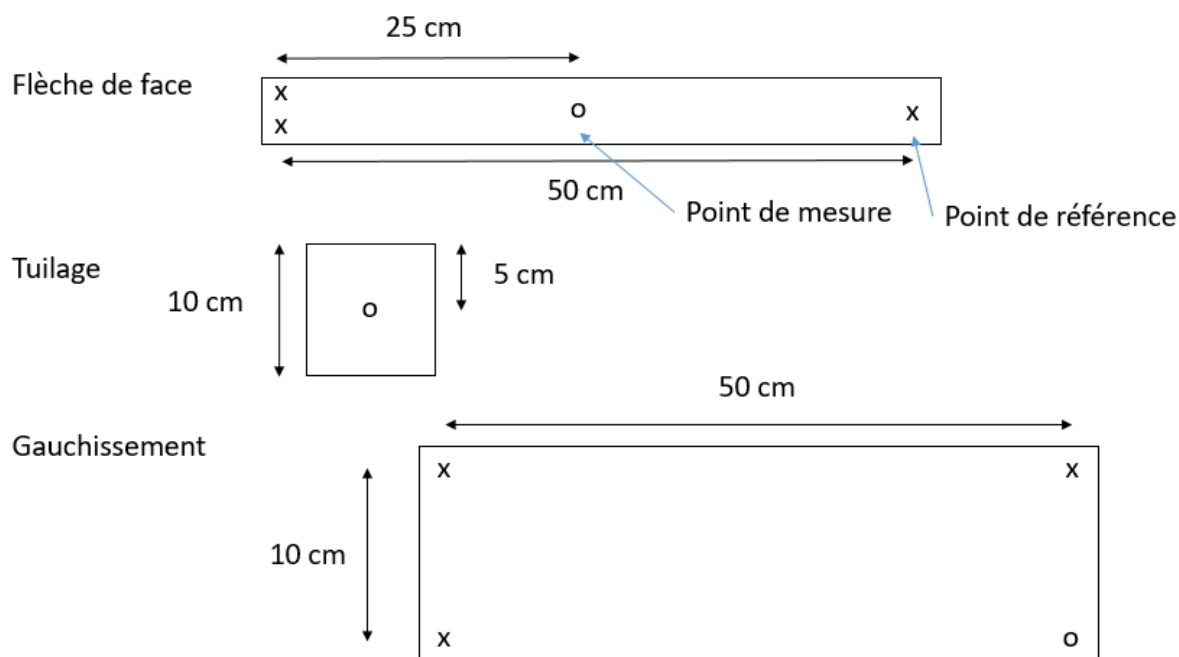


Figure 9 : Caractéristiques géométriques des dispositifs de mesure des déformations sur les plateaux.

Les plateaux sélectionnés pour l'étude ne possèdent pas de défauts naturels importants, et ont des déformations initiales quasi-négligeables. Ces déformations initiales ne sont pas considérées par la suite dans l'analyse des résultats. Les mesures de déformation estimées sur les plateaux sont corrigées pour être équivalentes à des mesures sur planches de dimension 100 mm en largeur et 2 m en longueur (pour la flèche de face, et le gauchissement). Pour tous les dispositifs utilisés sur les plateaux, trois mesures sont effectuées le long des 2 mètres, et la valeur maximale des trois mesures est retenue. Les valeurs de déformation sont donc maximisées.

## Spécifications de qualité de séchage

Les préconisations de la norme NF EN 14298 (2017) pour être conforme à une spécification de séchage standard sont :

- Critère 1 : la teneur en humidité de chaque pièce individuelle doit être comprise entre 7.7% et 14.3% pour une humidité cible de 11%. Le nombre de pièce devant satisfaire cette exigence doit être de 93.5% des pièces.
- Critère 2 : la teneur en humidité moyenne d'un lot doit être comprise entre 9.5% et 12.5% pour une humidité cible de 11%.

## Résultats

### Répartition des débits

En raison de l'anisotropie des retraits, les déformations géométriques après séchage sont fonction de la position du plateau dans la bille (quartier, faux-quartier, dosse ; Figure 10). Cette figure montre des proportions identiques pour les lots 1 et 2 du Cirad avec un nombre de dosses plus important. Le lot de la scierie possède un nombre de faux-quartiers et quartiers plus important. Les déformations de tuilage peuvent donc être plus importantes pour les lots 1 et 2 du Cirad. Environ 15% des plateaux sont des quartiers qui contiennent du cœur inclus favorisant l'apparition de déformations géométriques. Cette proportion de quartiers est quasi-égale selon le lot considéré du Cirad et de la scierie.

