

1. MATERIAUX BOIS

1.1 - PRODUCTION

1.1.1- La forêt

Richesse écologique très diversifiée, espace d'accueil et de loisirs, figure 1 la forêt peut jouer un rôle économique important dans notre pays.

La production biologique annuelle de bois en forêt correspond à l'accroissement de matière bois produit par la croissance des arbres pendant une période donnée.

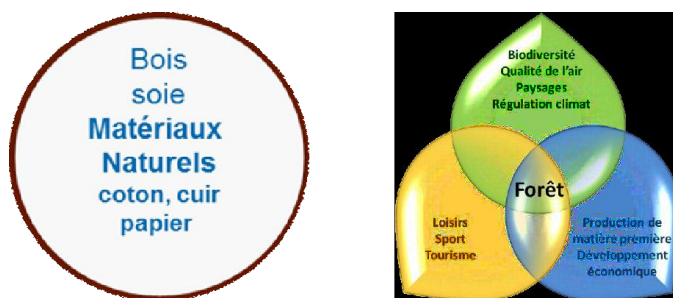


Figure 1. Différentes fonctions pour la forêt

1.1.2- L'arbre

Élément fondamental de son environnement, l'homme a fait de l'arbre un végétal productif jouant un rôle économique. Il en extrait la matière première pour de nombreuses industries (chimiques, papetières, de seconde transformation du bois). Sa Constitution physique est présentée comme suit :

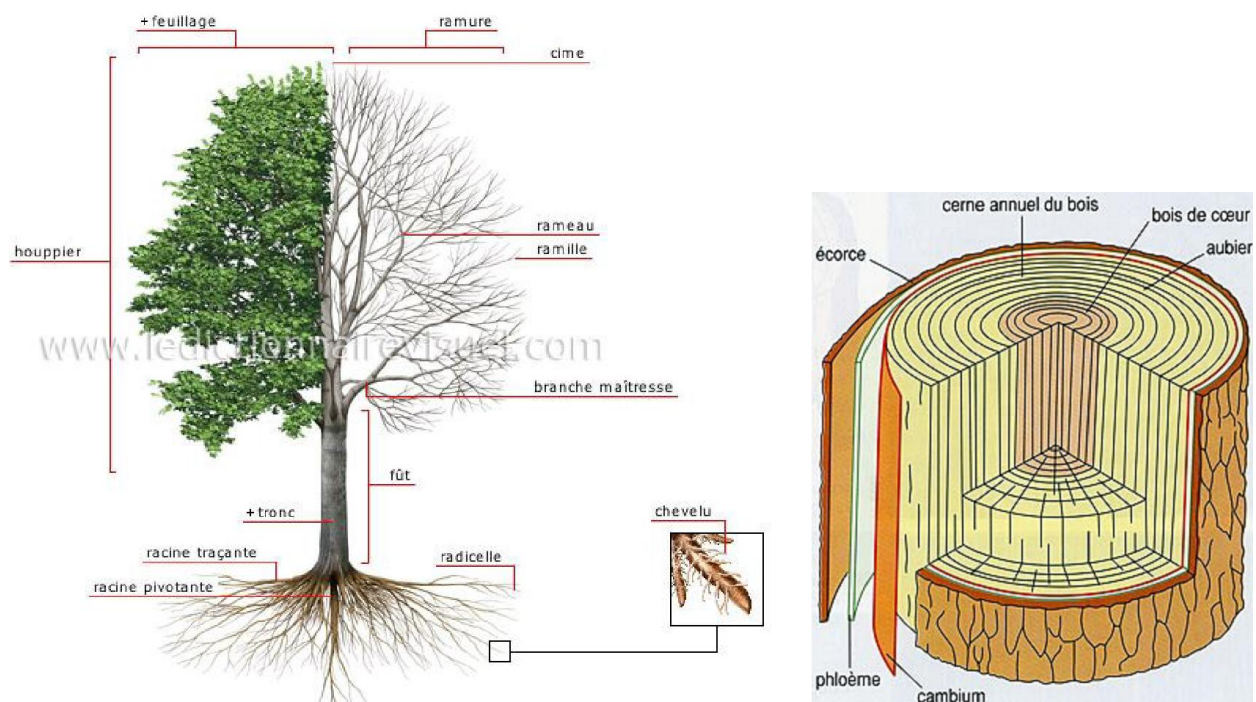


Figure 2. Morphologie de l'arbre



Figure 3. Coupe transversale d'un tronc et souche

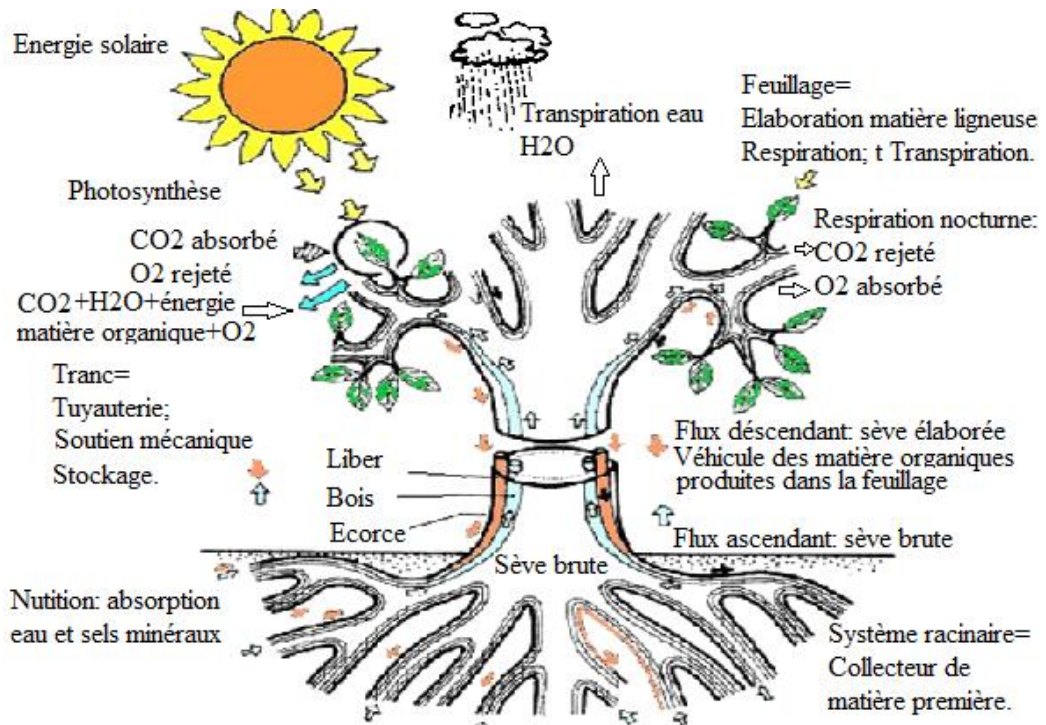


Figure 4. Usine de fabrication de la matière organique dont le bois en utilisant l'énergie solaire

Les éléments principaux sont ceux visibles à l'œil nu ou avec une loupe tenue à la main. Des éléments tels que les accroissements, les différences entre le bois de cœur et l'aubier, les rayons ou la répartition des cellules peut être reconnus à ce stade. Les principales parties d'un arbre et d'un morceau du tronc d'un arbre sont :

Racines : Partie souterraine par laquelle l'arbre se fixe au sol et se nourrit.

Souche : Ensemble de la base du tronc et des grosses racines qui s'y insèrent..

Écorce: partie du tronc le protégeant qui entoure le tout.

