

LIGNUM.  
MARIAUD CONSULTING

# COMPRENDRE LE BOIS

## LE SÉCHAGE



# Notre PROGRAMME

01

**Empilage du bois**

02

**Les différentes méthodes de séchage**

03

**Mécanismes du séchage**

04

**Transformations internes du bois pendant le séchage**



Le séchage du bois est **une étape fondamentale** en tonnellerie. Il permet de réduire le taux d'humidité du bois jusqu'à atteindre un équilibre avec l'environnement. **Un bois mal séché travaille, se déforme.** Mais au-delà de la simple déshydratation, le séchage est un véritable processus de maturation et de transformation qui impacte directement la qualité organoleptique des fûts.

### ◆ 1. L'empilage en pile morte

- Utilisé principalement **pour le transport** ou le **stockage court terme**.
- Les pièces sont empilées sans liteaux, directement les unes sur les autres.
- **Ne permet aucune circulation d'air** → non adapté au séchage.
- **Risque de moisissure** ou **de tuilage** en cas de stockage prolongé.



### ◆ 2. L'empilage sur liteaux

- Méthode standard pour le séchage naturel.
- Des **liteaux sont intercalés** entre chaque couche de merrains.
- **Les liteaux sont en bois blanc** (peuplier, sapin) pour éviter les traces colorées sur le bois (tanins, essences marquantes).
- **Favorise l'arrosage naturel par la pluie** et **surtout l'aération homogène**.



### ◆ 3. Les piles en claire-voie

- **Variante améliorée** de l'empilage sur liteaux.
- Les merrains sont espacés volontairement entre eux dans chaque couche, ce qui **maximise l'aération latérale**.
- S'utilise pour **des bois qui doivent sécher plus vite** ou dans des zones humides.

### ◆ 4. L'empilage en tour

- Méthode artisanale consistant à disposer les merrains en cercles, formant une **tour à section circulaire**.
- Le centre est laissé vide pour assurer **une circulation d'air verticale**.
- Cette méthode offre une excellente ventilation naturelle et une **exposition homogène à l'air**.
- Plus difficile à stabiliser, elle demande rigueur et savoir-faire.
- Encore utilisée par certaines tonnellerie traditionnelles pour des bois d'exception.



### ◆ 5. L'empilage en quinconce (pour les pièces de fond)

- Les pièces courtes sont décalées une sur deux à chaque couche.
- Permet une meilleure stabilité de la pile.
- Répartition plus homogène du poids.

### Séchage naturel



Le séchage naturel est la méthode historique et encore aujourd'hui majoritairement utilisée en tonnellerie haut de gamme.

#### **Durée :**

- Entre 18 et 36 mois, voire jusqu'à 48 mois pour certains lots destinés aux grands vins ou aux spiritueux fins.

#### **Méthode :**

- Les merrains sont empilés à l'air libre, sur liteaux, en piles bien aérées, orientées face aux vents dominants.
- L'espacement entre les liteaux permet une bonne circulation de l'air entre les planches.

#### **Particularités :**

- Exposition aux cycles naturels (pluie, vent, gel, soleil), ce qui favorise le lessivage des tanins solubles et la transformation lente de la matière.
- Le bois perd son humidité progressivement, sans stress interne.

#### **Processus biologique :**

- Joseph & Marche (1972) ont observé une flore microbienne dans les couches profondes du chêne durant le séchage : champignons lignivores et bactéries spécifiques.
- Ces micro-organismes participent à la dégradation partielle de certains tanins et à la formation de composés aromatiques.

#### **Effets œnologiques :**

- Rondeur, finesse des arômes, moins d'amertume.
- Présence de lactones (notes boisées), de furfural (notes grillées), de vanilline.

# Séchage naturel

## 1. Conditions climatiques idéales

Le séchage naturel dépend fortement du climat local. Deux phases doivent être équilibrées :

- Une phase **humide initiale** :
  - Permet **le lessivage des tanins solubles**.
  - Favorise l'implantation d'une **flore fongique spécifique**, utile à la maturation.
- Une **phase sèche progressive** :
  - Assure une **déshydratation lente et homogène**.
  - Réduit le risque de retrait brutal et de fissures.

Des régions trop sèches ou trop chaudes sont défavorables, car le bois s'y déshydrate trop vite, avec une perte de qualité notable.

## 2. Phases du séchage naturel

- **Phase 1** (0 à 6 mois) : bois vert → forte teneur en eau.
- **Phase 2** (6 à 12 mois) : séchage actif, apparition de microfissures.
- **Phase 3** (> 12 mois) : stabilisation progressive, resserrement des fibres.

