

Matériaux dérivés du bois

par **Daniel MASSON**

Docteur ès sciences

Professeur à l'École nationale supérieure des technologies et industries du bois (ENSTIB)

et **Marie-Christine TROUY-TRIBOULOT**

Ingénieur, Docteur de l'université Henri-Poincaré, Nancy I

Diplômée en xylologie fondamentale, Paris VI

Chef de travaux pratiques d'ENSA à l'ENSTIB

| | |
|--|------------|
| 1. Liants | C 928 - 2 |
| 1.1 Liants organiques | — 2 |
| 1.1.1 Adhésifs thermodurcissables | — 2 |
| 1.1.2 Adhésifs thermoplastiques | — 3 |
| 1.1.3 Colles d'origine naturelle | — 4 |
| 1.1.4 Classification des adhésifs | — 4 |
| 1.1.5 Classification des collages | — 5 |
| 1.2 Liants hydrauliques | — 5 |
| 2. Classification des matériaux en fonction du débit du bois | — 5 |
| 2.1 Matériaux dérivés du bois scié | — 5 |
| 2.1.1 Les lamellés-collés | — 5 |
| 2.1.2 Autres matériaux dérivés du bois scié | — 7 |
| 2.2 Matériaux dérivés du bois tranché ou déroulé | — 7 |
| 2.2.1 Les contreplaqués | — 7 |
| 2.2.2 Les lamibois (ou LVL : <i>Laminated Veneer Lumber</i>) | — 9 |
| 2.2.3 Les déroulés découpés en lamelles longues (ou PSL : <i>Parallel Strand Lumber</i>) | — 9 |
| 2.2.4 Les tranchés découpés en lamelles minces orientées (ou LSL : <i>Laminated Strand Lumber</i>) | — 10 |
| 2.3 Matériaux dérivés du bois broyé ou déchiqueté | — 10 |
| 2.3.1 Les panneaux de particules | — 10 |
| 2.3.2 Les panneaux de lamelles orientées (ou OSB : <i>Oriented Strand Board</i>) | — 11 |
| 2.3.3 Les panneaux de fibres et les panneaux de moyenne densité (ou MDF : <i>Medium Density Fiberboard</i>) | — 12 |
| 2.3.4 Les matériaux à liants hydrauliques | — 14 |
| 3. Classification des matériaux en fonction de leur utilisation | — 14 |
| 3.1 Panneaux décoratifs et acoustiques | — 14 |
| 3.1.1 Les panneaux plaqués bois | — 14 |
| 3.1.2 Les panneaux mélaminés et stratifiés | — 14 |
| 3.1.3 Les panneaux acoustiques | — 15 |
| 3.2 Panneaux ignifugés | — 15 |
| 3.3 Poutres composites en I | — 16 |
| 4. Aspect environnemental | — 16 |
| 5. Recherche, développement et perspectives | — 17 |
| Pour en savoir plus | Doc. C 928 |

De tout temps les hommes ont cherché à assembler des éléments de bois pour réaliser des meubles ou des instruments de musique par exemple, mais le développement industriel de matériaux dérivés du bois remonte à la fin du XIX^e siècle avec l'apparition du contreplaqué. L'objectif initial de la mise au point de ce produit était l'obtention d'éléments de grande dimension, en faible épaisseur et présentant des propriétés plus homogènes que le bois. Ce besoin existe toujours mais d'autres demandes sont apparues conduisant à l'apparition de nouveaux matériaux tout au long du XX^e siècle : faible coût (panneaux de particules), usinabilité (MDF), caractéristiques techniques améliorées par rapport au bois (lamellé-collé, LVL...), résistance de surface (stratifiés), propriétés esthétiques (papiers décors).

Les matériaux dérivés du bois ont pris une importance considérable dans tous les domaines de la filière bois. Ils sont incontournables en construction où ils permettent des réalisations que n'autorise pas le bois massif (grandes portées, formes courbes, légèreté...). L'utilisation d'éléments collés contribue à l'amélioration des propriétés des menuiseries industrielles en bois (stabilité dimensionnelle) et à une diminution des coûts. Les panneaux sont à la base d'une industrie de l'ameublement qui s'est considérablement démocratisée. En amont, l'industrie du panneau de particules offre un débouché économiquement indispensable pour les sous-produits de scierie. Enfin, tous les matériaux reconstitués à base de bois contribuent à une exploitation plus rationnelle de la ressource forestière en donnant des débouchés aux bois de petites dimensions et/ou de faible qualité.

1. Liants

1.1 Liants organiques

On classe les adhésifs pour le matériau bois en trois grandes catégories : les **thermodurcissables**, les **thermoplastiques** et les **colles d'origine naturelle** (la norme NF EN 923 récapitule l'ensemble des termes et définitions relatifs aux adhésifs).

Nota : un récapitulatif des normes se trouve en [Doc. C 928].

1.1.1 Adhésifs thermodurcissables

Ils sont constitués à l'état liquide de précondensats, prépolymères ayant une fonctionnalité d'au moins trois. Sous l'action de la chaleur et de la pression, des réactions de polycondensation interviennent entre les prépolymères et il y a formation d'un réseau tridimensionnel qui, dans le cas d'une réaction idéale totale, est une unique macromolécule géante.

Les propriétés mécaniques d'un joint de colle dépendant directement de la masse moléculaire de l'adhésif polymérisé, la structure réticulée des thermodurcissables explique leur résistance et leur utilisation quand on cherche à réaliser des collages dits structuraux. La force de cohésion de ces résines dépasse la force cohésive du bois.

Les résines prépolymérisées d'adhésif ont une polarité suffisante et une viscosité assez basse pour pénétrer dans les micropores du bois et donner un ancrage mécanique au début du processus d'adhésion. Les groupes polaires de ces résines sont capables de former des liaisons hydrogène fortes avec les groupes hydroxydes du bois et dans le cas des résines isocyanates des liaisons chimiques peuvent se former avec les groupes fonctionnels du bois.

La résistance à l'eau des résines varie considérablement et est corrélée à leur structure chimique. Elle conditionne leurs appli-

cations en intérieur ou en extérieur et, d'une manière générale, on peut dire que les résines à base de phénols (phénoplastes) sont plus durables que les résines à base d'urée (aminoplastes).

■ Adhésifs phénol-formaldéhyde

Les résines phénoliques (PF) sont constituées de prépolymères à bas poids moléculaire formés à partir de phénol et de formaldéhyde. La polymérisation est contrôlée par le pH auquel elle est réalisée. L'autre facteur important est le rapport molaire du phénol au formaldéhyde. Un large choix d'adhésifs peut être obtenu en choisissant différents phénols, en modifiant les conditions de température et de temps de prépolymérisation et en adaptant les catalyseurs.

Les **résols** sont des résines phénoliques produites dans des conditions basiques avec un excès de formaldéhyde par rapport au phénol. Pour le collage des panneaux à base de bois, le rapport formaldéhyde/phénol est de 1,5 à 2,4/1. Le milieu basique (soude) facilite la solubilisation du résol dans l'eau, permet la stabilisation de la colle et accélère la réticulation de la résine lors de la réalisation du collage. Les résines résols préparées commercialement ont une très faible teneur en monomères libres (moins de 0,1 % de phénol ou de formol). La polymérisation d'un résol a lieu directement par chauffage à haute température ($> 120^{\circ}\text{C}$) et elle conduit à la formation d'un joint de colle très résistant à l'eau, à la chaleur et aux produits chimiques. Les résols sont utilisés pour la fabrication des contreplaqués et des panneaux de particules résistants à l'eau et d'OSB (*Oriented Strand Board* : panneaux de lames orientées) destinés à la construction.

Les **novolakes** sont obtenues lorsque la condensation phénol-formaldéhyde a lieu en milieu acide avec un rapport molaire voisin de 1/1. Le prépolymère est séché et réduit en poudre ce qui permet de longues durées de stockage. La mise en œuvre a lieu à haute température après addition de 10 à 15 % d'hexaméthylénététramine qui permet la réticulation. Les novolakes sont peu utilisées sauf pour la fabrication de certains OSB.

■ Adhésifs phénol-résorcinol-formaldéhyde

En substituant une partie du phénol par du résorcinol (diphénol) dans la synthèse d'une résine de type novolaque en solution hydroalcoolique, la colle obtenue (PRF) présente une réactivité plus importante qui permet une réticulation en 16 à 24 heures à température ambiante après addition de 20 % d'un durcisseur constitué pour moitié de paraformaldéhyde et pour moitié de farine de bois. Les colles PRF sont utilisées pour la fabrication de lamellé-collé (aboutage et collage des lames) pour des utilisations en extérieur et pour la réalisation d'éléments de grande dimension ou de forme complexe.

■ Adhésifs tannin-formaldéhyde

Les tannins sont des polyphénols naturels présents dans le bois en plus ou moins grandes quantités (jusqu'à 70 % des extraits de l'écorce de chêne par exemple). Il est possible de remplacer tout ou partie du phénol par des tannins pour obtenir un adhésif présentant d'excellentes propriétés mécaniques et une grande résistance à l'eau. Ces colles à base de tannins sont utilisées industriellement, en Australie, en Afrique du Sud, en Nouvelle-Zélande et au Chili dans la fabrication de lamellé-collé, de panneaux de particules et de panneaux de contreplaqué pour utilisation extérieure. Cette technologie est encore peu adoptée en Europe.

■ Résines urée-formaldéhyde

L'urée réagit avec le formaldéhyde en excès de la même manière que le phénol pour produire la colle UF qui est une solution aqueuse de prépolymères de relativement petite taille, stable pendant plusieurs mois en milieu neutre ou légèrement basique. Lors de la mise en œuvre d'une colle UF, la réticulation se fait en milieu acide et elle conduit à un joint de colle infusible avec une grande résistance mécanique.

Pour un collage à froid, les durcisseurs sont des acides organiques tels que l'acide citrique ou l'acide tartrique.

Le collage à chaud (120 à 200 °C) se fait en utilisant comme durcisseur des sels d'ammonium d'acides forts comme le nitrate ou le sulfate d'ammonium qui libèrent leur acidité plus lentement.

Environ 85 % de la production de résines UF sont utilisés dans le collage du bois. Le coût plus bas, la réticulation plus rapide que celle des PF à la même température et la formation de joints incolores ont favorisé leur utilisation principalement dans l'industrie du panneau de particules, du contreplaqué et du MDF, mais aussi dans la fabrication de lamellé-collé pour utilisation en intérieur.

Les résines UF présentent cependant deux inconvénients :

— elles ne sont pas résistantes à l'humidité. Les adhésifs UF sont donc essentiellement utilisés pour les collages de mobilier et de panneaux pour usage intérieur ;

— de petites quantités de formaldéhyde libre présentes dans la colle peuvent se dégager au moment du pressage et également au cours du temps. Le formaldéhyde a une odeur désagréable, il est irritant pour les yeux et les muqueuses et il peut donner lieu à des réactions allergiques.