Le rhytidome : est la partie externe de l'écorce. Il protège l'arbre contre les attaques biologiques (insectes), , contre le dessèchement (coup de soleil) et contre les blessures (chutes de pierres).

Le liber : Partie interne de l'écorce conducteur de la sève (descendante) formée de glucose transformé en amidon. Une blessure du liber peut freiner la croissance d'une partie de l'arbre.

Cernes annuels: marque annuelle de l'élargissement du tronc.

Moelle: partie centrale du tronc.

Le durame (Bois de cœur): bois formant la partie du tronc entourant la moelle.

Le cambium il correspond à la zone où a lieu la production des couches de tissus cellulaires. Il y a une production de bois sur sa face interne et de liber (transformé par la suite en écorce) sur sa face externe.

Aubier: dernières couches annuelles de l'arbre. Il représente le système conducteur de la nourriture de l'arbre, des racines à la couronne. Il transporte la sève brute (montante), un mélange de sels nutritifs dissous dans l'eau que les racines prélèvent du sol. L'aubier reprend aussi l'effort principal des charges mécaniques (en traction et en compression) dus aux vents, à la neige

Le bois de cœur (ou le bois parfait ou duramen): est l'élément de soutien central de l'arbre. En revanche, il ne remplit plus de fonction conductrice des substances nutritives. Le centre du tronc, la moelle, peut, à partir d'un certain âge, être creuse de couleur également foncée ;

La moelle: caractérisée par un petit cercle de couleur foncée, constituée par un tissu spongieux situé approximativement au centre de la section ;

Grume: Tronc d'un arbre abattu, ébranché et recouvert ou non de son écorce.

Cime: Sommet de la tige.

Branche: Ramification importante de la tige.

Coupelle: Branche assez forte pour un débit secondaire.

Couronne: Région correspondant à l'insertion sur le tronc de plusieurs grosses branches.

Tige: Partie constituant l'axe plus ou moins ramifié de l'arbre.

Fût: Partie du tronc dépourvue de branches.

Tronc: Partie inférieure de la tige principale.

Fourche: Région correspondant à la division en deux tiges du fût.

Patte: Partie inférieure du tronc, renflée, où le bois offre certaines caractéristiques particulières de structure, dues à l'insertion des racines principales.

Tête: l'extrémité haute

Culée: L'extrémité basse du tronc

Bille ou **plat** est la grume débitée, reconstituée en vue de séchage.

1.1.2.1- Croissance De L'arbre

Le bois est une matière de structure fibreuse hétérogène qui est mise en évidence par l'existence de couche concentriques ou cernes, qui sont le résultat de variations naturelles de croissance. L'âge de l'arbre est égal au nombre de cernes. Les couches jeunes elles se forment à la périphérie.

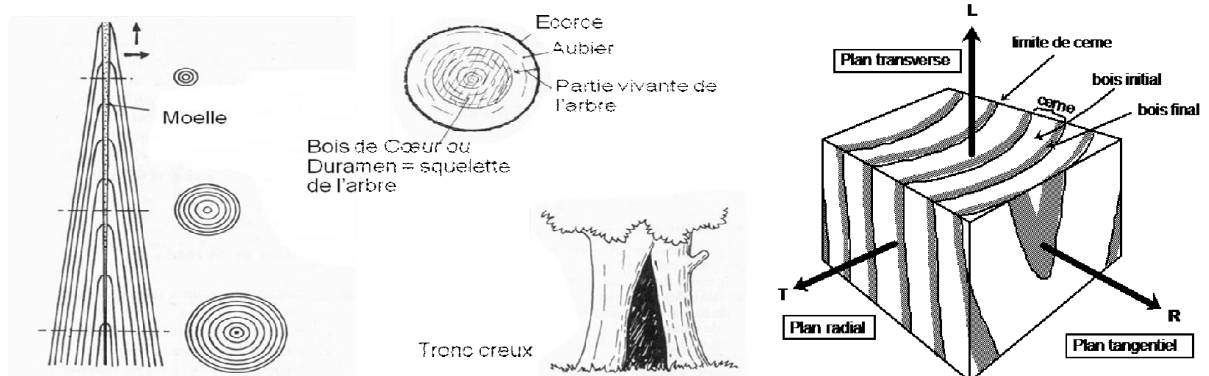


Figure 5. La rythmicité de la croissance

La croissance se développe principalement dans trois directions:

- Longitudinale (croissance en hauteur) ;
- Radiale vers l'intérieur (xylème, formation du bois) ;
- Radiale vers l'extérieur (phloème, formation du liber).

L'observation macroscopique d'un tronc Fig.5 s'effectue selon: les directions longitudinale (L), radiale (r), et tangentielle (t). L'axe longitudinal est parallèle à la direction principale du tronc; ou a lieu la croissance primaire. L'axe radial passe par l'écorce en traversant la moelle; ou a lieu la croissance secondaire. L'axe tangentiel est perpendiculaire au plan défini par les deux premiers. Le matériau présente un caractère anisotrope, c'est-à-dire que ses réactions ne sont pas les mêmes dans toutes les directions. Par exemple, le gonflement d'un morceau de bois suite à une reprise d'humidité est plus important dans la direction radiale que dans la direction longitudinale.

1.1.3 - Le bois

Le bois a pour origine l'arbre est une matière fibreuse qui constitue le tronc et les branches des arbres. Pour la construction on n'utilise que le bois appartenant au tronc. -Culée; -Tête; -Grume; -Bille.

L'examen de la section transversale (*perpendiculaire aux fibres*) du tronc du centre vers la périphérie, montre les éléments suivants: - L'écorce; - Le rhytidome; - Le liber; - Le cambium; - L'aubier; - Le bois de cœur; - La moelle.

Chaque année, un nouveau cylindre de bois est formé à l'extérieur du précédent. Sur une coupe transversale de tronc, ces couches concentriques annuelles s'appellent des cernes.

1.1.3.1 - Classification des bois

Les pièces de bois massives sont des pièces résultant d'opérations d'usinage sur du bois provenant directement du sciage de l'arbre.

Tableau 3. Propriétés générales des bois et leurs utilisations

Bois	Propriétés générales	Durabilité	Résistance	Couleur	Emplois possibles
Épicéa/sapin	bois tendres, faciles à travailler, mais peu résistants aux intempéries, aux champignons et aux insectes	Faible	Moyenne	Blanc	bois de construction, charpentes, revêtements, planchers, planches collées laminées
Pin	bois tendre, un peu plus dur que l'épicéa et le sapin, durable, en particulier au niveau du cœur, facile à travailler, très résineux	Passable	Faible	Blanc	bois de construction, planchers, meubles, lambris, fenêtres, portes intérieures et extérieures
Érable	bois dur très résistant, assez élastique, facile à travailler	Faible	Très forte	Brun pâle	meubles, cuisine, placages, planchers, escaliers
Chêne	bois dur et lourd, haute résistance aux intempéries, aux champignons et aux insectes	Grande	Très forte	Brun pâle	meubles, placages, parquets, bois de construction, portes, fenêtres
Frêne	bois dur, résistant à l'humidité, bonne résistance à l'abrasion, le plus noble des feuillus indigènes	Moyenne	Moyenne	Blanc	meubles, escaliers, planchers, lambris, engins de sport, outillage
Hêtre	bois dur, sujet au gauchissement, peu apte à l'usage extérieur	Grande	Forte	Blanc	meubles, parquets, escaliers

Tableau 1. Classification des bois et de leur principale utilisation :

