

Manuel

Bois

Epoxy



Table des matières

	Pages:
Introduction	3
Les résines époxydes	
- Historique	5
- Processus de polymérisation	5
- Les paramètres de formulations des systèmes époxydes pour le bois	6
Théorie du collage Bois / Epoxy	6
Performances du bois comparées aux matériaux composites	9
Le renforcement par fibres d'un bordé	
- Sur bordés classiques	11
- Sur du bois en tant que matériau d'âme	12
Les renforts fibres	
- Les renforts multidirectionnels	13
Les méthodes d'assemblage dans le bois / époxy	14
- Conditions d'applications des systèmes époxydes	
- Conception des assemblages collés	
- Types d'assemblages	14
- Le joint-congé	15
Les méthodes de construction	17
- Le lamellé-collé	
- Le bois moulé sur lisses	19
- Le bois moulé sur lisses jointives	21
- Le Strip planking	22
Les systèmes époxydes SICOMIN pour le bois	24
- SR5550, SR 8450, Wood Impreg	25
- Tableau de sélection résines / applications	25
- Mémento des propriétés des résines	26
- Conseils de mise-en-oeuvre	27
- Nature et fonctions des charges	31
- Les essences de bois utilisées en construction bois / époxy	35
- Utilisation des résines époxydes: généralités sur l'hygiène et la sécurité	40
- Données toxicologiques et de sécurité	41

Systemes SICOMIN Bois / Epoxy

Tant que les hommes navigueront, les techniques de construction de leurs bateaux évolueront avec les matériaux de leur temps. Les innovations technologiques de notre vingtième siècle ont bien sûr été utilisées en construction navale. Même si l'on construit avec les matériaux "high-tech" de la conquête de l'espace, le bois ne cesse d'être redécouvert et vénéré. Le bois est le matériau marin par excellence et ce, pour bien des raisons.

D'une part pour sa disponibilité dans une grande variété d'espèces, de qualités, son esthétique et son faible coût pour la plupart des espèces courantes. D'autre part pour les nombreux avantages techniques de ce matériau renouvelable, tant par sa facilité d'usinage, sa résistance à la fatigue, ses performances mécaniques en rapport à sa densité, que son excellent comportement au feu et à la température (face à certains matériaux d'âme).

Le bois restera encore longtemps l'un des matériaux privilégiés de la construction navale.

Son seul défaut est son comportement instable au contact d'un environnement agressif: la mer. Le bois est une matière vivante: immergé il absorbe l'eau, mis à sécher il se rétracte, provoquant des fissures sur le bordé; au contact de l'air, il est sensible aux dégradations bactériologiques. La construction traditionnelle ne prévoyant aucune colle, c'est l'ambiance humide qui, en faisant gonfler le bois, donne l'étanchéité et la rigidité à l'ensemble. Mais cette même teneur en eau provoque la diminution des résistances mécaniques du bois.

Pour une humidité relative de 25%, on considère que le bois a déjà perdu 50% de ses valeurs mécaniques en traction et flexion. Au-delà de 25%, l'eau remplit les cavités des fibres, la moisissure trouve un terrain fertile à son développement et la dégradation du bois commence. C'est pour cela que les architectes et les constructeurs d'autrefois augmentaient l'échantillonnage des unités afin d'élever le coefficient de sécurité.

Pour le propriétaire d'un bateau traditionnel, cette absorption d'eau se traduit par une maintenance coûteuse en immobilisation et matériaux.

La construction navale traditionnelle a été profondément bouleversée avec les résines thermodurcissables de synthèse hautes performances issues des recherches aérospatiales; et des peintures anti-corrosion.

Les produits époxy ont permis d'obtenir des progrès décisifs dans la construction en composite bois (Tableau 1). La technique de saturation du bois à l'époxy a vu le jour aux Etats-Unis il y a une vingtaine d'années. Les principes de base sont:

- Isolation du bois par un polymère étanche et adhésif
- Lamellés collés pour les pièces volumineuses et structurelles
- Utilisation des bois de faibles densités
- Combinaison du bois et des composites fibres / époxy

Il est désormais possible de conserver et d'améliorer les performances du bois, atteignant ainsi des résistances et une facilité d'entretien inaccessibles auparavant. Les propriétés mécaniques du bois sont optimales à 10% d'humidité et chutent avec l'accroissement hygrométrique. Il faut donc isoler le bois du milieu ambiant.

Grâce aux performances des résines époxydes, le bois est maintenu entre 9 et 12% d'humidité, lui garantissant les meilleures qualités mécaniques et une stabilité dimensionnelle idéale, donc une longévité accrue.

En employant ces méthodes de construction, de nombreux professionnels et amateurs ont réalisé des bateaux possédant un rapport rigidité / poids extrêmement élevé, conservant l'aspect du bois, et nécessitant aussi peu d'entretien que les unités en stratifié polyester (ces dernières pouvant être sujettes au phénomène d'osmose).

Le bois utilisé en tant que structure ou matériaux d'âme, combiné judicieusement avec des fibres de verre, de carbone ou d'aramide, le tout assemblé avec des résines époxydes, permet des structures composites plus légères, plus résistantes et souvent moins onéreuses que les projets utilisant un seul matériau.

Les applications sont aussi diverses et extrêmes qu'on peut l'imaginer: Multicoques de 26m, patrouilleurs rapides de haute mer de 40 mètres, restauration et restructuration de vieilles unités, mais aussi pales d'éoliennes, skis, archerie... Les possibilités d'applications sont sans limites.