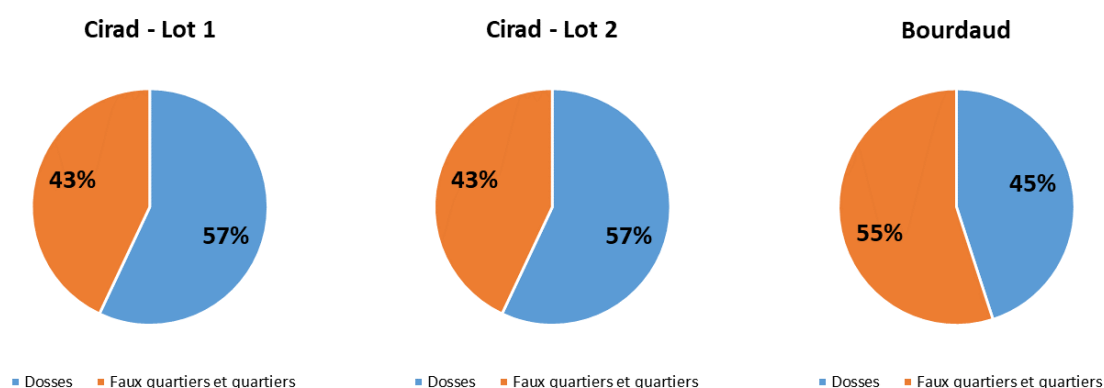


Figure 10 : Répartition des débits selon la position dans la bille (types de débit) en % du nombre de plateaux.

### Mesures de retraits

Les retraits totaux sont déterminés sur 10 échantillons prélevés dans le duramen. Le Tableau 4 présente la synthèse des valeurs obtenues. Les valeurs moyennes sont plus faibles que dans la précédente étude (2013) pour laquelle R%=6.1 ; T%=13.1 ; T/R=2.1. Ces valeurs sont en accord avec les données de la littérature (R%=4.5 ; T%=9.7 ; T/R=2.2, Tropix 7, Cirad, 2020 ; R%=6.0 ; T%=9.3 ; T/R=1.6, Le guide du bois et ses dérivés, Afnor, 2010).

| N=10              | R%   | T%   | Ratio T/R |
|-------------------|------|------|-----------|
| <b>Moyenne</b>    | 4.1  | 8.2  | 2.0       |
| <b>Ecart type</b> | 0.52 | 0.58 |           |
| <b>Minimum</b>    | 3.4  | 6.9  |           |
| <b>Maximum</b>    | 5.0  | 9.0  |           |

Tableau 4 : Statistiques descriptives des mesures de retraits.

### Humidité initiale et en fin de séchage

Les humidités initiales sont déterminées à partir de la moyenne des humidités relevées par les sondes de contrôle des séchoirs (moyenne de 6 sondes). Pour le lot 1 du Cirad, l'humidité initiale est d'environ 43%. Pour le lot 2, l'humidité initiale est de 36%. Pour la scierie, l'humidité initiale est de 60%. Les différences observées s'expliquent par l'effet du transport et du stockage avant séchage des différents lots.



Les humidités finales sont déterminées à partir de mesures capacitives sur chaque plateau de chaque lot. Le Tableau 5 et la Figure 11 présentent les résultats obtenus. Les plateaux sélectionnés pour l'étude satisfont aux exigences de la norme NF EN 14298 (2017) en terme de teneur en humidité moyenne entre [9.5% ; 12.5%] et d'homogénéité des lots avec un minimum de 93.5% des pièces d'humidité entre [7.7% ; 14.3%].

|                      | Cirad - Table Cirad | Cirad - Cathild | Bourdaud - Cathild |
|----------------------|---------------------|-----------------|--------------------|
| <b>N</b>             | 57                  | 64              | 91                 |
| <b>Moyenne</b>       | 10.8                | 10.7            | 10.6               |
| <b>Ecart type</b>    | 2.0                 | 2.1             | 1.9                |
| <b>Minimum</b>       | 5.9                 | 7.4             | 7.5                |
| <b>Maximum</b>       | 15.7                | 17.4            | 14.9               |
| <b>N hors limite</b> | 3                   | 3               | 6                  |
| <b>Ratio (%)</b>     | 94.7                | 95.3            | 93.4               |

Tableau 5 : Statistiques descriptives des mesures d'humidité finales selon les lots de séchage.