Catégories du bois	Types de bois	Utilisation
Bois blancs	Peuplier, tilleul, bouleau, tremble Platane, érable, aulne	Emballages, tournage, allumettes, papier Ebénisterie, menuiserie
Résineux	Sapin, pin, épicéa, mélèze, pitchpin	Menuiserie, charpente, parquets, papier
Bois durs	Chêne, hêtre Charme, châtaigner Orme, acacia, noyer	Menuiserie, bois courbés, contre-plaqué Tournage, ébénisterie Charronnage, pieux, barreaux
Bois fins	Cerisier, merisier, noyer Poirier, pommier Cormier, buis, olivier	Ebénisterie, sculpture Instruments de dessin Rabots, varlopes, instruments de mesure
Bois exotiques appréciés pour leur coloris, qualités et prix élevé	Acajou, ébène, palissandre Okoumé, bois de rose, satiné Teck	Ebénisterie, menuiserie de luxe Menuiserie Construction navale

Tableau 2. Classification des bois

Bois	Densité	Exemple
Très légers	0,4 à 0,5	le peuplier, le saule, le tilleul,
Légers	0,5 à 0,65	l'aulne, le bouleau et le tremble,
Demi-lourd	0,65 à 0,8)	le châtaignier, le chêne, l'érable, le frêne, le hêtre, le noyer, le poirier,
Lourds	0,8 à 0,95	le buis, le chêne vert, le cornouiller, le sorbier,...

1.1.3.2 - Opérations de production des bois

L'arbre, avant de devenir une matière d'œuvre de seconde transformation, doit subir des opérations :

Abattage : Coupe de l'arbre sur pied.

Blanchissement : Les bois de la périphérie de l'arbre abattu sont enlevés (branches, excroissances...).

Écorçage : Après vérifications visuelles et électroniques (présence de métaux ferreux), l'écorce, le sable et les cailloux sont retirés.

Lavage : Réalisation d'un sciage longitudinal pour obtenir un découvert

Équarrissage : Consiste à laver une bille sur quatre faces sensiblement d'équerre afin d'obtenir un parallélépipède rectangle, légèrement pyramidal sur la longueur.

Débîts : Les utilisateurs du matériau « bois » ont besoin d'éléments **pré-débîtés**. Un premier débit longitudinal est réalisé en scierie. Débit de scierie ; Déroulage ; Tranchage

Fendage : Débit d'une pièce provoquant la séparation des fibres longitudinalement (sans sciage).

Sciages : Tronçonnage : sciage transversal perpendiculaire aux fils.

Dességage : Elimination de la sève et de matières de réserve d'eau sous l'effet de la vapeur d'eau saturée.

Flottage : Faire séjourner le bois dans l'eau pour le conserver ou le transporter.

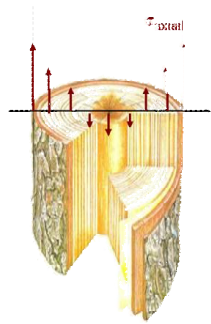
Étuvage : Stérilisation des bois sous l'action de la vapeur d'eau saturée.

Séchage : Le séchage du bois est lié aux phénomènes internes physiques (l'eau dans le matériau bois) et à des facteurs externes (humidité de l'air). Opération d'élimination partielle l'eau contenue dans le bois.

On appelle bois de sciage les éléments obtenus par le premier sciage on les répartit en 3 groupes :

- Petites épaisseurs ou feuilletés
- Moyennes épaisseurs ou planches
- Fortes épaisseurs ou madriers ou plateaux

1.1.3.3 - Le bois matériau précontraint



Tension périphérique

Compression au cœur

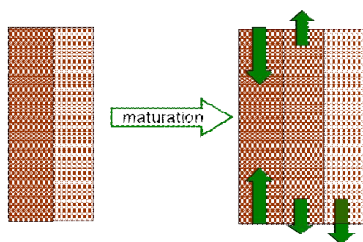
Contrainte de croissance =

Contrainte de support + contrainte de maturation

Création d'une nouvelle couche de bois

Figure 6. Bois matériau précontraint

Contraintes de maturation



La nouvelle cellule tend à se rétracter (déformation de maturation)

Cette déformation est gênée par l'adhésion sur le bois plus ancien

La nouvelle cellule est fortement tendue

La cellule ancienne voisine est comprimée

Figure 7. Contraintes de maturation

1.2 PROPRIETES DU BOIS

1.2.1 Propriétés chimiques

- La constitution du bois varie suivant sa nature ; il comprend les constituants suivants :
 - La cellulose (40-50 %) La matière principale constitutive du bois est la cellulose $(C_6H_{10}O_5)_n$, qui entre pour »50% dans la composition et 20 , 30% de lignine ;
 - La lignine (10 à 30 %) Substance dure et colorée. Celluloses et lignine forment les membranes ou les parois des éléments cellulaires et, en particulier, des « fibres » du bois.
 - Substances solubles ou insolubles (gommes, huiles, résines, sucres, tannins, amidon etc... 20-25 %) ;
 - Les matières minérales (cendres) (0-10 %).

Tableau 4. Proportions des composants chimiques du bois relatives à sa masse sèche

composants chimiques	Cellulose	Lignines	Hémicelluloses	Matières minérales
Proportions (%)	40-50	10-30	20-25	0-10

- La composition chimique centésimale du bois anhydre varie peu, présenté par le tableau 5:

Tableau 5. Composition du bois sec

Composition	carbone	oxygène	hydrogène	azote	matières minérales (cendre)
Teneur %	50	42	6	1	1

Les propriétés chimiques du bois dépendent de sa composition chimique et de la nature des constituants

1.2.2 Propriétés physiques

La structure du bois est influencée par l'eau agissant sur sa consistance et son gonflement.

1.2.2.1 Le taux d'humidité (Hygroscopicité)

Toutes réalisations en bois massif se déforment: elles sèchent ou s'humidifient et gonflent. L'idéal serait d'utiliser du bois stocké dans un local de même degré d'humidité que l'endroit du meuble fini.

Ainsi, un ouvrage en bois situé à l'extérieur (fenêtres, volets, bardages) verra son humidité tendre vers 13% en été et vers 19% en hiver. Pour que le jeu du bois soit minimal, il faudra que son humidité se situe au milieu de la fourchette de variation, soit 15 à 16%.

L'eau dans le bois se présente sous deux formes :

- a) Eau libre, se déplace facilement dans le bois; elle remplit les vides cellulaires ;
- b) Eau liée, appelée «eau d'imprégnation ou de saturation» imprègne les membranes cellulaires. Sa disparition est la cause principale du retrait du bois ;
- c) Eau de constitution, est l'un des éléments chimiques du bois. Elle disparaît à la destruction du matériau (Ex.: charbon de bois).

Le **degré d'humidité** du bois se stabilise sous l'influence de la température et de l'état hygrométrique de l'air. Après sa stabilisation, le bois est dans un état d'équilibre hygroscopique avec l'air.

La **teneur en humidité** est le rapport exprimé en pourcentage de la masse de l'eau présente dans le bois sur la masse du bois anhydre (sec). Le taux d'humidité est obtenu par :

- a) Mesure par pesée : Obtenu par la relation :

$$H \% = (m_h - m_s) / m_s \times 100 ; \quad \text{Tel que : } m_h - \text{masse humide ; } m_s - \text{masse sèche du bois}$$

- b) Mesure électrique: L'eau dans le bois conditionne sa résistivité. Plus il y a d'eau, plus il conduit le courant. planter deux électrodes dans le bois, faire passer un courant et mesurer sa résistance.