La norme NF EN 312-1 définit deux classes de panneaux de particules en fonction de la teneur en formaldéhyde libre mesurée par la méthode dite « au perforateur » (NF EN 120) :

Classe 1 (panneaux E1) : valeur perforateur inférieure ou égale à 8 mg/100 g de panneau

Classe 2 (panneaux E2) : valeur perforateur inférieure ou égale à 30 mg/100 g de panneau

Les valeurs limites sont identiques pour les panneaux OSB (norme NF EN 300) et elles sont de 9 et 40 mg/100 g de panneau pour les panneaux de fibres (norme NF EN 622-1).

La norme NF EN 717 précise les autres méthodes de caractérisation des émissions de formaldéhyde (méthode de la chambre test, méthode dite au bocal et méthode d'analyse des gaz). La méthode de la chambre test est la méthode de référence car elle simule l'émission de formaldéhyde dans un espace de vie et la

spécification est identique pour tous types de panneaux, soit 120 µg par m³ d'air. Les autres méthodes sont plus faciles à mettre en œuvre et lui sont corrélées.

Nota : le terme de « classe » est souvent utilisé. Il est souhaitable, lorsque l'on fait appel à cette notion, de préciser la norme définissant la classification concernée.

■ Résines mélamine-formaldéhyde et mélamine-urée-formaldéhyde

La réaction entre le formaldéhyde et la mélamine conduit à la formation d'une résine mélamine-formaldéhyde (MF) qui présente une excellente tenue à l'eau et qui peut être utilisée comme adhésif pour la fabrication de panneaux de particules et de contreplaqués pour usage en milieu humide ou en extérieur. La mise en œuvre est identique à celle des résines UF (milieu acide et haute température). Le coût élevé de ces résines MF fait que leur principale utilisation est la fabrication de papiers imprégnés pour décors mélaminés et stratifiés collés sur panneaux de particules.

Les résines mélamine-urée-formaldéhyde sont d'un prix moins élevé avec des propriétés légèrement moins bonnes que les résines MF. Les colles MUF sont très largement utilisées dans la fabrication de panneaux de particules, de contreplaqués et de MDF pour usage en milieu humide, mais également de carrelets pour menuiserie et de lamellé-collé. L'émission de formaldéhyde par les panneaux collés avec des résines MUF est bien inférieure à celle des panneaux collés avec des résines UF.

■ Adhésifs à base isocyanate

Les résines isocyanates sont des monomères ou des polymères de MDI (diphénylméthanediiisocyanate) qui polymérisent en présence de l'eau contenue dans le matériau collé. Les résines isocyanates sont utilisées dans la fabrication de panneaux de particules ou d'OSB. La réactivité des isocyanates avec les groupements —OH du bois conduit à des collages d'une grande résistance à l'eau et avec d'excellentes propriétés mécaniques. Un autre avantage est l'absence totale de formaldéhyde ; par contre, les vapeurs de MDI sont irritantes ce qui a amené le développement des isocyanates polymères et également des isocyanates en émulsion dans l'eau.

Quand un diisocyanate réagit sur un diol, on obtient un polyuréthane. Des prépolymères polyuréthanes avec un groupement terminal choisi peuvent être obtenus en utilisant le diol ou le diisocyanate en excès.

Dans les systèmes adhésifs à deux composants, les groupes terminaux réactifs des prépolymères sont utilisés pour augmenter la longueur de chaîne du polymère et permettre la réticulation avec des agents réticulants adaptés. On peut préparer des polyesters et des polyéthers avec des groupements terminaux —OH qui peuvent réagir sur des isocyanates di-ou polyfonctionnels pour réticuler les polymères. Par contre, en présence d'eau, les groupements terminaux isocyanates peuvent réagir sur eux-mêmes sans qu'il y ait besoin d'ajouter un diol. On obtient ainsi un adhésif polyuréthane monocomposant. D'autres polyuréthanes monocomposants comportent un polymère à haut poids moléculaire dissous dans un solvant ou mis en émulsion dans l'eau.

La polarité et l'aptitude à donner des liaisons hydrogène du groupe uréthane donnent aux polyuréthanes une adhésion importante sur une grande variété de surfaces.

1.1.2 Adhésifs thermoplastiques

Les adhésifs thermoplastiques sont fusibles ou sont solubles dans des solvants en raison de la structure essentiellement linéaire de longues chaînes de polymères qui peuvent éventuellement être branchées mais ne sont pas liées chimiquement entre elles. Le haut poids moléculaire et la structure en chaîne longue conduisent à des enchevêtrements uniquement physiques des chaînes entre elles dont résultent les propriétés mécaniques du joint.

■ Adhésifs thermofusibles (*hot-melt*)

Le collage par les adhésifs thermofusibles (*hot-melt*) résulte uniquement d'un processus physique. La colle initialement solide est chauffée au-delà de sa température de fusion, l'état liquide résultant permet l'application sur la surface à coller et le joint final se forme lorsque la colle revient à l'état solide par refroidissement. Comme le refroidissement est rapide et qu'il n'y a ni réaction chimique, ni départ de solvant, il est possible de réaliser des collages à grande cadence. Les principales utilisations des colles *hot-melt* sont le collage de chants dans l'industrie du meuble où elles permettent des vitesses de fabrication élevées et également le jointage de feuilles de placage, où on utilise un fil de *hot-melt* déposé en Z sur les deux feuilles à assembler. Plusieurs résines thermoplastiques sont utilisables pour faire des adhésifs *hot-melt*: polyéthylène, éthylène-vinyl-acétate, polyamide.

■ Émulsions adhésives

Des polymères thermoplastiques à structure linéaire tels que l'éthylène-vinyl-acétate (EVA) et le polyacétate de vinyle (PVAc) peuvent être utilisés comme adhésifs sous forme d'émulsion aqueuse. Une telle émulsion n'est pas un système liquide-liquide mais une dispersion aqueuse de particules de polymère solide. La formation du joint de colle a lieu par agglomération des particules de polymère après départ de l'eau de dispersion. Les colles vinyliques à bois, connues sous le nom de colles blanches, ont un excellent pouvoir adhésif et donnent un joint résistant. Leur facilité et leur rapidité d'application et la formation d'un joint incolore sont également intéressantes. Un autre gros avantage de ces colles est l'utilisation de l'eau comme milieu de dispersion. Cependant la thermoplastique de ces adhésifs interdit leur utilisation pour des usages structuraux. Leur autre inconvénient est leur faible résistance à l'eau. Les colles vinyliques ne sont employées que dans le domaine de l'ameublement et pour les menuiseries intérieures.

Afin d'améliorer les performances mécaniques et surtout la tenue à l'eau des colles vinyliques, des adhésifs dits bicomposants ont été développés. Un durcisseur ajouté au moment de l'emploi (de 5 à 20 % environ) permet de réaliser des liaisons chimiques entre les chaînes de polymères, lors de la mise en œuvre de la colle. Différents types de durcisseurs existent : sels métalliques, résines thermodurcissables, isocyanates. Les propriétés finales sont améliorées en appliquant un chauffage modéré (jusqu'à 120 °C) lors du collage. Les colles vinyliques bicomposants sont utilisées pour la réalisation de menuiseries extérieures ainsi que les aboutages de structures lamellées collées.

■ Colles polychloroprénées

Ces colles, couramment appelées Néoprène, nom commercial donné par Dupont de Nemours au premier produit de ce type, sont préparées à base d'un polymère de chlorobutadiène. On trouve des colles monocomposant ou à durcisseur séparé et ces produits qui étaient classiquement commercialisés en milieu solvant sont de plus en plus souvent conditionnés en émulsion aqueuse. Ces colles font partie du groupe des colles de contact, il est donc indispensable d'encoller préalablement les deux surfaces à assembler, d'observer le délai d'assemblage « ouvert » et de mettre en contact les éléments préencollés. La faible pression nécessaire est souvent réalisée par calandrage, en passant l'assemblage entre deux cylindres, ou en effectuant un pressage à froid durant quelques minutes. En général, une fois les surfaces encollées mises en contact, plus aucun déplacement n'est possible. La principale utilisation de ces adhésifs dans l'industrie du bois est pour le collage de stratifiés sur panneaux de particules.

1.1.3 Colles d'origine naturelle

Un certain nombre d'adhésifs d'origine naturelle sont connus depuis des temps très anciens et ils servaient au collage d'éléments décoratifs (marqueterie), à la fabrication de meubles et à l'assemblage d'instruments de musique. Il s'agissait essentiellement

ment d'amidon, de sang ou de collagène extrait des os, nerfs et peaux des animaux. Plus tardivement les protéines de lait (colles caseïne) et les extraits de peaux de poissons furent employés. Les protéines d'origine végétale (graines de soja) ont été utilisées beaucoup plus récemment.

Si les propriétés mécaniques de ces colles naturelles sont bonnes, la principale difficulté vient de leur faible résistance à l'eau et à l'humidité qui les exclut d'un grand nombre d'emplois.

Actuellement, les **colles d'os** et les **colles de nerfs** (appelées aussi colles fortes) sont utilisées pour des assemblages de meubles, des travaux de placage et en marqueterie où leur réversibilité est un avantage apprécié. La résistance mécanique et la prise rapide de ces colles expliquent leur emploi dans la fabrication de sièges.

Les **colles caseïnes** (phosphoprotéines du lait) sont utilisées à froid dans la construction aéronautique et navale et, en additionnant un antiseptique à la formulation, pour la fabrication de charpentes lamellées collées destinées aux emplois intérieurs. L'emploi des colles caseïnes à chaud est limité à la fabrication de contreplaqués, d'emballages et de fonds de sièges.

1.1.4 Classification des adhésifs

Les normes relatives aux adhésifs concernent essentiellement deux critères :

- la résistance à l'eau (classes de sollicitation et de service) ;
- la résistance au fluege (adhésifs de structure).

■ Adhésifs pour assemblages non structuraux

La norme NF EN 204 (tableau 1) définit **quatre classes de sollicitation** pour les adhésifs destinés à des assemblages non structuraux (menuiserie, ameublement).

Tableau 1 – Classes de sollicitation pour les adhésifs destinés à des assemblages non structuraux
(d'après normes NF EN 204 et 205)

| Classe de sollicitation | Environnement correspondant |
|-------------------------|--|
| D1 | Intérieur où la température n'est qu'exceptionnellement et temporairement supérieure à 50 °C et où l'humidité relative de l'air est inférieure à 15 %. |
| D2 | Intérieur avec contact occasionnel et bref avec de l'eau de condensation et/ou humidité relative de l'air élevée pendant des périodes limitées. |
| D3 | Intérieur avec contact fréquent et bref avec de l'eau de condensation et/ou humidité relative de l'air élevée pendant de longues durées. Extérieur protégé des intempéries. |
| D4 | Intérieur avec contact fréquent et important avec l'eau de condensation. Extérieur exposé aux intempéries (avec finition superficielle adéquate). |

La qualification de l'adhésif résulte d'essais de cisaillement en traction sur éprouvettes en hêtre (norme EN 205) après différentes épreuves adaptées à la classe de sollicitation.