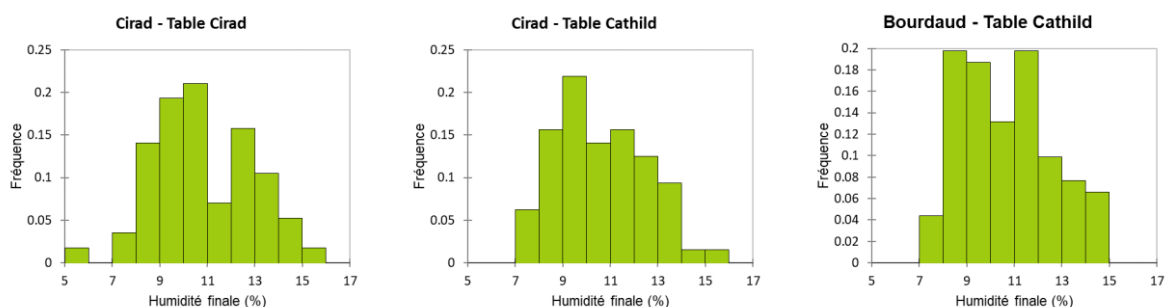


Figure 11 : Histogrammes des mesures d'humidité finales selon les lots de séchage.

## Suivi du séchage

Le séchage du lot 1 (table Cirad) a duré 47 jours au total (mise en séchoir le 13/03/2019). La durée de séchage du lot 2 (table Cathild, Cirad) est de 38 jours (à partir du 02/05/2019). La durée de séchage du lot en scierie (table Cathild) est de 46 jours (à partir du 19/03/2019). Les durées de séchage sont fonction de l'essence de bois, de l'épaisseur des sciages, de l'humidité initiale, et des conditions de séchage utilisées (séchoir et table de séchage).

La Figure 12 montre l'évolution de la teneur en humidité moyenne en fonction du nombre de jours de séchage selon les différents lots. Les évolutions sont similaires entre le séchoir Cirad et la scierie pour l'utilisation de la même table Cathild.

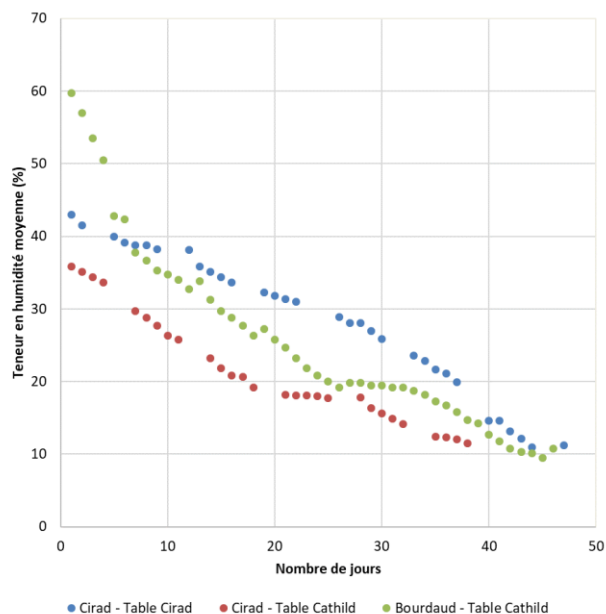


Figure 12 : Evolution de la teneur en humidité moyenne en fonction du nombre de jours de séchage.

Les vitesses de séchage sont plus importantes pour la table Cathild que pour la table Cirad en raison de gradients plus forts utilisés (Tableau 2 et Tableau 3). La différence entre les deux tables pour amener un lot de 43% (humidité initiale du lot 1) à 11% est de 5 jours. On peut estimer à 7 jours la différence entre les deux tables en partant d'une humidité initiale de 60%.