1.2.2.2 Rétractabilité

Est la fonction qu'il a de varier en dimensions et en volume lorsque son état d'humidité varie entre certaines limites comprises entre l'état anhydre et l'état de saturation des tissus cellulotiques :

$$B(\%) = (V_1 - V_2) / V_2 \quad \text{Dont : } V_1 : \text{volume à l'état saturé ; } V_2 : \text{volume à l'état anhydre.}$$

Lorsque l'eau libre a entièrement disparu (point de saturation), il ne reste que l'eau liée qui imprègne les membranes des cellules. Le départ de cette eau liée entraîne des phénomènes de retrait et de déformation. Le point de saturation des fibres, en dessous duquel se manifeste le "jeu du bois", est de l'ordre de 30 % pour toutes les essences.

Le retrait et le gonflement sont directement proportionnels à la diminution ou à l'augmentation du taux d'humidité du bois.

- a) De 100% à 30 % d'humidité: Le bois perd du poids sans se déformer (les cellules se vident de l'eau).
 b) De 30% à 0%: Le bois perd du poids mais se rétracte progressivement: c'est le retrait (c'est l'eau contenue dans les parois des cellules qui s'échappe). Il faut également savoir que les rétractations sont plus ou moins importantes selon le sens des fibres. En séchant un morceau de bois de 30 % à 0% d'humidité, on constate les retraits suivants :

- Sens axial (ou sens du fil) : si faible qu'il est pratiquement négligeable 0,1 %;
- Sens radial (sur le diamètre de la bille) : 5 %;
- Sens tangentiel (sens des cernes), il est environ 1,5 à 2 fois plus élevé que le retrait radial. : 11 %.

On distingue le retrait en fonction des essences à :

- Fort retrait : $15 < B < 20\%$; chêne, hêtre, azobé, etc. ;
- Retrait moyen : $10 < B < 15\%$; résineux en général ;
- Retrait faible : $5 < B < 10\%$; sipo, iroko, noyer, peuplier, acajou, etc.

En fonction de la température et de l'humidité de l'air ambiant, le bois se stabilise à une humidité d'équilibre, dite équilibre hygroscopique, qui est pratiquement indépendante de l'essence du bois.

Le bois sur pied (*bois vert*), contient une grande quantité de la sève. Sa teneur est, selon les essences, de 35 à 50 % de son poids. L'arbre dès qu'il est abattu, perd lentement son eau. Le séchage entraîne le retrait du bois se traduisant par une diminution du volume, et des dimensions.

1.2.2.3 Gonflement du bois

Le gonflement est le phénomène inverse du retrait. Lorsque le bois absorbe de l'eau, sa teneur en humidité augmente et le bois a tendance à augmenter de volume. Le gonflement est proportionnel au gain d'humidité jusqu'au point de saturation des fibres. Lorsque la teneur en humidité ($TH \geq 30\%$), le bois subit le changement dimensionnel.

Les phénomènes de gonflement et de retrait du bois sont inégaux selon qu'on les mesure longitudinalement ou transversalement (perpendiculairement) par rapport à l'orientation des fibres figure 10. En effet, ils sont principalement transversaux à l'axe de croissance. Une pièce de bois vert ne varie que de 0,1 % en longueur (longitudinalement) une fois séchée au séchoir (état hygrométrique à 7 ou 8 % d'humidité). Cette même pièce varie en moyenne de 8 % en largeur (transversalement). Le bois est donc une matière anisotrope, dont les propriétés diffèrent selon l'orientation.



Figure 10 : Direction longitudinal et transversal

Le bois conserve toujours une certaine quantité d'eau, variant avec l'état hygrométrique de l'air. A l'inverse du phénomène du retrait accompagnant le séchage, le bois gonfle en absorbant l'humidité. Comme le retrait, le gonflement est sensible dans le sens transversal.

1.2.2.4 - Masse volumique et dureté :

La masse volumique des bois est très variable selon les espèces (de 350 à 1100 kg/m³) et à l'intérieur d'une même espèce (avec des variations maximales de plus ou moins 15%).

Une corrélation étroite existe entre la masse volumique et la dureté voir tableau 6, les bois les plus denses sont les plus durs et les bois les plus légers sont les plus tendres.

Tableau 6. Classes des bois selon de leurs densité et leurs dureté

Classes de densité et de dureté	Densité	Dureté (Chalais-Meudon)	Essences
Bois très lourds et très durs	0,85	9	Azobé, ipé
Bois lourds et durs	0,70 - 0,85	5 - 9	Charme, movingui, chêne dur
Bois mi-lourds et mi-durs	0,56 - 0,70	2,5 - 5	Châtaigner, chêne tendre, pins
Bois légers et tendres	0,45 - 0,55	1,25 - 2,5	Framiré, douglas, épicéa, sapin, pins
Bois très légers et très tendres	0,45	1,25	Western red cedar, séquoia, peuplier

1.2.2.5 - Conductibilité thermique:

La conductibilité thermique est modérée, elle dépend de :

- L'espèce,
- La masse volumique,
- L'humidité
- La température.

La diminution de l'air dans les pores, due à une augmentation de l'humidité améliore la conductibilité thermique.

1.2.3 Propriétés mécaniques

Le bois matériau hétérogène et anisotrope, offre des résistances mécaniques en fonction de la direction de l'effort par rapport à la section transversale, radiale ou tangentielle. Elles varient avec l'espèce (texture, densité, humidité); dans une même espèce avec l'âge, les conditions d'exposition, de croissance et de voisinage et dans un même individu avec l'emplacement du prélèvement.

Le bois se comporte dans la direction :

- Axiale comme une matière fibreuse, résistante, tenace, rigide et dure. Par contre ;
- Tangentielle, se comporte comme matière plastique, déformable et de résistance relativement faible.

On rencontre, une grande dispersion dans les résultats (du simple au double) pour la même direction d'efforts, dans un même individu, selon la densité du bois qui demeure la caractéristique prédominante.

Sa résistance est très forte dans le sens longitudinal et peut se fendre aisément dans le sens radial. Ces propriétés permettent de choisir le type de découpe selon l'utilisation souhaitée.

Le bois issu de la coupe de troncs d'arbres n'est pas utilisable directement. Il est débité puis mis à sécher à l'air libre de nombreuses années afin que son eau soit éliminée et que les planches ne se déforment pas. De plus, en testant le bois à la traction, à la compression, au poinçonnement, au cisaillement, on trouve des différences capitales selon la direction des efforts. Les propriétés d'une planche varient selon l'arbre, et selon la partie du tronc dont elle provient.

1.2.3.1 Résistance à la compression et à la traction

Sur le plan de la solidité, le bois a une grande résistance à la compression et à la traction dans le sens longitudinal. Il est toutefois beaucoup plus faible dans le sens transversal.

1.2.3.2 Résistance à la flexion

La résistance, ou module de rupture, dépend de la sollicitation et de la direction dans laquelle elle est appliquée au matériau : la résistance en compression est plus importante dans la direction longitudinale que dans les directions radiale et tangentielle.

Un essai de flexion permet de courber le matériau testé. Dans le cas d'une poutre, il consiste à rapprocher ses deux extrémités en plaçant une charge au centre de celle-ci. Une flexion au centre de la poutre est obtenue en répartissant la charge sur deux appuis.

Plusieurs facteurs influencent sa résistance en flexion:

- La densité ;
- L'humidité ;
- La présence de nœuds.

La pente de fil est l'angle que forme la direction des fibres avec l'axe principal de la poutre. Lorsque cet angle augmente, la résistance diminue car les liaisons entre les fibres deviennent plus sollicitées que les fibres elles-mêmes. La résistance en flexion augmente quand la densité du bois augmente

L'humidité a une influence particulière sur le matériau bois : l'eau se retrouve à la fois dans les cavités des cellules et dans leurs parois. Les parois sont les premières à absorber l'eau ; quand celles-ci sont saturées, les cavités se remplissent. Cette transition s'effectue à un certain degré d'humidité appelé point de saturation des fibres (PSF). Il se situe entre 20 et 30 %.