■ Adhésifs utilisables en structure

La norme NF EN 301 classe les adhésifs phénoliques (PF, RF et PRF) et aminoplastes (UF et MUF) en **deux catégories I et II en fonction de leur aptitude à l'emploi dans les différentes conditions climatiques** (tableau 2).

| Tableau 2 – Classement des adhésifs structuraux en fonction de leur aptitude à l'emploi dans différentes conditions climatiques (d'après la norme NF EN 301) | | |
|--|------------------------------|----------------|
| Température | Hygrothermicité | Type d'adhésif |
| > 50 °C | Non précisée | I |
| < 50 °C | > 85 %/20 °C < 85 %/20 °C | |
| | | II |

La qualification des adhésifs s'effectue par des essais de cisaillement et traction sur éprouvettes de hêtres après épreuves de vieillissement (NF EN 302-1) et par des essais de délamination sur poutres lamellées-collées en épicea (NF EN 302-2).

1.1.5 Classification des collages

Les différents matériaux à base de bois sont l'objet de normes classifiant les collages en fonction de l'environnement climatique dans lequel le produit pourra être placé lors de son utilisation. Cet environnement climatique correspond aux trois classes de service définies dans l' Eurocode 5.

Les **bois de structure aboutés** destinés à la charpente font l'objet de la norme NF EN 385 et les éléments en **bois lamellé-collé** doivent correspondre aux prescriptions de la norme NF EN 386.

Dans les deux cas, en fonction de la classe de service et de la température, les adhésifs autorisés sont conformes au type I ou au type II définis dans la norme NF EN 301 (tableau 3).

Tableau 3 – Adhésifs autorisés pour la fabrication d'éléments de structure aboutés et de lamellés-collés en fonction des conditions d'emploi (d'après les normes NF EN 385 et 386)

| | Température | Adhésif |
|---------------------|-------------|---------|
| Classe de service 1 | < 50 °C | Type II |
| | Quelconque | Type I |
| Classe de service 2 | < 50 °C | Type II |
| | Quelconque | Type I |
| Classe de service 3 | Quelconque | Type I |

La norme NF EN 312, parties 1 à 7 définit les exigences appliquées aux **panneaux de particules**. Hormis la teneur en formaldéhyde (partie 1), les propriétés prises en compte en fonction des conditions de leur emploi sèches (classe de service 1) ou humides (classe de service 2) sont la résistance à la traction perpendiculaire aux faces et le gonflement du panneau après immersion dans l'eau.

La classification des **contreplaqués** de la norme NF EN 636 est basée sur la résistance du collage à l'humidité. Des classes de collage numérotées 1, 2 et 3 sont définies en fonction de la résistance au cisaillement (NF EN 314) après des conditionnements correspondants aux classes de service 1, 2 et 3 (voir encadré 1 § 2.3.1).

Les adhésifs ne sont pas directement caractérisés par ces normes relatives aux panneaux, mais ils le sont par les propriétés qu'ils confèrent.

Il en est de même pour les normes NF EN 316, relative aux **panneaux de fibres**, et NF EN 300 relative aux **panneaux OSB**.

1.2 Liants hydrauliques

Les liants hydrauliques sont des produits anhydres dont le durcissement résulte uniquement de leur réaction avec l'eau pour former des composés stables et insolubles.

Le **plâtre** (gypse) et les **ciments** sont des liants hydrauliques qui peuvent être utilisés pour fabriquer des panneaux de particules de bois.

Le gypse est constitué principalement de sulfate de calcium qui cristallise par hydratation.

Les ciments magnésiens sont constitués de sels de magnésium (chlorure et sulfate). Les ciments les plus courants sont les ciments Portland dont le constituant principal est le clinker, mélange de silicates et d'aluminates de calcium synthétiques qui, par hydratation, lors de la prise du ciment, conduisent à des structures cristallines rigides.

Les différentes catégories de ciments sont définies en fonction de leur composition par la norme NF P 15 301.

2. Classification des matériaux en fonction du débit du bois

2.1 Matériaux dérivés du bois scié

2.1.1 Les lamellés-collés

■ Définition

On appelle bois lamellé-collé des pièces massives reconstituées à partir de lames de bois assemblées par collage. Ces lames sont disposées de telle sorte que leurs fils soient parallèles. Généralement, le lamellé-collé a les caractéristiques mécaniques du ou des bois qui le composent. Il est surtout utilisé comme élément de structure, poteau ou poutre. Les poutres lamellées-collées permettent de réaliser des structures de très grandes portées, jusqu'à 100 mètres, voire plus. À cet avantage propre, s'ajoutent tous ceux inhérents au matériau bois (cf. articles [C 925], [C 926], [C 927]) :

— **matériau naturel, renouvelable**, stock de carbone issu du gaz carbonique atmosphérique, matériau à faible coût énergétique et présentant un faible impact environnemental ;

— **matériau léger et résistant** : comparativement, pour une résistance sensiblement équivalente, le bois lamellé-collé est cinq fois plus léger que le béton ;

— **matériau résistant au feu** : la zone carbonisée périphérique joue un rôle protecteur lié à sa faible conductivité thermique. L'élévation de la température ne fait pas chuter les propriétés mécaniques. Pour dimensionner les pièces, il faut seulement tenir compte de la vitesse de transformation du bois en charbon de bois qui est pour le lamellé-collé comme pour le bois massif de 0,5 mm/min pour les essences dures (chêne) à 0,7 mm/min pour les essences tendres (résineux) ;

— **matériau durable** : la connaissance des risques, une conception réfléchie, un choix correct de l'essence et d'un éventuel traitement de préservation permettent d'assurer la pérennité de l'ouvrage.

■ Fabrication et produits disponibles

Le principe du bois lamellé-collé consiste à abouter des planches de résineux (plus rarement de feuillus) de faible épaisseur (moins de 50 mm) par des entures multiples. Les lames ainsi obtenues sont ensuite rabotées, encollées, superposées et maintenues sous



Figure 1 – Lamellé-collé (source : Marie-Christine Trouy-Triboulot, ENSTIB)

pression jusqu'à polymérisation et stabilisation de la colle. On peut obtenir des éléments droits ou courbes. Les sections sont généralement rectangulaires mais on peut disposer de poteaux profilés, permettant de réaliser des formes à 120°, 135° ou 150°, ou de poteaux ronds, tournés après collage sur une machine à commande numérique, et d'éléments de formes variables. Certains fabricants proposent des madriers de chalet en lamellé-collé.

Les adhésifs utilisés sont principalement :

- la colle résorcine formaldéhyde (RF) ;
- la colle phénol résorcine formaldéhyde (RPF) ;
- la colle mélamine urée formaldéhyde (MUF) ;
- la colle urée formaldéhyde (UF) (réservée à un usage intérieur) ;
- la colle polyuréthane (PU).

Un traitement de préservation peut être appliqué avant collage (traitement de classe de risque 3 ou 4 par autoclave vide-pression) ou après collage (traitement de classe de risque 1 ou 2 par aspersion, trempage court ou badigeonnage) (cf. article [C 926], tableau 3).

Les assemblages sont nombreux. On peut utiliser :

- les assemblages bois sur bois de la charpente traditionnelle : tenon-mortaise, embrèvement, entaille, assemblage à mi-bois ;
- les assemblages par organes métalliques (figure 1) : pointes, clous, vis, tire-fonds, boulons, broches, connecteurs, boîtiers et plats métalliques ;
- les assemblages collés et métallo-collés.

Il est indispensable de soigner la réalisation des assemblages pour éviter que le bois ne se trouve à une humidité forte pendant un temps long.

Le choix des essences

La norme NF EN 335 définit **cinq classes de risque en fonction du risque d'humidification** du bois en service :

Classe 1 : humidité du bois toujours inférieure à 20 %

Classe 2 : humidité du bois occasionnellement supérieure à 20 %

Classe 3 : humidité du bois fréquemment supérieure à 20 %

Classe 4 : humidité du bois supérieure à 20 %

Classe 5 : bois au contact de l'eau de mer

Le risque d'attaque par les insectes coléoptères à larve xylophages existe dans toutes les classes de risque. Le risque termite existe dans toutes les classes de risque dans les régions termitées.

Le risque d'attaque par des champignons n'existe pas dans la classe 1, et augmente ensuite jusqu'aux classes 4 et 5 qui présentent un risque important. La classe 5 est concernée par un risque supplémentaire, celui de l'attaque du bois par des térébrants marins (certains mollusques et certains crustacés).

Certains bois présentent une durabilité naturelle suffisante pour pouvoir être utilisés sans traitement. La durabilité naturelle ne concerne que le duramen des essences à aubier différencié (cf. [C 925]), l'aubier n'étant jamais durable. Les essences à aubier non différencié, appelées « bois blancs » (épicéa, sapin) ne sont pas durables dans tout leur volume. Le tableau 4 donne quelques exemples d'essences pouvant être utilisées sans traitement dans les classes de risque 3 et 4 (sans aubier).

Tableau 4 – Essences à aubier différencié utilisables sans traitement en classe de risque 3 ou 4 pour des structures lamellées-collées, en France métropolitaine

| Bois purgé d'aubier | Durée de vie prévue pour l'ouvrage | | | Durable vis-à-vis des termites |
|---------------------|------------------------------------|----------------|--------------------|--------------------------------|
| | Classe de risque 3 | | Classe de risque 4 | |
| | Jusqu'à 50 ans | Plus de 50 ans | Jusqu'à 30-40 ans | |
| Épicéa | non | non | non | non |
| Sapin | non | non | non | non |
| Douglas | oui | non | non | non |
| Mélèze | oui | non | non | non |
| Pin maritime | oui | non | non | non |
| Pin sylvestre | oui | non | non | non |
| Western Red Cedar | oui | oui | non | non |
| Chêne | oui | oui | non | moyennement |
| Châtaignier | oui | oui | non | moyennement |
| Robinier | oui | oui | oui | oui |
| Iroko | oui | non | non | oui |

Les essences présentant une durabilité insuffisante peuvent être utilisées avec traitement jusqu'à la classe de risque 3 (avec une réserve concernant l'épicéa et le sapin qui, avec traitement, ne permettent bien souvent que d'atteindre la classe de risque 2). Pour la classe de risque 4, on utilisera des bois facilement imprégnables comme les pins.

Classification, qualification et certification

La norme NF EN 1194 définit pour le lamellé-collé résineux plusieurs classes de résistance et donne les résistances caractéristiques, rigidités et masses volumiques pour chacune des classes. On distingue le lamellé-collé homogène constitué de lamelles appartenant à la même classe de résistance ou à la même essence, et le lamellé-collé panaché constitué de lamelles appartenant à des classes différentes ou à des essences différentes. Les classes sont désignées par les deux lettres GL (pour Glulam) suivies de la valeur de la résistance en flexion exprimée en N/mm². La minuscule h ou c indique si le lamellé-collé est homogène ou panaché (combiné). Le tableau 5 donne les caractéristiques des différentes classes.