### Répartition de l'humidité interne

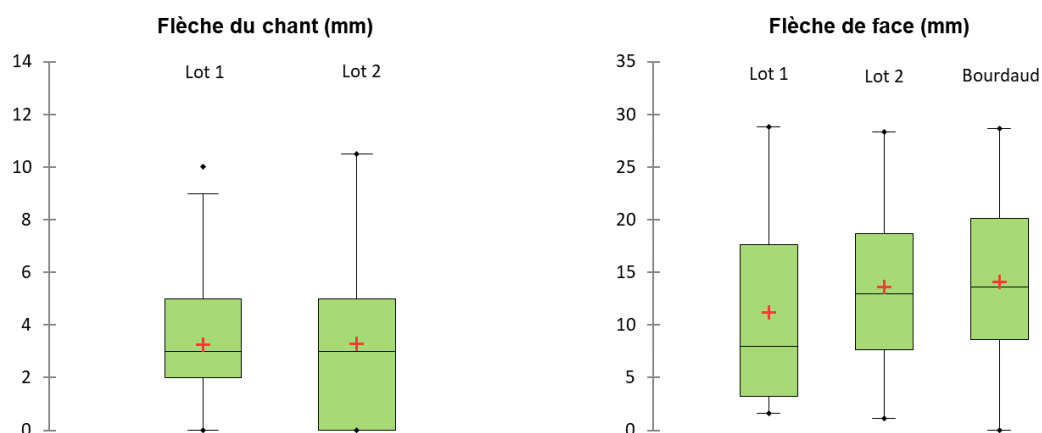
En fin de séchage, 10 échantillons sont prélevés dans chaque lot puis testés avec un humidimètre résistif (lots du Cirad) dans l'épaisseur pour déterminer le gradient d'humidité interne (après découpe : 2 mesures externes, 1 mesure interne). Les moyennes obtenues sont données au Tableau 6. Les gradients d'humidité interne sont faibles, de l'ordre de 1%. Ces valeurs sont inférieures à celles obtenues dans l'étude précédente (2013) avec un gradient de 5% en moyenne.

| Humidité moyenne              | Externe (%) | Interne (%) | Différence (%) |
|-------------------------------|-------------|-------------|----------------|
| <b>Cirad - Lot 1 (N = 10)</b> | 7.9         | 9.4         | 1.4            |
| <b>Cirad - Lot 2 (N = 10)</b> | 9.7         | 10.5        | 0.8            |

Tableau 6 : Répartition des humidités mesurées dans la section de plateaux selon les lots de séchage.

### Déformations et présence de défauts

Les statistiques descriptives des mesures de déformations sont résumées graphiquement par les box-plots de la Figure 13 selon les lots de séchage. La mesure de flèche du chant n'a pas pu être réalisée en scierie pour des raisons logistiques. Sur la figure, les moyennes sont matérialisées par des croix rouges. Les déformations obtenues sont équivalentes entre les lots pour la flèche du chant (moyennes de 3.2 mm pour le lot 1 – table Cirad ; de 3.3 mm pour le lot 2 – table Cathild) et le tuilage (1.3 mm en moyenne, lot 1 ; 1.5 mm, lot 2 ; 1.3 mm, scierie Bourdaud – table Cathild). D'une manière générale, les déformations observées entre le lot 2 et le lot de la scierie sont équivalentes. La même table Cathild est utilisée pour ces deux lots. Le lot 1 présente des déformations moyennes inférieures au lot 2 et au lot de la scierie pour la flèche de face (11.2 mm, lot 1 ; 13.6 mm, lot 2 ; 14.1 mm, scierie) et le gauchissement (3.9 mm, lot 1 ; 6.7 mm, lot 2 ; 6.3 mm, scierie).



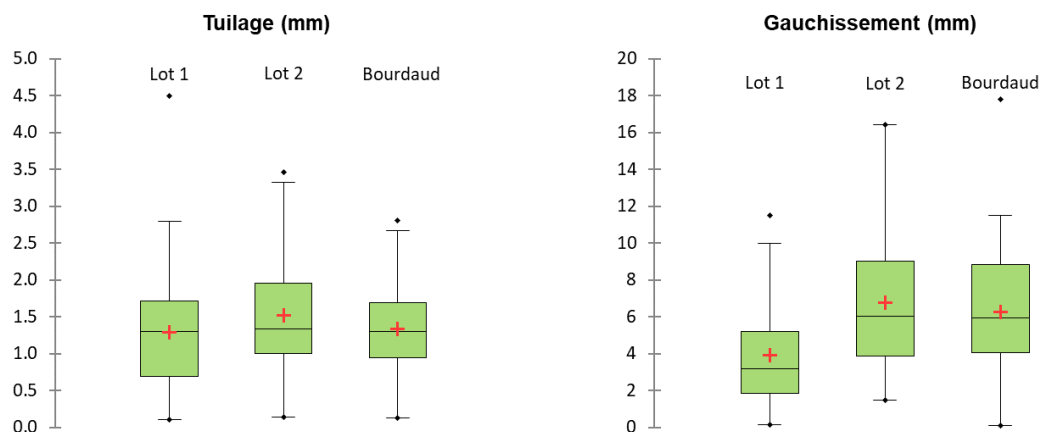


Figure 13 : Box-plots des mesures de déformations selon les lots de séchage.