Les nœuds proviennent de la croissance de branches dans une direction différente de celle du tronc. Ils représentent autant de points faibles pour la mécanique des poutres en bois du fait du changement de direction des fibres (branches vivantes), voire de la discontinuité (branches mortes) du matériau autour d'eux.

1.2.3.3 - Module d'élasticité

Le module élastique, module de Young, ou rigidité d'un matériau est la constante liant la déformation à la contrainte qui lui est appliquée. Quelle que soit la sollicitation (traction, compression, flexion), il existera un intervalle de contrainte dans lequel le matériau se comporte de manière élastique.

Les facteurs influençant l'élasticité du bois sont les mêmes que ceux pour le module de rupture.

Dans des conditions ambiantes de température et de pression, le bois se comporte parfaitement de manière élastique dans toutes les directions lorsque de faibles efforts (jusqu'à 30 % de l'effort de rupture) lui sont appliqués, c'est à dire qu'il se déforme de manière proportionnelle à l'effort imposé.

1.2.3.4 - La résistance au choc

Est mesurée par le travail nécessaire pour casser un barreau de section donnée. Elle caractérise la résilience, par conséquent la fragilité d'un bois, qui est une propriété importante. Ce paramètre réagit aux déviations de fil ainsi qu'aux irrégularités de croissance du bois.

1.2.3.5 - La dureté

D'une surface de bois sollicitée localement en compression peut être déterminée par différentes méthodes, parmi lesquelles la méthode «Brinell» est la plus répandue. On mesure l'empreinte d'une bille dans le bois pour une pression donnée. La forme sphérique de la bille fait que c'est une combinaison de la résistance à la compression parallèle et perpendiculaire à la fibre avec un rapport changeant au fur et à mesure de la pénétration de la bille dans le bois. Les valeurs sont difficilement comparables avec d'autres mesures unidirectionnelles, mais elles servent néanmoins à évaluer l'aptitude d'une essence de bois, par exemple pour des revêtements de sol.

1.2.4 - Durabilité (résistance à la décomposition)

Propriété naturelle ou conférée des bois à résister à un degré plus ou moins grand aux atteintes des organismes destructeurs, champignons, insectes, etc. Elle dépend :

- De la présence de matières **protectrices** dans la constitution chimique du bois ;
- Des matières **antiseptiques** injectées artificiellement ;
- De la présence ou non de **réserves alimentaires** que recherchent les organismes.

Pour assurer la résistance d'un ouvrage face aux attaques de champignons, il convient d'abord de déterminer quel risque encourt cet ouvrage : le risque est par exemple plus faible dans un espace à l'abri des intempéries qu'en pleine exposition ou en contact avec le sol. Pour qualifier ce risque, on prend en considération la présence plus ou moins prononcée d'eau à proximité de l'ouvrage.

Les tests de durabilité consistent à mettre en contact un échantillon de bois avec des agents de dégradation. La dégradation se mesure par la variation de masse WL (Weight Loss) avant et après l'exposition.

$$WL = 100 * (m_{s1} - m_{s2}) / m_{s1}$$

Ou: m_{s1} et m_{s2} masses sèche de l'éprouvette avant et après exposition aux agents de dégradation.

La perte de masse due à l'attaque fongique permet directement d'attribuer une classe de durabilité lorsqu'il s'agit d'évaluer la résistance aux champignons.

1.3 TRAITEMENTS DU BOIS

1.3.1 - Traitement thermo-hydro-mécanique

Les traitements thermo-hydro-mécaniques sont les techniques de modifications du bois : séchage, cintrage, compression, soudage par friction, traitement thermique...

a/ Le séchage : La diminution de la teneur en eau du bois commence à l'air libre immédiatement après la coupe de l'arbre, et est souvent accéléré dans des séchoirs pour atteindre une humidité de 10 à 20%. Le bois ainsi sèche cumule de nombreux avantages en comparaison avec son état humide: il est moins sensible aux attaques de champignons et d'insectes, se déforme moins, est plus léger, possède de meilleures propriétés mécaniques, et devient un meilleur support pour les peintures et vernis.

b/ Le cintrage : illustre bien l'influence que peuvent avoir les actions combinées de l'eau, de la chaleur et de forces mécaniques sur le bois. Cette opération qui consiste à donner une forme permanente à une pièce de bois sans les casser.

c/ La densification par compression : Certains traitements chimiques tendent à remplir les cellules du bois pour ne plus laisser de place à l'eau, il est possible de densifier le bois par compression. La densification s'accompagne d'une amélioration des propriétés mécaniques

1.3.2 - Traitement thermique du bois

Les bois chauffés sont des matériaux nouveaux dont le comportement est différent de celui des bois naturels : ils se dégradent moins vite, mais sont plus fragiles.

Deux aspects: durabilité et performances mécaniques, garantit la qualité des produits et optimise le cycle de traitement thermique. Le premier obstacle est la variabilité des propriétés au sein d'un même échantillon de planches de bois.

Le bois modifié thermiquement comme un "bois dans lequel la composition des parois cellulaires et les propriétés physiques sont modifiées par l'exposition à une température entre 140 et 250 °C sur des périodes allant de 12 à 100 heures et à des conditions réduites en oxygène. Ces chiffres, en plus de varier d'une technologie à l'autre, dépendent de l'essence traitée, des propriétés du produit final.

Les bois traités thermiquement sont utilisés aussi bien en intérieur qu'en extérieur. En intérieur, ils élargissent la gamme des menuiseries en offrant des teintes plus foncées que les bois non traités. En extérieur, leur meilleure durabilité et stabilité dimensionnelle permettent des usages en bardage, terrasse, mobilier, et artisanat.

1.3.3 - Défauts et ennemis du bois.

Le bois a des qualités et des défauts dont il faut tenir compte dans le façonnage et surtout dans l'assemblage, même des plus petits objets.

- Peu couteux ;
- Présentant de grandes facilités de façonnage.

1.3.3.1 - Défauts

Le bois présente parfois des anomalies modifiant ses propriétés. Anomalies de structure, on cite :

Nœud : se situe à la jonction du tronc et d'une branche,

Entre-écorce : présence de l'écorce dans la masse du bois,

Gélivures et gerçures : fentes longitudinales orientées sur un plan radial provoquées par l'alternance de la gelée et la dessiccation,

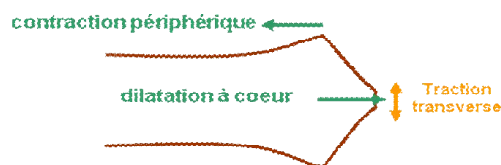
Roulures : fentes circulaires constituées par le décollement de deux couches annuelles.

1.3.3.2 - Déformation dues au retrait

a) Cas des bois en grumes : les couches périphériques sèchent en premier. Riche en eau, elles subissent un important retrait. Les couches centrales sèchent lentement, leur retrait est en outre moins important. Ces inégalités entraînent des fentes radiales.

b) Cas des bois débités : L'échantillon débité tangentiellement aux couches annuelles, subit dans la région la plus éloignée du cœur, un retrait plus important que dans les régions plus proches du cœur, suite à l'inégalité de répartition de l'eau qu'il contient. L'échantillon se cintre, la partie convexe est celle placée vers le cœur, subit le retrait le moins important. On dit que le bois tire au cœur.