Tableau 5 – Caractéristiques des différentes classes de résistance du bois lamellé-collé

| | Lamellé-collé homogène | | | | Lamellé-collé panaché | | | |
|--|------------------------|-------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|
| | GL24h | GL28h | GL32h | GL36h | GL24c | GL28c | GL32c | GL36c |
| Classe de résistance du lamellé-collé ... | GL24h | GL28h | GL32h | GL36h | GL24c | GL28c | GL32c | GL36c |
| Résistance en flexion (N/mm ²) | 24 | 28 | 32 | 36 | 24 | 28 | 32 | 36 |
| Masse volumique (kg/m ³) | 380 | 410 | 430 | 450 | 350 | 380 | 410 | 430 |

**Figure 2 – Élément de salle de bain en bois panneaué**

(source : Marie-Christine Trouy-Triboulot, ENSTIB)

La qualification professionnelle nationale est attribuée par l'Organisme certificateur professionnel de qualification et de certification du bâtiment (Qualibat). Les qualifications Qualibat Charpente Bois lamellé-collé sont les suivantes :

- 2331 : portées jusqu'à 25 m (technicité courante)
- 2332 : portées jusqu'à 40 m (technicité confirmée)
- 2333 : portées jusqu'à 60 m (technicité supérieure)
- 2334 : portées supérieures à 60 m (technicité exceptionnelle)

La qualification Qualibat Charpente Bois 231 concerne les entreprises de charpente traditionnelle, qui peuvent sous certaines conditions réaliser des ouvrages complets en bois lamellé-collé.

L'association Acerbois Glulam est un organisme certificateur indépendant. La certification Acerbois Glulam définit des classes d'utilisation :

- la classe d'utilisation I (intérieur) comporte deux « sous-classes », I1 et I2, correspondant aux classes de risque 1 et 2 de la norme NF EN 335 ;

- la classe d'utilisation H (humide) comporte deux « sous-classes », H3 et H4, correspondant aux classes de risque 3 et 4 de la norme NF EN 335.

**Figure 3 – Menuiserie en carrelet lamellé-collé abouté** (source : CNDB)

2.1.2 Autres matériaux dérivés du bois scié

■ Les contrecolles

Les bois massifs contrecolles sont obtenus par association par collage à plat de deux ou plusieurs lames de bois massif dont les épaisseurs et sections unitaires ne sont pas réglementées par la norme NF EN 386 relative aux prescriptions de fabrication du lamellé-collé.

■ Les panneaués

Les panneaués ou panneaux en lamellé-collé sont notamment utilisés pour la réalisation de meubles ou de plans de cuisine (figure 2). Les panneaux existent en différentes épaisseurs et en différentes essences (épicéa, hêtre, chêne, frêne, érable...), parfois mélangées pour obtenir des effets décoratifs.

Les panneaux multiplis, ou panneaux contrecolles 3 et 5 plis, sont le fruit à la fois des techniques du lamellé-collé et du contreplaqué car ils sont constitués de plusieurs couches panneauées et les lames de bois massif sont à fil croisé d'une couche à l'autre. Disponibles en épicéa, douglas ou mélèze, ils sont surtout intéressants en menuiserie, agencement et ameublement mais aussi en bardage extérieur.

■ Les carrelets lamellés-collés aboutés

Les carrelets lamellés-collés aboutés sont essentiellement utilisés en menuiserie (figure 3), où ils se substituent peu à peu au



Figure 4 – Contreplaqué mis en œuvre
(source : Marie-Christine Trouy-Triboulot, ENSTIB)

bois massif acheté en plot. Ils permettent des rendements matière proches de 100 % et un approvisionnement en flux tendu. Les essences utilisées sont le chêne et le pin. Certains bois tropicaux asiatiques sont importés sous forme de carrelets (méranti, lauan).

2.2 Matériaux dérivés du bois tranché ou déroulé

2.2.1 Les contreplaqués

Définition

La norme NF EN 313-2 « Contreplaqué : Classification et terminologie » définit le contreplaqué comme un panneau à base de bois obtenu par collage de couches adjacentes à fils croisés habituellement à angle droit. Les couches (plis) sont le plus souvent des feuilles de bois obtenues par déroulage, d'environ 3 à 4 mm d'épaisseur. Le contreplaqué est généralement équilibré, ce qui signifie que les couches sont symétriques par rapport à la couche centrale, en ce qui concerne l'épaisseur, le sens du fil et l'essence.

Il peut dans certains cas comporter une âme (contreplaqué à âme), par exemple constituée par des lattes de bois massif de largeur comprise entre 7 et 30 mm, collées ou non entre elles (contreplaqué latté), ou par des lamelles de placage déroulé de 7 mm d'épaisseur au plus, disposées sur chant, toutes ou la plupart étant collées entre elles (contreplaqué lamellé). L'âme peut également contenir des matériaux autres que du bois (contreplaqué composite).

Le contreplaqué peut être plan ou moulé, obtenu par pressage sur une forme.

Le contreplaqué est un matériau homogène, léger, facile à mettre en œuvre (figure 4). Il a des performances mécaniques élevées et résiste bien au fluage, aux chocs et aux vibrations. Sa stabilité dimensionnelle est meilleure que celle du bois massif.

Fabrication et produits disponibles

La fabrication du contreplaqué comporte les étapes suivantes :

- étuvage à la vapeur des grumes pour faciliter le déroulage ;
- déroulage des grumes permettant de dérouler un ruban continu de bois de 1 à 3 m de largeur ;

- massicotage des feuilles pour les amener à la taille souhaitée et éliminer les défauts ;
- séchage des feuilles ;
- encollage ;
- composition du panneau : 3, 5, 7 plis ou plus ;
- pressage à une pression de 1,2 à 1,5 MPa pendant 5 à 10 min et une température qui dépend de la nature de la colle et de l'épaisseur du panneau ;
- équarrissage, finition et contrôle.

Les dimensions des presses et les possibilités des scies commandées par ordinateur sont telles qu'il est difficile aujourd'hui de parler de dimensions standards. L'épaisseur varie généralement de 1,8 mm (panneaux cintrables) à 40 mm.

Le choix des essences

Les essences les plus utilisées pour la fabrication sont le pin, le hêtre, le peuplier, le bouleau, l'ozigo et l'okoumé. Les plis extérieurs sont souvent composés d'une essence de bois plus noble ou d'une meilleure qualité. La durabilité du contreplaqué vis-à-vis des agents biologiques de dégradation dépend de la durabilité des essences employées mais aussi de la colle qui peut contenir des biocides, pénétrer plus ou moins dans les plis, ou agir comme barrière aux insectes lignivores et à leurs larves traversant les plis.

Classification, qualification et certification

Il existe deux classifications, une selon le domaine d'utilisation et une selon l'aspect des plis extérieurs.

Classification en fonction du domaine d'utilisation

Les normes NF EN 636-1, NF EN 636-2 et NF EN 636-3 fixent les exigences de base des panneaux contreplaqués utilisés respectivement en milieu sec, humide et extérieur, autrement dit dans les classes de risque 1, 2 et 3 définies par l'EN 335-3 (voir § 2.1.1). Les exigences concernent :

- les tolérances dimensionnelles ;
- la qualité du collage ;
- la durabilité biologique ;
- les caractéristiques mécaniques ;
- le dégagement de formaldéhyde.

Le tableau 6 résume les domaines d'application de ces normes.

Tableau 6 – Domaines d'utilisation des panneaux contreplaqués et normes correspondantes

| Norme fixant les exigences | Domaine d'utilisation du contreplaqué | Exemple |
|----------------------------|---------------------------------------|---|
| NF EN 636-1 | Milieu sec (classe de risque 1) | Emplois intérieurs : parties de meubles |
| NF EN 636-2 | Milieu humide (classe de risque 2) | Emplois extérieurs protégés : derrière un bardage ou sous des éléments de toiture |
| NF EN 636-3 | Milieu extérieur (classe de risque 3) | Emplois extérieurs non protégés : humidité du matériau souvent supérieure à 20 % |

La norme Eurocode 5 (ENV 1995-1-1) recommande d'employer le contreplaqué conforme à EN 636-1 seulement en classe de service 1, le contreplaqué conforme à EN 636-2 seulement en classe de service 1 ou 2, le contreplaqué conforme à EN 636-3 en classe de service 1, 2 ou 3 (voir définition des classes de service en encadré 1). Des coefficients permettant de prendre en compte le fluage sont donnés pour ces types de panneaux en fonction de la classe de service et de la durée de charge.

● Classification selon l'aspect des faces

Les normes NF EN 635-1 (Généralités), NF EN 635-2 (Bois feuillés) et NF EN 635-3 (Bois résineux) concernent la classification selon l'aspect des faces. On distingue cinq classes d'aspect identifiées selon les codes suivants : E, I, II, III, IV ; la classe E correspond à une quasi-absence de défauts ou singularités.

● Certification

Le CTBA (Centre technique du bois et de l'ameublement) a été mandaté par Afnor Certification pour l'attribution des marques de qualité NF Extérieur CTB-X et NF Coffrage CTB-C pour les panneaux contreplaqués résistant à l'eau, à des humidités élevées et aux intempéries. Ils répondent notamment aux exigences de la norme NF EN 636-3. Les caractéristiques certifiées sont :

- durabilité et qualité des essences utilisées ;
- qualité du collage après immersion dans l'eau froide et dans l'eau bouillante ;
- qualité des faces et des plis intérieurs ;
- module d'élasticité ;
- tolérances sur l'épaisseur.

2.2.2 Les lamibois (ou LVL : *Laminated Veneer Lumber*)

■ Définition

Le lamibois est un lamellé-collé de placages de bois déroulés, collés à fils parallèles. C'est une solution intéressante pour promouvoir l'utilisation des bois de faibles diamètres, le procédé de fabrication permettant de convertir environ 75 % de l'arbre en éléments de structure. On utilise généralement l'épicéa et une colle phénolformaldéhyde.

Les caractéristiques mécaniques du lamibois sont supérieures à celles du bois massif et du lamellé-collé classique. Il est stable dimensionnellement aux variations de température et d'humidité.

Les éléments en lamibois sont utilisés dans les structures neuves (charpentes et ossatures, portiques, poutres porteuses, pannes, solives, chevrons, poteaux...) en réhabilitation et réparation (transformations de combles, renforcements...).

■ Fabrication et produits disponibles

Le procédé de fabrication est le suivant :

- déroulage des placages de 1 à 12 mm d'épaisseur ;
- séchage dans un tunnel à air chaud ou sous presse ;
- jointage en biseau (scarfage) et encollage ;
- prépressage et pressage sous presse haute fréquence (60 à 180 °C).