Le séchage dure généralement 12 à 36 mois, parfois plus pour les bois destinés aux spiritueux.

## 3. Le lessivage du bois

Pendant les pluies, l'eau ruisselle sur les piles de bois. Ce phénomène entraîne **l'extraction de composés hydrosolubles** tels que :

- **Ellagitannins**, responsables d'une partie de l'astringence.
- Acides phénoliques.

Le lessivage est le plus efficace dans **les 6 premiers mois**, lorsque le bois est encore riche en eau. **Au-delà de 10 mois**, les tanins restants sont davantage emprisonnés dans la structure du bois.

💡 Les tanins éliminés sont plus amers que ceux qui restent dans la masse. Cette extraction sélective participe donc à l'équilibre aromatique du bois.

### Séchage naturel

#### 4. L'aspersion des piles

Pour compenser un climat trop sec, certaines tonnellerie pratiquent l'**aspersion contrôlée** :

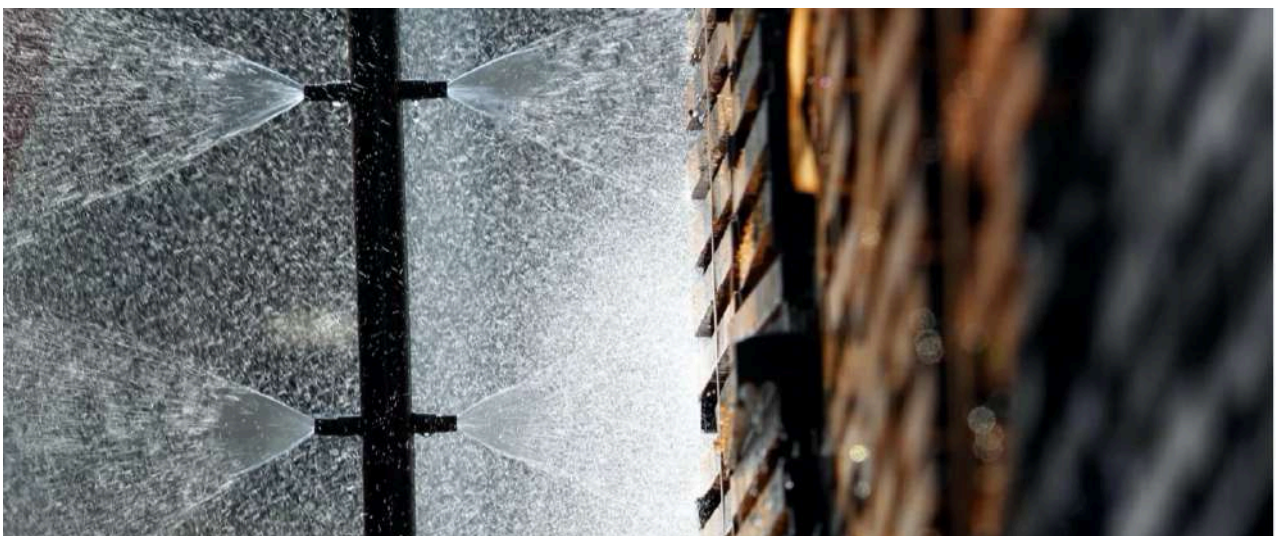
- Elle simule des pluies régulières, favorise le lessivage.
- Elle homogénéise le développement fongique utile.
- Elle régule la température du bois.

⚠ Un excès d'arrosage est néfaste : il peut éliminer des composés intéressants (polysaccharides, lignines extractibles, certains ellagitanins aromatiques).

L'aspersion doit donc être adaptée en fonction :

- Du **climat local** (fréquence, intensité).
- Du **résultat souhaité** (plus ou moins de structure, d'arômes boisés...).

La maturation est le fruit d'un **équilibre subtil** entre l'eau, le soleil, le vent et l'activité biologique du bois.



### Séchage naturel

#### Stockage à l'air libre :

- Les bois sont **orientés par rapport aux vents dominants** pour **limiter les risques de gerces** (fissures de surface dues au séchage trop rapide).
- Le dessus des piles est protégé par des tôles ou plaques inclinées, afin **d'éviter la pénétration de l'eau de pluie et l'exposition directe au soleil**.
- L'aire de stockage doit être saine, propre, sans végétation, pour **éviter l'humidité stagnante et les risques fongiques**.

#### Stockage sous abri :

- Ce stockage s'effectue sous un hangar à bois, **structure couverte mais ventilée**.
- L'ouverture du bâtiment est idéalement **orientée à l'est** pour protéger les bois de la pluie dominante et du rayonnement solaire direct en fin de journée.
- **Les côtés en persiennes** (lames inclinées ouvertes) favorisent la circulation transversale de l'air.
- Un couloir de passage est laissé entre les empilages pour créer un **effet cheminée**, améliorant la ventilation naturelle verticale.