L'échantillon débité normalement aux couches annuelles, subit sur ses deux faces, riches en eau, des retraits identiques. Le plan moyen ne subit aucune déformation. On remarque une diminution de la largeur et une diminution de l'épaisseur, plus sensible sur les bords qu'au centre. Lorsqu'on considère l'échantillon dans le sens de la longueur, les extrémités séchant plus vite que la partie centrale se fendent. On peut limiter l'importance de ces fentes et leur propagation dans le sens de la longueur soit par des tasseaux de bois cloués, soit au moyen de crochés en S enfoncés au marteau. Il y a lieu également d'éviter un séchage trop rapide.



Eucalyptus



Fente en bout chez le hêtre

Figure 11 : Les fentes et leur propagation dans le sens de la longueur

A l'atelier, lorsqu'on a scié le bout d'un échantillon de forte épaisseur, on évite la formation de fentes en collant une feuille de papier sur la nouvelle extrémité.

1.3.3.3 - Ennemis

Les champignons Parasites végétaux, les champignons peuvent changer profondément la composition chimique du bois et en modifier la consistance et la coloration. La pourriture due aux champignons prive le bois de ses propriétés mécaniques, physiques et chimiques. Certains champignons peuvent changer la coloration du bois sans modifier les propriétés.

La mэрule: C'est le plus répandu des champignons parasites, il attaque les bois anciens mis en œuvre dans les bâtiments et se manifeste sous différentes formes. Son développement est favorisé par :

- Le taux d'humidité trop élevé (22 à 35%) ;
- L'obscurité ;
- Le manque d'air.

1.4- LES DERIVES DU BOIS (*bois améliorés*)

Une des préoccupations actuelles est d'apporter remède aux défauts du bois et en particulier a ces déformations sous l'influence de l'humidité.

1.4.1 - Une première solution

consiste à s'opposer à la déformation en collant plusieurs feuilles de placage en croisant les fibres. Les fibres peu déformables dans le sens de la longueur maintiennent les fibres des couches adjacentes placées dans le sens transversal.

On obtient ainsi les bois lamellés appelés également contreplaqués. Le collage s'effectue à la presse à l'aide de résines synthétiques.

1.4.1.1 - Les contreplaqués à plis :

Il est constitué de **couches** appelées « plis » croisées à 90° (appelé multiplis).

La fabrication du contre-plaqué consiste à dérouler des troncs d'arbres et à obtenir de minces feuilles de bois appelés plis. Les couches de bois sont collées les unes sur les autres en contrariant les fils du bois. Les couches de bois sont collées en nombre impair. Le pli intérieur constitue l'âme.

On obtient ainsi de minces panneaux de contreplaqué, qui sont ensuite placés dans un moule de la forme voulue, puis **pressé**. Le panneau prend alors la forme du moule, qui peut être **courbe** ou **arrondi**. Il ne reste plus qu'à **chauffer** 5 à 10 minutes à 90°C.

- Le croisement des plis successifs et les caractéristiques de la colle permettent des performances nouvelles par rapport à la structure initiale du bois ;
- Les caractéristiques transversales sont nettement améliorées ;
- Ces propriétés mécaniques trouvent des applications intéressantes.



Figure 12 : Quelques exemples de contreplaqués

1.4.1.2 - Contreplaqué latté (Les panneaux contreplaqués):

Il est constitué de **plis** et d'une **âme** de lattes de bois de largeur comprise entre 7 et 30 mm.



Le panneau fort (*panneau latté*) est constitué par une âme formée de lamelles de sapin collées les unes contre les autres. Les deux faces sont constituées par un pli collé à contre fil.



Figure 13. Panneaux latté

Caractéristiques principales des panneaux contreplaqués

- Résistance: Les contreplaqués sont relativement résistants à l'eau et offrent des performances mécaniques élevées, d'où leur préférence aux panneaux de MDF ou de particules pour la fabrication de caisses de transport ou pour des applications structurales. Ils offrent une très bonne résistance au fluage et aux chocs du fait de leurs plis croisés.
- Variations dimensionnelles: Les panneaux de contreplaqué présentent de très bonnes stabilités dimensionnelles. Les variations dimensionnelles du contreplaqué sont en effet inférieures à celles du bois massif. Elles se situent autour de 0,15 % en largeur ou en longueur, entre leur état anhydre et l'état saturé d'eau.

Toutefois, les fibres étant disposées principalement à plat et en couches, les propriétés du panneau sont différentes dans le sens de l'épaisseur. Ces variations dimensionnelles en font l'un des dérivés du bois les plus stables, avec 0,5 à 1 mm par mètre linéaire.

Afin d'éviter la libération des produits volatils par les chants des panneaux de bois reconstitué :

- sceller leurs contours au moyen d'un revêtement;
- opter pour des panneaux avec un revêtement incorporé.

1.4.2 - Une seconde solution

Détruire la porosité du bois due à la présence des vaisseaux dans lesquels l'humidité pénètre. On peut écraser le bois pour le transformer en une masse compacte indéformable. Cette technique fournit les bois comprimés sous une forte pression réduisant son épaisseur aux deux tiers de l'épaisseur initiale.

On peut également transformer le bois en une masse imperméable en remplissant ses vaisseaux au moyen d'une matière durcissable et imperméable. On obtient ainsi les bois imprégnés. Les matières utilisées pour l'imprégnation peuvent avoir des propriétés particulières assurant l'imperméabilité (*hydrofuges*), l'incombustibilité (*ignifuges*), la protection contre les insectes (*insecticides*).

On utilise les métaux à bas point de fusion (plomb, étain, antimoine) et les résines synthétiques.

L'emploi combiné de ces deux techniques fournit les bois comprimés et imprégnés. On obtient des produits qui ont d'intéressantes applications en construction aéronautique et navale et durs, insensibles aux variations hygrométriques, sont tout indiqués pour la fabrication des modèles.

1.4.2.1 - Les panneaux en fibres de bois

Dans la catégorie des panneaux de fibres de bois, on retrouve le panneau de fibres à densité moyenne, c'est-à-dire le MDF (Medium Density Fiberboard), qui est confectionné à partir de matières ligno-cellulosiques (bois) défibrées, mélangées à un liant synthétique et pressées à chaud. Les panneaux de MDF sont souvent de couleur brune. Cette teinte peut varier selon l'essence de bois utilisée. Ce type de panneau est l'un des produits dérivés du bois les plus lourds. Parmi leurs caractéristiques principales : Homogénéité : Les panneaux en fibres de bois ont une composition fine et homogène, et leurs deux surfaces sont lisses, ce qui facilite leur usinage. Ils ne posent pas de problème de direction de grain, de nœuds ou d'uniformité de surface. Néanmoins, la masse volumique des surfaces est plus élevée que celle de l'âme.

Variations dimensionnelles : Les panneaux de MDF présentent une bonne stabilité dimensionnelle. Lors du passage de l'humidité relative de 35 % à 85 %, les variations dimensionnelles du MDF sont largement inférieures à celles du bois massif. Elles sont de l'ordre de 0,3 % en largeur ou en longueur.

Les fibres étant disposées à plat et en couches, les propriétés du panneau sont différentes dans le sens de l'épaisseur. Ainsi, lors du passage de l'humidité relative de 35 % à 85 %, les variations dimensionnelles seront de l'ordre de 6 % en épaisseur. De plus, au contact de l'eau, les panneaux de MDF gonflent et perdent leurs propriétés mécaniques.