Dimensions courantes :

- épaisseur : 27 à 75 mm ;
- largeur : jusqu'à 1,8 m ;
- longueur : jusqu'à 23 m.

Le fabricant américain Trus Joist™ propose ce produit sous l'appellation Microllam® LVL et le fabricant finlandais Finnforest sous le nom de Kerto. On distingue le Kerto-S où les plis sont tous parallèles et le Kerto-Q dans lequel 20 % des plis sont disposés transversalement et qui présente de ce fait une meilleure stabilité dimensionnelle et une résistance légèrement inférieure.

Trus Joist™ produit des poutres en I, les poutres TJI®, constituées de deux membrures continues en Microllam® LVL et une âme en OSB et dont la longueur peut atteindre 20 m (figure 5) (c'est d'ailleurs la seule utilisation du Microllam® LVL en Europe).

2.2.3 Les déroulés découpés en lamelles longues (ou PSL : *Parallel Strand Lumber*)

■ Définition

Généralement utilisé sous forme de poutre, le PSL est formé de lamelles longues et étroites assemblées parallèlement avec une



Figure 5 – Poutre en « I » TJI® constituée de deux membrures en lamibois et une âme en OSB (source : Trus Joist™)

résine phénolique. Stable dimensionnellement, il présente d'excellentes propriétés mécaniques. Il est surtout utilisé pour les éléments porteurs (poutres maîtresses, poteaux, pannes, linteaux...).

■ Fabrication et produits disponibles

Le procédé de fabrication utilise des produits du déroulage. Il est continu : les lamelles sont assemblées et subissent une compression dans une filière associée à un faisceau micro-ondes pour réticuler la colle. Des sections importantes peuvent être obtenues (jusqu'à 285 × 480 mm).

Dimensions courantes :

- largeur : 45 à 178 mm ;
- hauteur : jusqu'à 457 mm ;
- longueur : jusqu'à 20 m.

Le fabricant américain Trus Joist™ propose ce produit sous l'appellation Parallam® PSL (figure 6).



Figure 6 – Le Parallam® PSL : dérivé de bois déroulé découpé en lamelles longues (ou PSL : Parallel Strand Lumber) (source : Trus Joist™)



Figure 7 – Le TimberStrand™ LSL : dérivé de bois découpés en lamelles minces orientées (ou LSL : Laminated Strand Lumber)
(source : Trus Joist™)

2.2.4 Les tranchés découpés en lamelles minces orientées (ou LSL : Laminated Strand Lumber)

■ Définition

Les panneaux LSL sont fabriqués à partir de grands copeaux minces parallèles, collés, orientés suivant la longueur du panneau. Les panneaux sont débités longitudinalement afin d'obtenir des sections standards. Les propriétés mécaniques sont élevées. Le LSL est utilisé comme planches de rives, poutres ou linteaux de moyenne portée.

■ Fabrication et produits disponibles

Le bois utilisé est le peuplier tremble et le tulipier de Virginie. Il est tranché en fines lamelles d'environ $3 \times 30 \times 300$ mm, qui sont ensuite séchées, encollées avec une colle de type isocyanate et pressées avec injection de vapeur.

Dimensions courantes :

- épaisseur : jusqu'à 89 mm ;
- largeur : 2,44 m ;
- longueur : jusqu'à 14,63 m.

Le fabricant américain Trus Joist™ propose ce produit sous l'appellation TimberStrand™ LSL (anciennement Intrallam® LSL) (figure 7).

2.3 Matériaux dérivés du bois broyé ou déchiqueté

2.3.1 Les panneaux de particules

■ Définition

Le panneau de particules est un matériau en plaque, fabriqué sous pression, essentiellement à partir de particules de bois et/ou d'autres matières fibreuses lignocellulosiques (lin, bagasse, chanvre...) avec apport de liant organique (résine thermodurcissable).

■ Fabrication et produits disponibles

Le procédé de fabrication est le suivant :



Figure 8 – Panneaux de particules mélaminés
(source : Marie-Christine Trouy-Triboulot, ENSTIB)

- fragmentation du bois en particules à l'aide de coupeuses ou de broyeurs à marteaux (les résineux et les feuillus sont utilisés, seuls ou en mélange) ;
- séchage des particules jusqu'à une humidité inférieure à 4 % ;
- tri des particules selon la taille ;
- encollage des particules dans une encolleuse à turbine avec colle urée-formol (UF) ou mélamine-urée-formol (MUF) ;
- conformation mécanique ou pneumatique du mat (panneau avant pressage) : dans un panneau standard trois couches, les particules les plus fines sont réparties sur les faces et les particules les plus grosses sont au centre du panneau ;
- pressage sur des presses monoétages, multiétages ou continues (180 secondes en presse monoétage pour une température de 140 à 165 °C et une pression de 1,3 à 3,4 MPa) ;
- sciage, stabilisation et ponçage.

L'orientation aléatoire des particules donne au panneau des propriétés identiques dans le sens de la longueur et de la largeur. Les propriétés mécaniques sont inférieures à celles du contreplaqué. Il peut être revêtu, notamment surfacé mélaminé (figure 8).

Dimensions commerciales courantes :

- épaisseurs : 6 à 70 mm ;
- largeur : jusqu'à 2 m ;
- longueur : jusqu'à 4 m.

De plus grandes dimensions peuvent être obtenues directement auprès des fournisseurs.

■ Classification, qualification et certification

La norme NF EN 309 concerne la classification des panneaux de particules. Ils sont classés notamment en fonction :

- du milieu auquel ils sont destinés : sec ou humide ;
- de l'usage qui en sera fait : général ou travaillant ;
- des spécificités particulières : panneaux hautement travaillant, panneaux avec résistance améliorée vis-à-vis des attaques biologiques, panneaux ignifugés, panneaux pour isolation acoustique...

La série de normes NF EN 312 (partie 1 à partie 7) définit les valeurs des exigences à respecter selon la classification du panneau. Les exigences générales pour tous les panneaux de particules concernent :

- les tolérances sur dimensions nominales ;
- la tolérance de rectitude des bords ;
- la tolérance d'équerrage ;
- la teneur en humidité ;

- la tolérance sur la masse volumique moyenne à l'intérieur d'un panneau ;
- le potentiel en formaldéhyde (valeur au perforateur) ;

Ces normes donnent également les caractéristiques mécaniques et le gonflement pour panneaux pour usage général en milieu sec (EN 312-2), pour panneaux pour agencements intérieurs (y compris les meubles) en milieu sec (EN 312-3), pour panneaux travaillants utilisés en milieu sec (EN 312-4) ou humide (EN 312-5) et pour les panneaux travaillants sous contrainte élevée utilisés en milieu sec (EN 312-6) ou humide (EN 312-7).

La norme Eurocode 5 (ENV 1995-1-1) recommande d'employer les panneaux de particules conformes à EN 312-4 ou -6 seulement en classe de service 1 et les panneaux de particules conformes à EN 312-5 et -7 seulement en classe de service 1 ou 2 (voir définition des classes de service en encadré 1). Des coefficients permettant de prendre en compte le flUAGE sont donnés pour ces types de panneaux en fonction de la classe de service et de la durée de charge.

Encadré 1 – Les classes de service définies par l'Eurocode 5

La norme ENV 1995-1-1 Eurocode 5 « Calcul des structures en bois – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments » constitue une base générale pour la conception et le calcul des bâtiments et des ouvrages de génie civil, en totalité ou en partie, pour la construction des ouvrages en bois. L'Eurocode 5 définit les exigences de résistance, d'aptitude au service et de durabilité des structures. Il contient des règles détaillées qui s'appliquent, principalement, aux bâtiments courants.

Le système des classes de service est principalement destiné à attribuer des valeurs de résistance et à calculer des déformations en fonction des conditions d'environnement définies.

Les structures doivent être assignées à l'une des classes de service citées ci-après :

Classe de service 1 : cette classe de service est caractérisée par une teneur en humidité dans les matériaux, qui correspond à une température de 20 °C et une humidité relative ambiante ne dépassant 65 % que quelques semaines par an. Pour la plupart des bois résineux, la classe de service 1 correspond à une humidité moyenne d'équilibre inférieure ou égale à 12 %.

Classe de service 2 : cette classe de service est caractérisée par une teneur en humidité dans les matériaux, qui correspond à une température de 20 °C et une humidité relative ambiante ne dépassant 85 % que quelques semaines par an. Pour la plupart des bois résineux, la classe de service 2 correspond à une humidité moyenne d'équilibre inférieure ou égale à 20 %.

Classe de service 3 : cette classe de service est caractérisée par des conditions climatiques conduisant à des taux d'humidité plus élevés qu'en classe de service 2. Les structures abritées ne pourraient être considérés en classe 3 que dans les cas exceptionnels.

Deux certifications sont délivrées par le CTBA (Centre technique du bois et de l'ameublement) : la marque de qualité CTB-S pour les panneaux de particules pour emploi en milieu sec et la marque de qualité CTB-H pour les panneaux de particules pour emplois avec risque d'humidification temporaire. Les caractéristiques certifiées sont les suivantes :

- tolérances dimensionnelles ;
- humidité ;
- tolérance sur la masse volumique ;
- gonflement en épaisseur après immersion dans l'eau ;
- traction perpendiculaire aux faces ;
- contrainte de rupture en flexion et module d'élasticité ;

- arrachement de vis en parement (seulement pour les panneaux CTB-S) ;
- teneur en formaldéhyde.

Les principaux documents de référence pour ces deux certifications sont la norme NF B 54-111 « Panneaux de particules pour usage en milieu sec – Spécifications » pour la marque CTB-S et la norme NF B 54-112 « Panneaux de particules pour usage présentant des risques d'exposition temporaire à l'humidité – Spécifications » pour la marque CTB-H.

Le nom de la marque et le numéro d'identification de l'usine productrice sont apposés à l'encre bleue pour CTB-S et verte pour CTB-H, sur une face ou sur le chant des panneaux.

Une habitude non normalisée consiste à teinter la colle des panneaux CTB-H en vert. De la même façon, les panneaux de particules ignifugés sont colorés dans la masse en rouge.

■ Les panneaux extrudés

Ce procédé est très économique mais est peu employé. Les panneaux produits ont une faible résistance en flexion et sont extrêmement sensibles aux variations d'humidité avec comme conséquence d'importantes variations dimensionnelles. Ce phénomène est dû principalement à une orientation préférentielle des particules perpendiculaire aux faces. Pour cette raison, ces panneaux sont le plus souvent revêtus d'un placage d'une épaisseur de 1 mm pour compenser au moins partiellement l'affaiblissement résultant de l'orientation des particules. Cette technique permet la fabrication de panneaux légers par la présence de vides cylindriques obtenus lors du pressage par l'insertion de tubes parallèlement aux plateaux chauffants. Ce type de panneaux avec une épaisseur maximum de 30 à 40 mm est en particulier utilisé en construction pour la réalisation de garnitures de murs.