### Séchage artificiel (ou mécanique)



Le séchage artificiel est utilisé comme complément, pour stabiliser les bois en fin de séchage naturel, ou pour répondre à des besoins de production plus rapides.

#### Durée :

- De quelques jours à 2 semaines selon la technologie utilisée et le taux d'humidité souhaité.

#### Avantages :

- **Gain de temps** important.
- **Réduction de l'espace** de stockage.
- Possibilité de programmer des cycles adaptés à chaque essence.

#### Inconvénients :

- **Ne permet pas l'évolution aromatique** obtenue par le séchage naturel.
- **Nécessite un suivi rigoureux** des paramètres (température, hygrométrie, vitesse d'air).
- **Peut provoquer des tensions internes** si le bois est encore trop "vert".

#### Utilisation raisonnée :

- Beaucoup de tonnellerie utilisent le séchoir **uniquement pour finaliser le taux d'humidité après un séchage naturel.**
- Par exemple, passer de 20 % à 14 % juste avant mise en production, pour garantir **la stabilité dimensionnelle** au corroyage.

### Séchage artificiel (ou mécanique)

#### 1. Rôle et limites

Le séchage artificiel répond principalement à un seul objectif : **la perte d'eau** pour atteindre une hygrométrie compatible avec la fabrication. Cette méthode permet de ramener rapidement le taux d'humidité du bois à un niveau stable.

Cependant, contrairement au séchage naturel, le séchage artificiel ne provoque pas de maturation biologique ou chimique comparable. **Il n'élimine pas les tanins grossiers** par lessivage, **ne favorise pas** la flore fongique bénéfique, et **n'induit pas** l'évolution lente des composés volatils responsables de la qualité œnologique du bois.

Il ne permet donc pas, à lui seul, d'obtenir des bois pleinement mûrs et affinés, aptes à l'élevage des vins fins. Son usage reste néanmoins fréquent pour des raisons économiques et techniques.

### Séchage artificiel (ou mécanique)

#### 2 Raisons d'utilisation

##### Spiritueux (bourbon, whisky)

- Principalement fabriqués à partir de **chêne américain**, dont les qualités aromatiques (vanille, lactones) sont recherchées.
- *Le **chêne américain** (*Quercus alba*) est privilégié pour sa haute teneur en vanilline et lactones, qui procurent des arômes vanillés et fruités (pêche, coco) très recherchés dans le bourbon et le whisky.*
- *Les concitoyens américains utilisent des fûts neufs « charred oak barrels » : le **toastage/carbonisation** permet **une caramélisation des bois**, favorisant encore plus les notes vanillées et sucrées.*
- Le **bois artificiellement séché** convient parfaitement à ces arômes et tolère bien l'arrêt d'évolution aromatique, surtout à haut degré d'alcool.
- Le marché des fûts pour spiritueux est environ **5× plus important** que celui pour le vin, ce qui justifie économiquement le recours à ce type de séchage.

*Le marché des fûts pour whisky et spiritueux (scotch + whisky + vins) est estimé à environ 2,1 milliards \$ en 2024, avec les fûts américains représentant la majeure partie (1,49 Md\$)*

##### Production continue en tonnellerie

- À chaque période humide, l'humidité ambiante peut remonter de **5 à 10%**, rendant inexploitable les douelles.
- Les séchoirs permettent **une mise en fabrication immédiate**, sans devoir stocker de grands volumes sous hangar.
- Ils sont donc essentiels dans les climats humides ou durant l'hiver, pour maintenir le rythme de production.

### Séchoir à convection forcée

Le séchage par convection forcée est le plus utilisé en tonnellerie: un circuit d'air chaud et humide est propulsé dans une chambre pour un séchage contrôlé.

#### 🎯 Composition du système

- Ventilateur : assure **une circulation homogène de l'air**.
- Échangeurs chauffants : vapeur ou eau chaude pour chauffer l'air.
- Humidificateur : injection de vapeur ou pulvérisation d'eau pour maintenir l'humidité adaptée.

#### 🔄 Phases du séchage (conformes aux standards de la littérature)

##### Phase de réchauffe

- Température élevée, atmosphère saturée en humidité.
- Objectif : homogénéiser le bois et éviter gerces ou fentes de surface.

##### Phase de migration capillaire

- Le bois, encore au-dessus du point de saturation, voit **l'eau libre migrer vers la surface sous l'effet de la capillarité**.
- Ce transfert est décrit par des modèles (lois de Fick et Fourier) dans les recherches numériques sur le séchage .