Mise en garde : La cohésion est plus faible en épaisseur et les fixations enfoncées dans les chants peuvent causer une délamination du panneau. Il est recommandé de prépercer et d'augmenter la pénétration des attaches dans les chants pour compenser la plus faible résistance de l'arrachement à ce niveau. De plus, ces panneaux sont moins rigides que le bois massif, et on peut les comparer à un carton de haute densité qui demeure plastique et qui est sujet aux déformations à moyen terme.

Ces produits contiennent une quantité d'adhésif plus importante que le contreplaqué.

1.4.2.2 - Les panneaux de particules de bois:

Dans la catégorie des panneaux de particules de bois, on retrouve le panneau de particules non orientées (agglomérées). Ce type de panneau est constitué de particules de diverses tailles, triées par tamisage de façon à ce que les plus gros éléments se retrouvent au cœur et les plus fins, en surface.

Tout comme dans la fabrication des panneaux de fibres, ces particules sont encollées avec des résines thermodurcissables polymérisées et pressées à chaud. Certains types de panneaux en particules de bois sont constitués de particules sensiblement de la même taille afin d'obtenir une meilleure qualité de chants usinés. On produit ainsi diverses qualités de panneaux en faisant varier la taille des particules, leur distribution, la quantité et le type de résine.



Figure 1.20 : Schéma général de procédé de fabrication de panneaux de particules

Caractéristiques principales des panneau de particules

Économie : Le panneau de particules s'est largement imposé comme produit économique.

Variations dimensionnelles : Les panneaux de particules de bois présentent une bonne stabilité dimensionnelle. En fait, les variations des panneaux de particules sont similaires à celles des panneaux de fibres. Lors du passage entre l'état sec (humidité relative à 35 %) et l'état humide (humidité relative à 85 %), les variations dimensionnelles du MDF sont de l'ordre de 0,3 % en largeur ou longueur, et de 6 % en épaisseur. Un panneau de particules peut varier de 1 à 2 mm par mètre linéaire. Toutefois, au contact de l'eau, les panneaux de particules gonflent et perdent leurs propriétés mécaniques.

Mise en garde : Les caractéristiques mécaniques des panneaux de particules de bois sont moindres que celles des contreplaqués. De plus, les chants des panneaux de particules sont particulièrement friables.

Applications : Tout comme le bois, les produits dérivés du bois peuvent entre autres être utilisés pour :

- La fabrication de meubles et de caisses de transport;
- La confection de structures de mise en réserve (étagères et autres);
- La confection de vitrines d'exposition et de châssis de tableaux.

Les copeaux de bois ou les fibres végétales sont agglomérés par des colles. Ils sont classés par densité, cette caractéristique commande les propriétés physiques et mécaniques des panneaux :

- Tendre : 230 à 400 kg / m³
- Dur : 480 à 850 kg / m³
- Extra dur : plus de 950 kg / m³

On place dans cette catégorie un panneau de fibres appelé (*Medium Density Fiberboard* ou MDF).

Sont des matériaux fabriqués sous pression essentiellement à partir de particules de bois ou d'autres matières fibreuses. Ces particules sans forme type mais d'une certaine granulométrie, sont obtenues par fragmentation du bois. Elles sont enduites de colles (résines thermodurcissables) puis étalées et passées sous presse.

Ces panneaux peuvent de plusieurs types : monocouche, multicouches, 3 couches avec une couche interne et 2 couches externes (la granulométrie et la densité sont différentes).

Ces panneaux peuvent revêtus sur leur surface, les revêtements les plus courants : le surfacé mélaminé, le stratifié ou le placage bois (hêtre, chêne, merisier, ..) verni.



Figure 14 : Quelques exemples de panneaux de particules

1.5 - UTILISATION DU BOIS

Le bois est présenté sous forme de planches de plusieurs épaisseurs, largeurs et longueurs. L'utilisation du bois s'articule autour de trois secteurs :

a/ Le bois d'œuvre : destine a :

- La construction : charpentes, bardages, terrasses, parquets, lambris et menuiserie ;
- L'ameublement ;
- L'emballage.

Le bois d'œuvre est celui qui après la récolte est scie, tranche ou déroule.

b/ Le bois d'industrie : est destine a la trituration. La trituration est l'opération qui consiste a broyer le bois et a en séparer les fibres de manière a pouvoir être employé pour la pate a papier ou pour la réalisation de panneaux de particules et de fibres.

c/ Le bois-énergie : au même titre que la paille, les résidus agricoles, et les liqueurs noires issues de l'industrie papetière peut être utilise comme source énergétique.

2. LES MOUSSES

Une mousse solide provient d'une mousse liquide par solidification du liquide. Celle-ci peut être obtenue par différentes voies selon la nature du liquide: solidification, polymérisation, gélification.

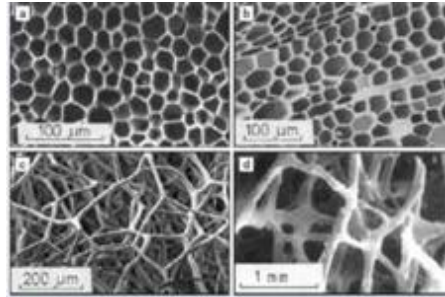


Figure 15. Matériaux naturels : (a) liège (b) bois ; (c) éponge (d) os

Une mousse est un amas de « bulles » mesurant de 0.5 à 5mm. La mousse est une structure solide ou liquide, contenant des alvéoles (*pores*). Il existe 2 phases : liquide-solide / solide-gaz. Toutes les mousses sont à un moment donné à l'état liquide. Cette dernière peut-être plus ou moins visqueuse, et peut donner lieu à de la mousse solide, réalisée via la solidification (au cours d'une trempe thermique), polymérisation, ou gélification de la mousse liquide. Il existe 2 sortes de mousse :

Les mousses à cellules ouvertes (Open Cells) possèdent des milliers de bulles éclatées, ce qui permet aux gaz et aux liquides de passer au travers. Cette caractéristique les rend idéales pour des applications telles que les échangeurs et dissipateurs de chaleur, les catalyseurs, les barrières acoustiques contre le bruit, les filtres, les électrodes, les écrans électromagnétiques, etc.

Les mousses à cellules fermées (Closed Cells), caractérisé par les films liquides qui restent intacts après la solidification, donnant lieu à de milliers de bulles non éclatées. Elle a pour conséquence de ne peut pas pouvoir laisser passer les gaz et les liquides (*elles sont étanches*). Leur étanchéité et leur légèreté est telle que certaines de ces mousses peuvent flotter sur l'eau. Elles sont très prometteuses pour la fabrication de structures pour des véhicules de transport. Parmi leurs applications, les panneaux de revêtement pour les façades de bâtiment. Elles peuvent également être utilisées comme matériau d'absorption des impacts à l'intérieur des pare-chocs.

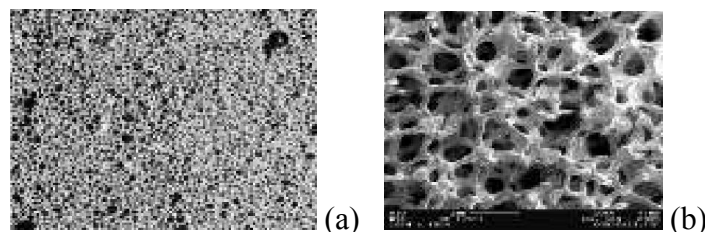


Figure 16 Mousse. (a) fermée ; (b) ouverte

2.1- Méthode de fabrication de mousse :

La méthode de fabrication d'une mousse consiste à mélanger de l'eau, un polymère et un agent moussant, que nous faisons ensuite chauffer. Celui-ci entraîne la formation d'un amas de bulles, qui sera ensuite refroidi, et donnant lieu à la mousse.