2.3.2 Les panneaux de lamelles orientées (ou OSB : *Oriented Strand Board*)

■ Définition

La norme NF EN 300 définit et classe les panneaux de particules OSB (panneaux en lamelles minces longues et orientées) et en prescrit les exigences. L'OSB est un panneau en plusieurs couches constituées de lamelles de bois, de forme et d'épaisseur déterminées avec addition de liant. Les lamelles des couches extérieures sont alignées et disposées parallèlement à la longueur ou à la largeur du panneau. Les lamelles de la ou des couches intérieures peuvent être orientées aléatoirement ou alignées, généralement perpendiculairement à la direction des lamelles des couches extérieures.

L'OSB est à différencier du *waferboard*, dans lequel les lamelles ne sont pas orientées.

L'OSB a des propriétés mécaniques supérieures à celles du panneau de particules et proches de celles du contreplaqué. Le mode de fabrication lui confère cohésion, stabilité, planéité et une bonne résistance à l'humidité. Le comportement en flexion et les variations dimensionnelles sont différents suivant que la direction considérée est parallèle ou perpendiculaire au fil du bois des lamelles externes.

Alliant esthétique et fonctionnalité, il est utilisé en structure, en aménagement intérieur (figure 9) et en ameublement.

■ Fabrication et produits disponibles

Le procédé de fabrication est sensiblement identique à celui des panneaux de particules :

- découpe des lamelles à l'aide d'une coupeuse (on utilise généralement du bois de résineux) ;
- séchage ;
- encollage ;
- pressage en continu ou discontinu à une température comprise entre 177 et 204 °C pendant 3 à 5 min.



Figure 9 – OSB mis en œuvre (source : Marie-Christine Trouy-Triboulot, ENSTIB)

Dimensions courantes :

- épaisseur : 6 à 22 mm ;
- largeur : 1,20 à 2,50 m ;
- longueur : 2,50 à 5,00 m.

■ Classification, qualification et certification

La norme NF EN 300 définit quatre types de panneau :

- OSB/1 : panneaux pour usage général et panneaux pour agencements intérieurs (y compris les meubles)
- OSB/2 : panneaux travaillants utilisés en milieu sec
- OSB/3 : panneaux travaillants utilisés en milieu humide
- OSB/4 : panneaux travaillants sous contrainte élevée utilisés en milieu humide

Les exigences générales pour tous types d'OSB concernent les mêmes caractéristiques que celles citées précédemment pour les panneaux de particules. Cette norme donne également les exigences pour les caractéristiques mécaniques (dans le sens longitudinal et dans le sens transversal) et le gonflement des différents types d'OSB définis plus haut.

La norme Eurocode 5 (ENV 1995-1-1) recommande d'employer les panneaux OSB-2 seulement en classe de service 1 et les panneaux OSB-3 et -4 seulement en classe de service 1 ou 2 (voir définition des classes de service en encadré 1). Des coefficients permettant de prendre en compte le flUAGE sont donnés pour ces types de panneaux en fonction de la classe de service et de la durée de charge.

2.3.3 Les panneaux de fibres et les panneaux de moyenne densité (ou MDF : *Medium Density Fiberboard*)

■ Définition

La norme NF EN 316 « Panneaux de fibres de bois – Définition, classification et symboles » définit ce matériau comme un matériau en plaque d'une épaisseur nominale égale ou supérieure à 1,5 mm obtenu à partir de fibres lignocellulosiques avec application de chaleur et/ou de pression. La cohésion provient soit du futerage de ces fibres et de leurs propriétés adhésives intrinsèques, soit de l'addition aux fibres d'un liant synthétique. Dans le premier cas, on fabrique des produits essentiellement « techniques », actuellement en décroissance : panneaux minces pour fonds de



Figure 10 – Panneau de fibres dur mis en œuvre sur une ossature courbe (source : Marie-Christine Trouy-Triboulot, ENSTIB)



Figure 11 – Meubles en MDF (source : Marie-Christine Trouy-Triboulot, ENSTIB)

meuble, l'emballage, panneaux isolants (figure 10). Dans le second cas, on obtient les panneaux MDF, en fort développement depuis les années 1980. Ils sont usinables dans la masse et présentent une belle finesse de texture souvent mise en valeur par un vernis (figure 11).

■ Fabrication et produits disponibles

On distingue les procédés humides issus de procédés de l'industrie papetière (sans liant synthétique) pour la fabrication des panneaux de fibres durs, mi-durs et isolants et les procédés à sec (avec

liant synthétique) pour la fabrication du MDF (*Medium Density Fiberboard*).

Les procédés humides :

- écorçage des billes ;
- déchiquetage pour transformer les billes en plaquettes ;
- triage des plaquettes ;
- défibrage : les défibreurs sont constitués de deux grands disques qui laminent les plaquettes ramollies par l'eau et la chaleur ; on obtient une pâte constituée de fibres en suspension dans l'eau ;
- essorage : le tapis transporteur a fonction d'un tamis (tôle perforée) qui laisse des traces de quadrillage ou de gaufrage sur une des faces du panneau ;
- pressage ;
- stabilisation.

Remarque : les panneaux isolants ne sont pas pressés mais seulement séchés après essorage.

Les procédés à sec :

- écorçage des billes ;
- déchiquetage pour transformer les billes en plaquettes ;
- triage des plaquettes ;
- défibrage : les défibreurs sont constitués de deux grands disques qui laminent les plaquettes ramollies par l'eau et la chaleur ;
- encollage des fibres ;
- séchage des fibres ;
- conformation du mat ;
- pressage ;
- stabilisation.

Dimensions courantes :

- épaisseur : 4 à 45 mm ;
- largeur : 1,20 à 2,50 m ;
- longueur : 2,50 à 5,00 m.

Classification, qualification et certification

• Classification selon le procédé de production et la masse volumique d'après la norme NF EN 316

Les panneaux de fibres obtenus par procédé humide sont classés selon leur masse volumique :

Panneaux durs (HB, masse volumique supérieure à 900 kg/m³) : on peut leur conférer des propriétés additionnelles, par exemple : ignifugation, résistance à l'humidité, résistance aux attaques biologiques, usinabilité, soit par traitement spécifique, soit par addition d'additifs.

Panneaux mi-durs (MB, masse volumique comprise entre 400 et 900 kg/m³) : selon leur masse volumique on distingue les panneaux mi-durs de faible masse volumique (MBL, masse volumique comprise entre 400 et 560 kg/m³) et les panneaux mi-durs à masse volumique élevée (MBH, masse volumique comprise entre 560 et 900 kg/m³). On peut leur conférer les propriétés additionnelles, par exemple : ignifugation, résistance à l'humidité.

Panneaux isolants (SB, masse volumique comprise entre 230 et 400 kg/m³) : ces panneaux présentent des propriétés de base thermique et acoustique. On peut leur conférer des propriétés additionnelles, par exemple ignifugation. Une meilleure résistance à l'humidité ainsi que des caractéristiques mécaniques améliorées sont habituellement obtenues par l'addition d'une substance pétrochimique (par exemple le bitume).

Les panneaux obtenus par procédé sec sont des panneaux de fibres, dont le taux d'humidité des fibres est inférieur à 20 % au stade de la conformation du mat. Ils ont une masse volumique supérieure ou égale à 450 kg/m³. Ils sont principalement fabriqués à l'aide d'un liant synthétique. On peut leur conférer des propriétés additionnelles, par exemple : ignifugation, résistance à l'humidité, résistance aux attaques biologiques, soit par changement de la composition du liant synthétique, soit par ajout d'autres additifs.

• Classification selon les conditions d'utilisation et les types d'usage

La norme NF EN 316 présente la classification et les symboles relatifs aux conditions d'utilisation et aux types d'usage des panneaux de fibres. La norme NF EN 622-1 fixe les exigences de certaines caractéristiques communes à tous les panneaux de fibres et propose un code deux couleurs pour la classification (première couleur pour le type d'usage et deuxième couleur pour les conditions d'utilisation). Le tableau 7 donne pour les conditions d'utilisation et types d'usage, les symboles et les codes couleur correspondants.

Par exemple, un panneau HB.HLA2 est un panneau de fibres dur travaillant sous contrainte élevée pour utilisation en milieu humide pour toutes catégories de durée de charge ; un panneau MDF.HLS est un panneau MDF travaillant pour utilisation en milieu humide seulement pour charges instantanées ou de courte durée.

Tableau 7 – Symboles et code couleur relatifs aux conditions d'utilisation et aux types d'usage des panneaux de fibres (d'après normes EN 316 en EN 622)

| Types d'usage/Conditions d'utilisation | Symbol (EN 316) | Couleur (EN 622) |
|--|-----------------|-----------------------------|
| Conditions d'utilisation : | | |
| — milieu sec | Aucun symbole | (deuxième couleur) bleu |
| — milieu humide | H | vert |
| — milieu extérieur | E | brun |
| Types d'usage : | | |
| Usage général | Aucun symbole | (première couleur) blanc |
| Usage travaillant : | L | jaune |
| a) pour toutes catégories de durée de charge | A1 | |
| b) pour toutes catégories de durée de charge, sous contrainte élevée | A2 | |
| c) seulement pour charges instantanées et de courte durée | S | |

Les exigences générales pour tous les panneaux de fibres, données par la norme EN 622-1, concernent les mêmes caractéristiques que celles citées précédemment pour les panneaux de particules. Les normes EN 622-2, EN 622-3, EN 622-4 et EN 622-5 fixent les exigences (caractéristiques mécaniques et gonflement) respectivement pour les panneaux durs, les panneaux mi-durs, les panneaux isolants et les MDF.

La norme Eurocode 5 (ENV 1995-1-1) recommande d'employer les panneaux de fibres conformes à EN 622-2 travaillant à long terme et pour les classes de service auxquelles ils sont destinés en excluant la classe 3, et d'employer les panneaux de fibres conformes à EN 622-3 travaillant à long terme et pour les classes de service auxquelles ils sont destinés en excluant les classes 2 et 3 (voir définition des classes de service en encadré). Des coefficients permettant de prendre en compte le flUAGE sont donnés pour ces types de panneaux en fonction de la classe de service et de la durée de charge.

• Certification

La marque de qualité CTB-RH s'applique aux panneaux de fibres de moyenne densité (MDF) pour emplois en milieu intérieur avec risque d'humidification temporaire. Les caractéristiques certifiées sont :

- les tolérances sur l'épaisseur ;
- l'humidité ;



Figure 12 – Dalle en béton de bois
(source : Marie-Christine Trouy-Triboulot, ENSTIB)

- la masse volumique minimale ;
- le gonflement en épaisseur après immersion dans l'eau et après épreuve de vieillissement accéléré ;
- la traction perpendiculaire aux faces avant et après vieillissement accéléré ;
- la contrainte de rupture en flexion et module d'élasticité.