##### Phase critique

- Lorsque le bois atteint le point de saturation des fibres ( $\approx 25-30\%$  humidité) , la ventilation et température sont diminuées.
- Utile pour **éviter tensions internes** : la littérature évoque les risques de déformation, collapse ou fentes.

##### Phase de finition

- Ventilation ralentie ou arrêtée.
- Le bois entre en zone hygroscopique et l'humidité résiduelle est contrôlée à l'aide **d'abaques de sorption** .

### Séchoir à air chaud et humide

- L'air est soufflé par des ventilateurs puis **chauffé par des radiateurs**.
- Il passe ensuite sur des **rampes d'humidification** (pulvérisation d'eau ou injection de vapeur).
- **L'air chaud et humide** traverse les piles de bois, **provoquant l'évaporation de l'eau contenue dans le bois**.
- En se chargeant d'humidité, l'air se refroidit.
- Une partie de l'air est ensuite évacuée à l'extérieur via des cheminées réglables pour extraire l'eau dégagée.
- **Un apport d'air extérieur renouvelle le volume évacué** et le cycle recommence.

### Séchoirs à condensation

- Fonctionnent **en circuit fermé**.
- L'air chargé d'humidité est dirigé vers un condenseur (surface froide), où la vapeur d'eau se condense.
- L'air est ensuite réchauffé et réinjecté dans la chambre.
- **Avantages** : très faible consommation d'énergie, pas de rejet d'air extérieur.
- **Inconvénients** : séchage plus lent, puissance limitée sur gros volumes.
- Adapté pour les ateliers disposant de peu de surface ou recherchant un séchage progressif et constant.

### Séchoirs à vide

- Lors du séchage du bois, **la circulation interne de l'eau** est le facteur limitant, bien plus lent que l'évaporation : de **100 à 1000 fois plus lent selon les essences**.
- En créant une **dépression** (vide d'air), on accélère cette circulation de **5 à 6** fois, ce qui permet un séchage beaucoup plus rapide et homogène.
- Le fonctionnement repose sur l'alternance de **phases de vide et de ventilation** :
  - Phase 1 : mise sous vide → abaisse la pression → l'eau migre plus rapidement vers la surface.
  - Phase 2 : ventilation douce avec air tiède pour extraire l'humidité.
  - Le cycle est répété plusieurs fois par jour.
- Ce système permet également de faire **évaporer l'eau à des températures très basses (30 à 50°C)**, ce qui limite les risques de fissures, d'échauffement ou de tension interne.
- Très adapté aux bois fragiles ou de grande valeur.

### Pourquoi c'est important ?

La méthode de séchage du bois (au grand air ou en four) influence la composition chimique du bois de chêne. Cela modifie son impact sur le vin ou le spiritueux : certains produits chimiques donnent l'amertume, d'autres apportent des arômes séduisants (vanille, coco...).

### Études scientifiques

Une recherche publiée en 2008 par Martínez et al. (J. Agric. Food Chem., 56(9):3089–96) a comparé plusieurs méthodes de séchage (naturel, artificiel, mixte) sur du chêne américain et européen .

Elle conclut que le séchage naturel permet :

- **Une plus grande réduction des ellagitannins** (tanins agressifs),
- **Un meilleur développement des composés volatils aromatiques** (phénols, lactones, furanes, etc.), par rapport au séchage artificiel seul.

Une synthèse récente (Bo Zhang et al., Int. J. Mol. Sci., 2015) confirme que le lessivage naturel, l'oxydation lente, et l'activité enzymatique durant un séchage lent **augmentent la richesse aromatique du bois** .

### Faits marquants

**Ellagitannins plus réduits** dans le bois naturel :

Le lessivage par la pluie, l'oxydation progressive et la flore microbienne abîment ces tanins agressifs.

**Plus d'arômes agréables** : vanilline, eugénol, lactones (saveur coco) augmentent sensiblement en séchage naturel.

**Profil aromatique plus équilibré** et meilleur pour le vin ; le bois artificiel reste plus brut et amer .

### Le séchage artificiel comme complément du séchage naturel

En tonnellerie, **le séchage artificiel est souvent utilisé après un séchage naturel long**, dans le but de stabiliser le bois juste avant son entrée en fabrication. Cette pratique permet d'éviter que les merrains déjà affinés ne se réhumidifient à cause de l'humidité ambiante.