Malgré une répartition des débits qui diffère (Figure 10), Les déformations de tuilage ne sont pas plus importantes pour les lots 1 et 2 par rapport à la scierie (nombre de dosses supérieur pour les lots 1 et 2). Ceci peut s'expliquer par des retraits plus prononcés dans le duramen que dans l'aubier pour le chêne pubescent. Les valeurs de déformations sont cohérentes avec celles obtenues dans la précédente étude (2013) et dans la bibliographie (CTBA, 1990), à l'exception de la flèche de face (fortes valeurs relevées). Ceci peut s'expliquer par le choix d'utiliser des valeurs maximisées, par la correction apportée (équivalence à une longueur de 2 m), et/ou par la présence du cœur inclus (favorise l'apparition de déformations géométriques, mesure parfois difficile à réaliser avec le dispositif de mesure).

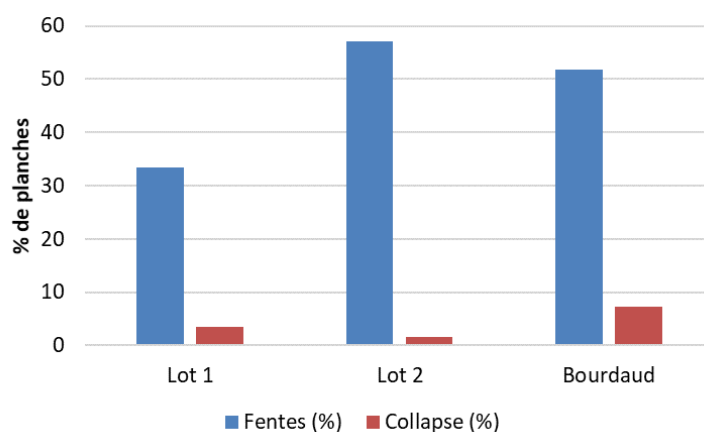


Figure 14 : Répartition des défauts de séchage (fentes et présence de collapse) selon les lots de séchage.

Les proportions de plateaux contenant des fentes et du collapse sont présentées à la Figure 14. Le lot 1 présente moins de fentes (33%) que le lot 2 (57%) et le lot de la scierie (52%). Les plateaux avec du collapse (ondulations caractéristiques des faces des échantillons) sont équivalents en proportion selon les lots (4%, lot 1 ; 2%, lot 2 ; 7%, scierie). Ces valeurs représentent en fait très peu de plateaux avec un nombre de 2 plateaux pour le lot 1, 1 plateau pour le lot 2, et 6 plateaux pour le lot de la scierie. Il n'y a pas de lien entre le numéro de l'arbre et la présence de collapse. Les nombres de plateaux avec défauts sont inférieurs à ceux obtenus dans l'étude précédente (2013) (85% de fentes ; 15% de collapse).

## Observations anatomiques

Pour les 3 plateaux concernés par du collapse dans les lots du Cirad, des coupes transversales ont été réalisées afin d'observer visuellement la présence de fissures internes. La Figure 15 et la Figure 16 montrent des illustrations des observations. On note la différence de retraits entre aubier et duramen à la Figure 15. La présence de fissures est mise en évidence à la Figure 16 sur cette même section. Les fissures sont cerclées de rouge, et un agrandissement au microscope est présenté. Ces fissures sont difficilement visibles, et leur taille ne dépasse pas quelques millimètres.



Figure 15 : Photo d'une section de plateau contenant du collapse.