2.3.4 Les matériaux à liants hydrauliques

■ Les panneaux de particules liées au ciment

La norme EN 633 définit les panneaux de particules liées au ciment comme des matériaux en plaque fabriqués sous pression, à base de particules de bois ou autres particules végétales liées avec du ciment hydraulique et pouvant contenir des additifs. Les normes EN 634-1 et EN 634-2 définissent respectivement les exigences générales et les exigences pour les panneaux de particules liées au ciment Portland ordinaire utilisés en milieu sec, humide et extérieur.

L'intérêt de ces panneaux réside surtout dans leur résistance au feu et aux attaques biologiques. L'utilisation de copeaux longs (« laine de bois ») permet d'obtenir des panneaux moins denses, par exemple les panneaux EltoBoard, proposé par la société Eltomation.

■ Les bétons de bois

Les bétons de bois se présentent sous diverses formes et sont fabriqués selon les méthodes mises en œuvre pour les bétons. Ce sont des matériaux plus légers que les bétons traditionnels (figure 12).



Figure 13 – Panneaux de particules stratifiés
(source : Marie-Christine Trouy-Triboulot, ENSTIB)

l'ameublement mais également en menuiserie intérieure. Il est ainsi possible d'obtenir à moindre coût des éléments présentant des caractéristiques esthétiques proches de celles du bois massif.

Les supports employés à cet effet sont les contreplaqués, les panneaux de particules et le MDF. Les essences de placage les plus utilisées sont le chêne, le hêtre, le frêne, le châtaignier et les bois exotiques (acajou, okoumé, palissandre, teck...). Les feuilles de placage sont obtenues par tranchage pour une bonne qualité de surface et habituellement elles ont une épaisseur inférieure à 0,6 mm. Dans certains cas particuliers, cette épaisseur peut aller jusqu'à 1 mm. Certains fournisseurs vendent des placages décoratifs bois revêtus en usine d'une feuille protectrice de PVC, évitant ainsi la nécessité d'ajouter une finition sur le placage.

Les placages sont collés sur le support à l'aide d'une colle urée-formaldéhyde additionnée d'une charge (farine de blé ou de noix de coco) pour limiter sa pénétration dans le bois, avec un durcisseur permettant un temps de pressage le plus court possible à une température ne dépassant pas 120-130 °C. Une solution alternative est le collage avec une émulsion vinyle bicomposant. Dans tous les cas, un contrecollage (bois ou stratifié) sur la deuxième face du panneau permet d'équilibrer les tensions et d'éviter ainsi les déformations.

La norme NF B 54-202 précise les spécifications des panneaux décoratifs plaqués bois en ce qui concerne les tolérances d'épaisseur et la tenue du collage déterminée par un essai d'arrachement (B 51-283) après un conditionnement correspondant aux conditions d'usage. La norme classe également les panneaux en fonction de l'émission de formaldéhyde mesuré selon NF EN 717-2 : classe A [$< 3,5 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$] et classe B [$< 10 \text{ mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$]. La norme NF B 54-201 établit les règles de base concernant l'aspect des faces des panneaux plaqués bois.

3. Classification des matériaux en fonction de leur utilisation

3.1 Panneaux décoratifs et acoustiques

3.1.1 Les panneaux plaqués bois

L'application de placages bois sur des panneaux de faible qualité de surface est très fréquemment utilisée dans l'industrie de

3.1.2 Les panneaux mélaminés et stratifiés

Differents types de revêtements peuvent être ajoutés aux panneaux bois pour en améliorer les propriétés esthétiques et/ou techniques (figure 13).

Les **papiers kraft** imprégnés de résine phénolique sont appliqués sur les panneaux bois (contreplaqués et panneaux de particules) pour en améliorer la qualité de surface avant finition ou réaliser des moules pour couler le ciment. Le papier est imprégné de résine et séché sans que la résine polymérisé. L'application d'une haute

température et d'une forte pression permet de « réactiver » la résine, et le papier est collé sur le panneau sans qu'il soit nécessaire d'ajouter un adhésif. La résine phénolique polymérisée donne un revêtement lisse, dur et résistant à l'eau et aux produits chimiques.

Les **panneaux de particules surfacés mélaminés (PPSM)** sont fabriqués selon un procédé similaire. Un papier de couleur uniforme ou comportant un décor imprimé (imitation bois en particulier) est imprégné d'une résine mélamine-formaldéhyde ou mélamine-urée-formaldéhyde qui est séchée sans être totalement polymérisée. Le grammage du papier mélaminé est compris entre 50 et 120 g/m². La feuille de papier mélaminé est pressée sur le panneau de particules à haute température (170 à 200 °C) et sous pression (> 2,5 MPa). Dans ces conditions, la polymérisation finale de la résine permet la fixation sur la surface et forme un revêtement dur, résistant à la température, à l'eau et aux produits chimiques. La structure du plateau de presse donne différents états de surface au PPSM (lisse, granité, à veinages...). Les principales utilisations des PPSM se situent dans le domaine des meubles de cuisine et de salle de bain et dans celui de l'aménagement intérieur. La norme NF B 54-113 précise les spécifications de ces panneaux de particules surfacés mélaminés.

Les **papiers décors mélaminés** sont des papiers unis ou imprimés imprégnés de résine MUF. La masse surfacique du papier avant imprégnation va de 30 à 80 g/m². Ces papiers décors sont vendus finis vernis, semi-finis avec une couche de fond et qui doivent être vernis ou bruts sans aucune finition. Les papiers dits japonais ont une masse surfacique de 20 à 30 g/m², ils ne sont pas imprégnés mais simplement recouverts d'une couche de vernis. Les papiers décors sont collés principalement sur panneaux de particules selon des procédés discontinus (papier en feuilles) ou le plus souvent continu (papier en rouleaux), à chaud ou à température ambiante, avec une presse à plat ou une presse à rouleaux. Les adhésifs utilisés peuvent être soit des colles urée-formaldéhyde, soit des colles émulsions vinyliques bicomposants. Étant donné la faible épaisseur du revêtement, un soin tout particulier doit être apporté à l'état de surface du panneau support dont d'éventuelles irrégularités seront visibles. La principale utilisation des panneaux revêtus de papier décor est le meuble en kit.

Les **panneaux stratifiés** sont des panneaux de particules ou de MDF recouverts d'une plaque de stratifié décoratif **haute pression** (HPL : *High Pressure Laminates*). Ces plaques d'une épaisseur comprise entre 0,5 et 2 mm environ sont constituées d'un ensemble de feuilles de papier imprégné de résines thermodurcissables liées entre elles par l'action de la chaleur et d'une pression d'au moins 7 MPa. La face inférieure (non visible) est constituée de couches imprégnées de résines phénoliques et/ou aminoplastes et la ou les couches décoratives de surface sont imprégnées de résines mélamines (MF ou MUF). Ces produits sont caractérisés par leur résistance à l'abrasion, au choc et à la rayure et ils sont connus sous les noms de Formica® ou Polyrey® par exemple. Différents types de stratifiés décoratifs sont définis par la norme NF EN 438 : standard (type S), à réaction au feu améliorée (type F), postformables (type P). Les stratifiés décoratifs sont collés, le plus souvent à froid, sur des panneaux à base de bois (particules ou MDF) à l'aide soit de colles émulsions vinyliques bicomposants, soit de colles contact polychloroprène. Ils sont souvent utilisés dans la fabrication de plans de travail, de tables, cuisines, bureaux...

Un cas particulier est constitué par les revêtements de sol stratifiés dont le parement est constitué d'une ou de plusieurs feuilles de papier imprégné de résine mélaminée qui peuvent être soit pressées entre elles et ensuite collées sur une âme, soit pressées directement sur l'âme sans ajout de colle. L'âme est en général un panneau à base de bois (particules, MDF, fibres dures, OSB...). La norme NF EN 13329 est spécifique à ces revêtements de sol stratifiés.

Les stratifiés décoratifs **basse pression** (*Low Pressure Laminates*) sont composés de deux ou trois couches de papier imprégné de résine mélamine assemblées entre elles sous l'action



Figure 14 – Panneaux acoustiques (source : Jean-Jacques Balland, ENSTIB)

de la chaleur et d'une pression d'environ 3 MPa. Ils sont fournis en rouleaux et leurs performances, inférieures à celles des HPL, les font réservé au revêtement de surface pour éléments de meubles. Les stratifiés polyesters présentent un toucher plus « chaud » que les mélaminés et, plus flexibles, ils ont une meilleure capacité au post-formage.

Signalons enfin les panneaux décors à coller constitués d'une feuille de placage de bois collée sur une feuille de papier kraft enduit de résine phénolique et revêtue d'une feuille protectrice de résine mélamine.

Pour conclure, il faut souligner la nécessité dans tous les cas évoqués ci-dessus d'un **collage de contre-balance** sur la face non visible du panneau revêtu afin d'éviter les déformations liées à la dissymétrie apportée par l'élément collé.

3.1.3 Les panneaux acoustiques

Ces panneaux ne présentent pas de caractéristiques particulières en ce qui concerne leur nature ou leur composition. Ce sont le plus souvent des panneaux décoratifs auxquels les propriétés d'amortissement acoustique sont conférées par des formes ou des perçages spécifiques. Associés le plus souvent à un matériau absorbant comme de la laine de roche, et généralement ignifugés, ces panneaux correspondent aux besoins de correction ou d'affaiblissement acoustiques pour des salles de conférences, théâtres, halls d'accueil, salles de réunion (figure 14).

3.2 Panneaux ignifugés

Le bois et les matériaux dérivés du bois sont naturellement inflammables et leur réaction au feu est caractérisée par le test à l'épiradiateur défini dans la norme NF P 92-501 qui prend en compte l'inflammation des deux faces du matériau testé soumis au chauffage d'une source de chaleur rayonnante (épiradiateur). À partir des mesures des temps d'inflammation et des hauteurs de flammes, un indice *q* est calculé qui permet de classer les matériaux en catégories (cf. [C 925], tableau 21) :

M0 : incombustible, M1 : non inflammable, M2 : difficilement inflammable, M3 : moyennement inflammable et M4 : facilement inflammable.

Les essais de réaction au feu caractérisent un matériau donné pour une épaisseur donnée.

Par exemple, un panneau de contreplaqué de hêtre non traité est classé M4 pour une épaisseur de 5 mm et M3 si son épaisseur est de 15 mm. De même, un panneau de particules non traité de 12 mm est classé M4 alors qu'il est classé M3 en 22 mm.

En éléments de faible épaisseur, le bois massif non traité est classé M4, alors que pour une épaisseur supérieure à 14 mm pour un feuillu et à 18 mm pour un résineux il est dans la catégorie M3.

Les bois et matériaux dérivés ignifugés par traitement de surface sont classés M2 et un traitement en autoclave du bois, ou une ignifugation dans la masse des panneaux à base de bois, permet d'atteindre le classement M1.