2.2- Fabrication d'une mousse métallique :

La mousse métallique est constituée d'un agent moussant, d'eau et de polymères. Par analogie avec la mousse, on la fait chauffer. L'agent moussant libère du dihydrogène formant des bulles : elle passe de l'état liquide à l'état gazeux. (Ex: on mélange l'aluminium épaissi et l'agent moussant, ce qui entraîne la formation de la mousse d'aluminium. Après refroidissement, la mousse d'aluminium se solidifie.)



Figure 17. Mousse métallique

Afin d'optimiser le poids d'un composant, les matériaux de faible densité sont très recherchés pour réduire la quantité de matière solide utilisée, tout en préservant leur dimensionnement géométrique. Les mousses métalliques possèdent de bonnes caractéristiques mécaniques. Elles possèdent une grande capacité d'absorption d'énergie. En outre, les performances de ces matériaux peuvent être améliorées lorsqu'ils sont assemblés en sandwich avec des fibres de carbone ...

Les mousses métalliques peuvent être mise en œuvre grâce à l'introduction d'un agent moussant dans le métal liquide suivant le procédé décrit ci-dessous :

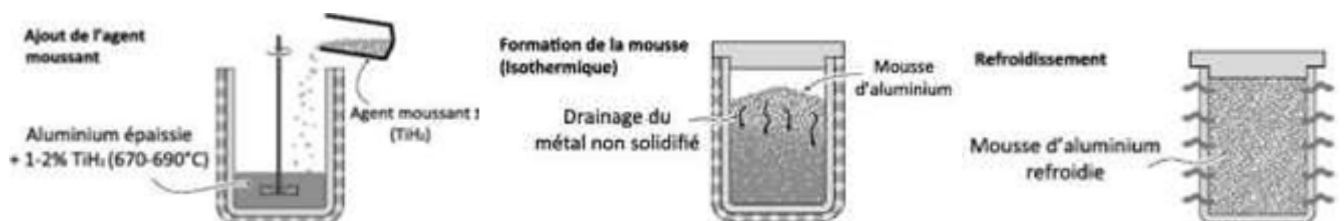


Figure 18. Mise en œuvre des mousses métalliques

L'agent moussant utilisé est un Hydrure de Titane (TiH_2), environ 2% en masse. En chauffant il libère du dihydrogène qui forme des bulles tandis que le titane est rejeté dans l'aluminium.

La mousse d'aluminium remplit ensuite le moule dans lequel elle est contenue. Il est donc important de noter que ce procédé est discontinu. Le diamètre des pores obtenus varie de 0,5 à 5 mm.

Les mousses de nickel sont produites en industrie, car elles possèdent de bonnes caractéristiques d'échange électrique, pour l'élaboration de batterie pour appareils portables (*téléphone, ordinateur...*).

2.2.1- Les implants dentaires :

Le but des implants dentaires conçus en mousse de titane est de remplacer des dents abîmées. Contrairement aux implants classiques faits de titane massif, l'implant de mousse de titane a une structure poreuse. Cette structure poreuse imite particulièrement celle de l'os humain. Les pores de la mousse permettent aux cellules osseuses de se multiplier dans l'implant et donc de l'ancrer plus solidement à la mâchoire. Il s'ensuivra une guérison plus rapide et l'usage d'implants de taille réduite.

2.2.2- Les prothèses de hanche :

Une prothèse de hanche est un dispositif qui remplace l'articulation de la hanche et permet à cette dernière un fonctionnement quasi-normal. La figure 19 illustre une prothèse de hanche en mousse de titane à cellules ouvertes qui imite la structure de l'articulation humaine. La résistance à la corrosion, la biocompatibilité et la propriété des cellules ouvertes (*favorisant la fixation des tissus*) de la mousse de titane rend cette prothèse très performante.



Figure 19. Prothèse de hanche

2.3- Les mousses de carbone

Les mousses de carbone sont caractérisées principalement par une structure cellulaire similaire à celle des éponges et par une très faible densité (inférieure à $0,8 \text{ g/cm}^3$). Les propriétés physiques notamment la résistance thermique et la surface spécifique élevées ainsi qu'une bonne résistance à la compression font de ce matériau la solution idéale pour des applications telles que les électrodes poreuses, les supports de catalyseur et les panneaux d'isolation thermique.

Quand la composition chimique des mousses contient beaucoup d'oxygène, le produit carbone est vitreux (RVC: reticulated vitreous carbon). Ce type de produit ou connexion des pores forme un réseau. Généralement ces mousses ont une très grande porosité, une très haute perméabilité et une bonne résistance mécanique.



Figure 21. Mousse de carbone

2.4- Les mousses utilisées en ameublement

La filière ameublement fait appel aux mousses essentiellement dans les applications suivantes :

- La literie ;
- Les sièges rembourrés (canapés, fauteuils, clic-clac, BZ...).

Dans une moindre mesure, des mousses peuvent être retrouvées dans des produits tels que des sièges comprenant une assise légèrement rembourrée, ainsi que dans les sommiers. Cette étude se focalise sur les deux principaux gisements que représentent les matelas et les sièges dits rembourrés.

Les caractéristiques recherchées sont:

- Confort ;
- Durabilité (faible perte de hauteur, ...);
- Sécurité (comportement au feu).

Les fabricants de mousse PU obtiennent du polyuréthane en faisant réagir des polyols et des diisocyanates, tous deux issus de la pétrochimie, en présence de catalyseurs et d'additifs appropriés.

Le polyuréthane peut se présenter sous forme solide ou flexible, chaque forme de polyuréthane présentant des applications diverses. Dans le cas de l'ameublement, on retrouve aussi bien la forme flexible que solide, la forme solide étant réservée aux assises de canapés.

Particularité de cette mousse, sa production est généralement localisée proche de ses marchés pour éviter le transport de faibles poids mais de grands volumes sur de longues distances.

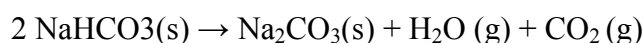
2.5- La caramélisation

Technique qui consiste à polymériser le sucre contenu dans un aliment, de sorte qu'il acquiert une couleur brune et un goût de noix, sans qu'il soit brûlé ni carbonisé.

Figure 19. Températures de caramélisation

Sucre	Fructose	Galactose	Glucose	Maltose	Saccharose
Température (°C)	110 °C	160 °C	160 °C	180 °C	160 °c

bicarbonate de sodium NaHCO_3 . Le bicarbonate de sodium est biodégradable et n'est toxique ni pour l'environnement ni pour la santé. Le bicarbonate de sodium perd du dioxyde de carbone à 50°C et est converti en carbonate de sodium à 100°C suivant la transformation:



2.6- Mousse de saccharose et bicarbonate de sodium

On prend 25g de saccharose pour 0.5 g de bicarbonate de sodium. Dans un récipient on met le saccharose, on le fait chauffer jusqu'à son point d'ébullition, il va passer en phase liquide, puis il sera polymérisé lorsque la couleur vira au brun (*il se caramélisera = molécules qui ce polymérise*). Pour que le liquide devienne mousse, on ajoute un agent moussant, ici le bicarbonate de sodium. On aura donc un polymère solide après la polymérisation et le refroidissement du mélange.

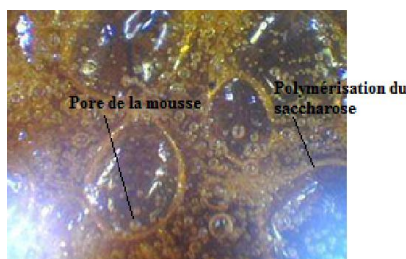


Figure 20. Mousse de saccharose