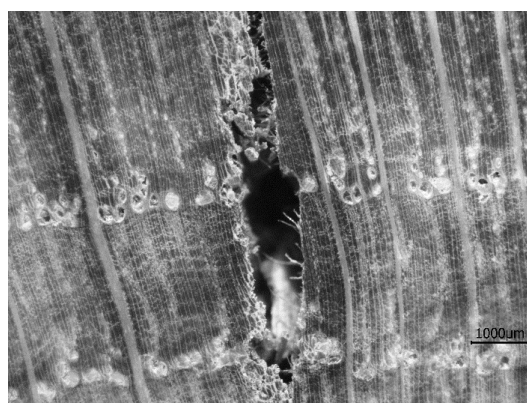
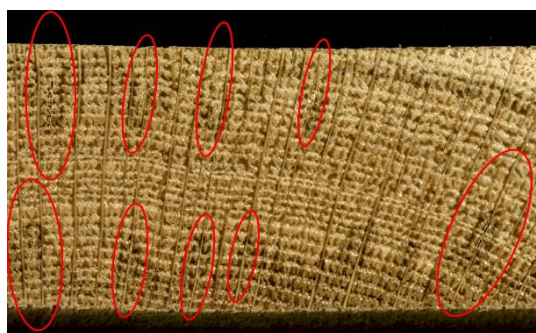


Figure 16 : Photo macroscopique et microscopique à l'endroit de fissures internes.

## Conclusions

Les valeurs de retraits obtenues sont en accord avec les résultats de la précédente étude. Le chêne pubescent possède un fort retrait volumique (voisin de 15%), c'est un bois nerveux avec un ratio d'anisotropie T/R voisin de 2 (anisotropie équivalente à d'autres chênes européens).

Le séchage a été réalisé dans des séchoirs à air chaud climatisé (séchoir industriel en scierie et séchoir semi-industriel au Cirad). Deux tables de séchage ont été utilisées, la table Cathild pour les chênes européens et la table 'Cirad' préconisée dans la précédente étude. Cette table est une modification de celle préconisée pour le chêne (Séchage du bois – Guide pratique, CTBA, 1990). Les paramètres de début de séchage sont modifiés pour limiter l'apparition de collapse et de fentes internes (défauts relevés dans la précédente étude).

L'humidité cible était de 11% pour des sciages en 27 mm. Les valeurs d'humidité finale relevées respectaient les exigences normatives sur la qualité du séchage (humidité cible atteinte et séchage

homogène dans les piles). Les gradients moyens d'humidité internes étaient faibles (différence de 1% environ), l'humidité était donc homogène dans l'épaisseur du bois en fin de séchage. Les vitesses de séchage étaient plus fortes pour la table Cathild que pour la table Cirad en raison de gradients de séchage plus forts pour Cathild. La différence pour passer de 43% à 11% est de 5 jours entre les deux tables. Cette différence est estimée à 7 jours pour une humidité initiale de 60% (durée de séchage Cathild de 46 jours).

Les déformations mesurées étaient équivalentes entre les deux tables pour la flèche du chant (environ 3.2 mm) et le tuilage (1.3 mm). Les déformations étaient inférieures pour la table Cirad concernant la flèche de face (11.2 mm) et le gauchissement (3.9 mm). Ces valeurs de déformations sont cohérentes avec la bibliographie.

La proportion de plateaux contenant des fentes était plus faible pour la table Cirad. Les plateaux avec du collapse étaient équivalents en proportion. Le nombre de plateaux collapsés était néanmoins très faible (2 plateaux, table Cirad ; 1 à 6 plateaux pour la table Cathild). Les plateaux collapsés comportaient des fentes internes difficilement visibles et ne dépassant pas quelques millimètres. Le bois est donc utilisable. Les proportions de plateaux avec défauts étaient inférieures à celles obtenues dans l'étude précédente. La table Cirad apparaît comme mieux adaptée au séchage du chêne pubescent avec des déformations et défauts moins importants, mais une durée de séchage augmentée en contrepartie.

## Bibliographie

Ouvrages cités ou de référence pour la rédaction du rapport d'étude.

- Aléon D., Chanrion P., Négrié G., Perez J., Snieg O. (1990) Séchage du bois – Guide pratique. CTBA.
- Bolmont D., Fouchard M. (2010) Le guide du bois et ses dérivés. Afnor.
- Brancheriau L., Daigremont C., Lotte S., Gallet P., Guibal D., Paradis S. (2013) Comparaison du comportement au séchage entre chêne pubescent et chêne pédonculé. Projet « Chênaies atlantiques » (2009-13).
- Denig J., Wengert E.M., Simpson W.T. (2000) Drying hardwood lumber. Forest Products Laboratory (USDA).
- Gérard J., Guibal D., Paradis S., Cerre J.C. (2016) Atlas des bois tropicaux. Quae.
- Norme NF EN 14298 (2017) Bois scié - Estimation de la qualité du séchage. Afnor.
- Tropix 7 (2015). Cirad. <https://doi.org/10.18167/74726F706978>