La plupart des systèmes de traitement sont réalisés à l'aide de sels solubles dans l'eau (sels de phosphore, de bore, dérivés azotés et halogénés...).

Dans le cas de bois massif, l'imprégnation peut être réalisée par simple trempage d'une durée de quelques heures dans une solution aqueuse de sels. La pénétration n'est alors que superficielle (quelques millimètres).

Le traitement par injection en autoclave (procédé Bethell) permet d'atteindre des degrés d'imprégnation plus importants qui dépendent cependant toujours de la nature du bois traité. Le bois, préalablement séché, est soumis à un vide d'environ 0,01 MPa pendant une demi-heure et la solution ignifugeante est introduite sous une pression de l'ordre de 1 MPa pendant une à deux heures.

Le bois traité est ensuite séché et, du fait de la solubilité des sels dans l'eau, il est nécessaire de le stocker et de l'utiliser à l'abri de l'eau ou d'une humidité importante.

Dans le cas des produits reconstitués à base de bois : panneaux de particules, panneaux de fibres, panneaux de contreplaqué, le traitement atteint plus facilement toute la masse du bois. En effet, la taille des particules ou des placages est suffisamment faible pour qu'un simple trempage permette une imprégnation totale du matériau. Il est, de plus, possible d'améliorer la résistance au feu du panneau par addition de produits ignifugeants peu solubles dans l'eau en tant que charge dans le mélange collant. La résine de collage a de plus, par elle-même, une bonne résistance au feu si elle est thermodurcissable (colles UF, MUF, PF, PRF).

Des revêtements superficiels de finition (peintures comportant des charges ignifugeantes) permettent également de conférer une certaine résistance à la chaleur et agissent comme agents retardants vis-à-vis du feu. Il existe aussi des revêtements intumescents qui, lors du chauffage, forment une couche de mousse carbonée stable et relativement non combustible qui protège le support des flammes.

Des traitements ignifugeants résistant à l'humidité sont réalisés par imprégnation superficielle du matériau par une résine aminée additionnée de sels qui est ensuite polymérisée. Ces systèmes à base de résines aminées peuvent être utilisés aussi bien sur du bois massif qu'incorporés dans des panneaux de particules ou de contreplaqué, voire appliqués en tant que revêtement de finition.

Les produits utilisés pour la finition décorative de panneaux ignifuges (placages, stratifiés...) doivent répondre au même classement que les panneaux supports et il est nécessaire que l'ensemble revêtement plus support suive également les mêmes exigences. Le choix de la colle et les conditions de collage jouent donc un rôle important dans le maintien du classement de réaction au feu. La migration de sel ignifuge en surface peut nuire au collage. Les colles PRF (collage d'éléments structuraux), UF (collage de placages), vinyliques et « contact » peuvent être utilisées mais il est recommandé de consulter le fournisseur du matériau ignifugé et le fournisseur de colle.



Figure 15 – Poutre en « I » TJI® mises en œuvre
(source : Trus Joist™)

3.3 Poutres composites en I

■ Définition

Ce sont des poutres composées de membrures (ou semelles) en bois ou en matériaux dérivés (lamellé-collé, contrecollé « bilame » ou « trilame », lamibois) et d'âme en bois (solive ajourée), en matériaux dérivés (OSB, contreplaqué, panneaux de fibres durs...) ou en métal (poutres NAIL web). Elles ne pèsent que 60 % de leur équivalent en bois massif et sont généralement manuportables. Leur utilisation en solivage est intéressante, car l'âme des poutres peut être perforée pour laisser passer canalisations et gaines, sans amoindrir leur résistance (figure 15).

■ Fabrication et produits disponibles

Les âmes sont fixées aux membrures par collage ou par liaisons mécaniques clouées ou vissées. La poutre NAIL web est composée d'une âme en acier galvanisé profilé pressé entre deux membrures de bois résineux raboté et traité.

Dimensions courantes :

- largeur : 60 à 120 mm ;
- hauteur : 200 à 500 mm ;
- longueur : 5 à 15 m.

■ Certification

La marque de qualité CTB-PI concernant les poutres en « I » à base de bois certifie les caractéristiques suivantes :

- qualité et durabilité des bois ;
- qualité de l'âme ;
- qualité des collages et des aboutages ;
- caractéristiques mécaniques d'emploi ;
- conformité aux spécifications de l'Avis technique du CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment) pour les poutres non traditionnelles.

4. Aspect environnemental

■ Les émissions de COV

Mis à part le problème de l'émission de formaldéhyde lors du pressage ou au cours du cycle de vie d'un panneau à base de bois qui a été abordé par ailleurs, les colles pour le matériau bois ne présentent pas de difficultés particulières en ce qui concerne

l'émission de composés organiques volatils. En effet, la grande majorité des colles à bois sont des produits en phase aqueuse et les seuls produits organiques volatils présents sont des alcools dans le cas des adhésifs phénoliques.

Les adhésifs susceptibles d'être concernés par la directive européenne 1999/13/CE, relative à la « réduction des émissions de COV dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations » sont les colles contact polychloroprène base solvants qui sont en solution dans le toluène et des dérivés chlorés, et diluées par de l'acétone et des hydrocarbures ainsi que les colles contact polyuréthane dont les solvants sont des cétones, des acétates et des solvants chlorés comme le chlorure de méthylène. Les quantités de ces adhésifs mises en œuvre dans les collages sur bois sont trop peu importantes pour entrer dans le cadre des réglementations concernant les émissions de COV. Les problèmes liés à ces adhésifs concernent plutôt la sécurité et la santé des utilisateurs et ils sont maintenant de plus en plus souvent remplacés par des systèmes en dispersion aqueuse ou à 100 % d'extrait sec à performances équivalentes.

■ Le traitement des produits en fin de vie

La plus grosse part des matériaux dérivés du bois est fabriquée par collage à l'aide d'adhésifs thermodurcissables qui sont quasiment indestructibles hormis par la chaleur à une température très élevée. Il n'existe pratiquement pas de valorisation par recyclage de matériaux collés à base de bois. Alors que les déchets de bois massif provenant de l'industrie du bois (scierie, menuiserie, ameublement) peuvent trouver des valorisations dans la fabrication de panneaux de particules et de la pâte à papier, les matériaux collés, revêtus et *a fortiori* adjuvants (produits de traitements fongicides ou ignifuges) ne sont pas utilisables. Des essais à l'échelle pilote sont conduits en Allemagne pour l'élimination de la colle de panneaux de particules dans l'objectif d'une réutilisation des copeaux de bois. Les résultats sont prometteurs mais le procédé est très lourd et coûteux et son utilisation industrielle est difficilement envisageable dans l'immédiat.

La mise en décharge qui était une solution fréquente d'élimination des déchets, en particulier de démolition, est de plus en plus strictement réglementée, voire interdite. La combustion et la valorisation énergétique sont donc la voie prépondérante, pour ne pas dire exclusive, d'élimination en fin de vie des matériaux dérivés du bois.

La question qui se pose à ce stade est l'incidence sur l'environnement de cette combustion. De nombreuses études ont été réalisées pour quantifier les émissions résultant aussi bien de la combustion du bois naturel que des déchets à base de bois. Les quantités de polluants dépendent considérablement de la nature et de la composition du combustible mais également et surtout des conditions de fonctionnement des installations de combustion.

Les panneaux se distinguent du bois massif évidemment par la présence de colles mais aussi d'additifs (catalyseurs, produits hydrofuges...) et de revêtements (papier, stratifiés, PVC...). La combustion de ces matériaux peut avoir une influence notable et négative sur l'émission des polluants suivants :

- oxydes d'azote en raison de la présence de colles UF et MUF, de revêtements mélaminés et stratifiés ;
- l'acide chlorhydrique résultant de l'utilisation de chlorure d'ammonium comme durcisseur des colles aminoplastes (ce produit est maintenant remplacé par les nitrates ou sulfates dans la fabrication des panneaux) ou de revêtements PVC ;
- les composés organiques chlorés : dioxines, furanes, chlorophénols, ... dus également à la présence de chlore ;
- les composés organiques volatils et en particulier les aldéhydes (formaldéhyde) provenant des colles et des revêtements ;

- les métaux lourds ;
- le monoxyde de carbone et les poussières...

Les mêmes considérations s'appliquent à l'incinération en fin de vie des meubles et des menuiseries qui sont fabriqués avec des panneaux ou des éléments collés et sur lesquels des adjuvants supplémentaires sont employés : colles d'assemblage, produits de finition et de préservation.

La combustion des bois de démolition est une source importante de pollution du fait des traitements effectués et de la présence de composés anciens parfois très toxiques. Ces bois fortement adjuvants nécessiteraient d'être incinérés dans des unités adaptées.

■ L'écocertification

Le bois utilisé pour la fabrication des matériaux dérivés peut être « écocertifié » par exemple selon les référentiels PEFC (*Pan European Forest Certification*) ou FSC (*Forest Stewardship Council*). Après la mise en place d'une chaîne de contrôle, si tout ou une majorité du bois utilisé est écocertifié, le matériau dérivé peut alors lui aussi bénéficier de ce label. À l'heure où nous écrivons ces lignes, les démarches d'écocertification des forêts françaises sont en cours.

5. Recherche, développement et perspectives

Les différents produits dérivés du bois sont fabriqués en utilisant toutes les tailles et granulométries possibles du matériau d'origine, depuis la planche jusqu'à la fibre et il est peu probable que de nouveaux types de matériaux soient développés. Par contre, des évolutions ont lieu en ce qui concerne aussi bien les procédés de fabrication (plus écologiques, moins consommateurs d'énergie) que les sources de matière première (utilisation de sous-produits de l'industrie du bois, petits bois) ou les adhésifs (diminution des émissions de formaldéhyde).

Les exemples d'associations de matériaux conduisant à des éléments plus légers et moins utilisateurs de matière première pour des performances identiques (poutres en I, poutres caissons par exemple) devraient se multiplier.

Pour des raisons écologiques et économiques liées à la diminution des ressources pétrolières, les adhésifs d'origine naturelle devraient voir leur utilisation augmenter : colles à base d'amidon ou de résine de soja, en améliorant leurs performances pour aller vers des usages plus structuraux, colles à base de tannins...

Comme dans d'autres filières, le recyclage des matériaux bois avant leur élimination par combustion est une préoccupation. Cela passe par l'utilisation d'adhésifs thermoplastiques moins difficiles à éliminer que les thermodurcissables ou le développement de composites bois-polymères thermoplastiques (polyéthylène, polypropylène éventuellement de récupération) recyclables par refonte et remise en forme.

Des efforts se porteront également sur la diminution des pollutions émises lors de l'incinération des produits en fin de vie : amélioration de la combustion des adhésifs, additifs, adjuvants et revêtements.

Signalons enfin les modifications chimiques du bois pour lui conférer des propriétés améliorées (résistance à l'eau, aux champignons) ou particulières, voire pour réaliser l'autoadhésion de particules de bois.