#### Pourquoi le faire ?

- Même après 24 à 36 mois de séchage naturel, le bois reste **hygroscopique**, c'est-à-dire qu'il absorbe ou libère de l'eau en fonction de l'air ambiant.
- En période humide (automne/hiver) ou dans les climats maritimes, le taux d'humidité du bois peut **remonter de 5 à 10 %**.

#### Que permet le séchage artificiel dans ce cas ?

- Ramener le bois à une humidité cible (12-16 %).
- **Uniformiser le taux d'humidité** au cœur des merrains.
- Accélérer la mise en production, **sans devoir stocker des volumes énormes à l'abri**.

### Qu'est-ce qu'on trouve comme eau dans le bois ?

Le bois contient deux types d'eau :

- **L'eau libre** : comme dans une éponge, elle remplit les petits tuyaux du bois.
- **L'eau liée** : collée aux parois des cellules du bois, plus difficile à retirer.

On commence par enlever l'eau libre, puis l'eau liée. C'est plus lent et plus délicat.

### Les grandes étapes du séchage

#### L'évaporation de l'eau libre

- L'air chaud et sec fait partir l'eau vers l'extérieur.
- Le bois reste stable (pas de déformation).

#### Le point de saturation

- Le bois n'a plus d'eau libre.
- Il commence à se contracter : c'est là que les fissures peuvent apparaître.

#### La stabilisation

- On continue à faire partir l'eau liée.
- Le bois atteint son "équilibre hygroscopique" : il est stable et prêt à être utilisé.

### Ce qui se passe à l'intérieur du bois

#### Comment l'eau sort ?

- Par capillarité : l'eau monte comme dans une paille vers la surface.
- Par diffusion : elle traverse lentement les parois du bois.

#### Le retrait (le bois se resserre)

- Le bois rétrécit un peu quand il perd de l'eau.
- Si ça va trop vite, il peut se fendre.

#### Les tensions internes

- Le centre du bois reste humide alors que l'extérieur sèche : cela crée des tensions.
- Ça peut provoquer des déformations ou des cassures.

### Ce qui change dans le bois (chimie et microbes)

#### L'oxydation

- L'air fait réagir certains composés (comme les tanins).
- Cela change la couleur et les futurs arômes de la barrique.

#### Le lessivage

- Quand il pleut sur les bois, certains composants (tanins amers) sont emportés.
- C'est bénéfique pour le goût final.

#### Les champignons utiles

- Certains champignons microscopiques poussent sur le bois pendant le séchage naturel.
- Ils dégradent doucement la paroi du bois et libèrent des précurseurs d'arômes.
- Exemple : *Aureobasidium pullulans*, *Trichoderma*.

### Influence de la flore fongique sur la composition chimique

#### Développement fongique

- Une très grande diversité de spores fongiques se dépose rapidement à la surface des merrains. Cependant, seuls **3 à 6%** de ces spores germent et forment un **mycélium actif**, capable de coloniser le bois .
- Seuls trois champignons sont véritablement capables de s'implanter et se développer durablement :
  - Aureobasidium pullulans
  - Trichoderma harzianum
  - Trichoderma koningii .

#### Mécanisme d'action

- Les champignons pénètrent via des microfissures présentes sur la surface des merrains.
- Après **un mois**, un mycélium visible en culture se forme; après **12 mois** de séchage, ce mycélium peut s'étendre jusqu'à **10 mm de profondeur** dans le bois.
- Ce mycélium produit des **enzymes exo-cellulaires** (telles que  $\beta$ -glucosidases) qui digèrent partiellement les parois cellulaires du bois

#### Effets chimiques et organoleptiques

- L'activité enzymatique libère **des précurseurs aromatiques** : lactones, furfural, vanilline...
- Le bois gagne en rond, finesse et perd en astringence .
- Bien que la **biomasse mycélienne reste faible** (non visible), son effet chimique sur les extraits du bois est significatif

### Importance en tonnellerie

- La présence de cette **microflore spécialisée** (plutôt que d'une colonisation fongique aléatoire) est non seulement **normale**, mais **souhaitable** pour la maturation du bois.
- **Une flore trop diversifiée** ou envahissante peut conduire à la production de **cellulases agressives** (Trichoderma, Penicillium...), qui **consomment la lignine ou les tanins**, altérant la structure du bois et réduisant les qualités organoleptiques .

### En résumé technique

- **3-6% de spores germées** → 10 mm de mycélium
- Principaux agents : A. pullulans, T. harzianum, T. koningii
- Effets : digestion enzymatique douce → **amélioration des arômes**
- Contrôle souhaitable : un séchage naturel maîtrisé favorise ces champignons, **sans développement excessif**.
-



*Le bois est une matière  
noble, parce qu'il vient  
d'un cycle long.  
À nous de le respecter.*