Opérations unitaires	Construction traditionnelle	Construction bois / époxy
Choix du bois	Bois denses, bonne durabilité Chêne, orme, résineux	Bois légers Red cedar, acajou
Assemblages	Clous, rivets Clés, queue d'aronde, mortaises	Collage, joints congés, stratification
Adhésifs	Urée-formol, résorcine, polyester	Epoxydes
Pièces structurelles	Bois massif	Lamellé collé: épaisseur maximum du bois de 2.5 cm. Stratifiés multi-axiaux sur bois de faibles densités
Membrures	Chêne scié, accacia plié à la vapeur	Lamellé collé, OMEGA Système
Coques	Bordés cloués, clins	Lisses jointives, bois moulé, CP
Ponts	Planches calfatées Planches / élastomères Contre-plaqué	Contre-plaqué Lisses faible section collage époxy Sandwichs
Cloisons	Planches, Contre plaqué	Panneaux sandwichs, CP
Isolation du bois	Goudrons, Calfats	Résines et peintures époxydes
Peintures oeuvres mortes	Glycérophthaliques	Peintures polyuréthanes

Tableau 1- Matériaux et technologies des constructions navales traditionnelles et actuelles

Les résines époxydes sont à l'heure actuelle irremplaçables, leurs propriétés typiques sont:

- Durcissement avec un retrait extrêmement faible
- Système de réticulation modulable selon la réactivité du durcisseur et de la température
- Bonne stabilité au stockage
- Faible viscosité et degré de charge élevé
- Charges variées: renforçantes, colorantes, allégeantes, thixotropantes, anti-abrasives, conductrices, isolantes.
- Propriétés adhésives sur tous types de support avec ou sans préparation de surface
- Collage avec ou sans pression
- Résistance chimique envers milieux aqueux
- Performances mécaniques et thermiques jusqu'à 150°C
- Mélange des deux composants par pesée ou dosage volumique
- Prix raisonnable

Inconvénients:

- Stabilité aux ultra-violets faible (phénomène de farinage de surface), problème résolu par la mise en peinture des stratifiés et revêtement par les polyuréthanes
- Rigueur des dosages



Les résines époxydes, historique.

C'est en 1909 que le chimiste Russe Prileschajew découvrit que les oléfines réagissaient avec l'acide perbenzoïque pour donner une fonction époxy. Dans les années 40, le Suisse Pierre CASTAN et l'Américain Sylvan GREENLEE, revendiquent simultanément la paternité d'une matière plastique thermodurcissable composée d'une résine et d'un durcisseur. La production industrielle débutera dans les années 50 pour répondre à une demande croissante de revêtements performants.

Depuis 1960, plus d'une cinquantaine de structures chimiques distinctes ont été mises au point avec des nuances quant à la masse moléculaire, l'isomérisie, la pureté...

Avec une centaine d'agents de réticulation, des agents modificateurs, des diluants, des charges organiques ou inorganiques, il peut être préparé une variété infinie de formules. Les époxydes sont considérés comme une avance technologique sans précédent sur les résines phénoliques et les polyesters.

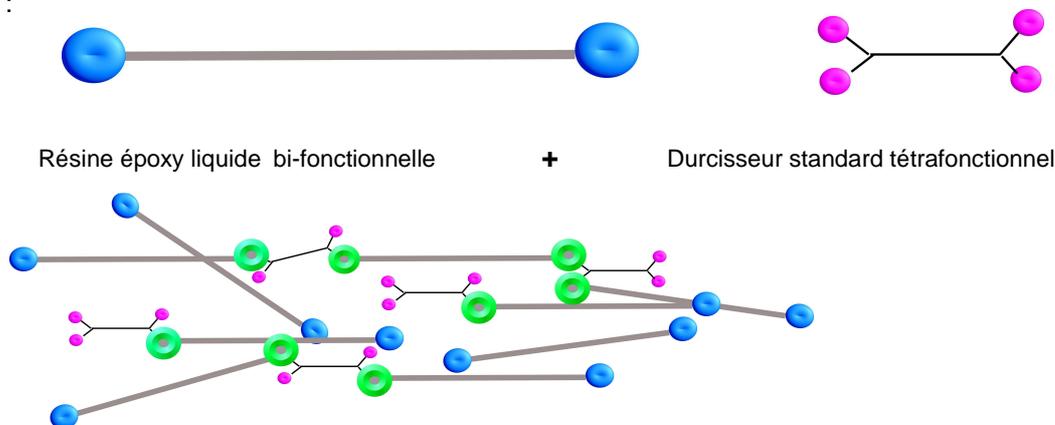


Processus de polymérisation

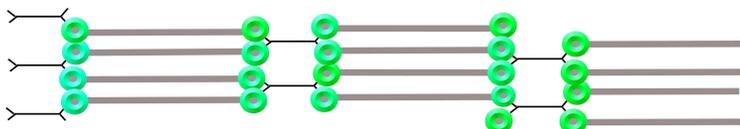
Ces résines sont des bi-composants composés d'une partie résine époxy et d'une partie durcisseur.

Les durcisseurs contiennent des terminaisons capables de s'ajouter sur les cycles époxydes de la résine lors de la mise- en œuvre, ou des fonctions catalytiques qui déclenchent la copolymérisation du système époxy. Cette réaction s'effectue sans élimination, le polymère obtenu n'a donc qu'un retrait minime. La résine époxy parfaitement polymérisée, fait partie de la famille des plastiques thermodurcissables qui, par définition, sont infusibles et insolubles sous l'action de la chaleur, des solvants, des radiations.

On peut se représenter la réaction d'une résine époxy bi-fonctionnelle et d'un durcisseur tétrafonctionnel classique :



Résine époxy après quelques heures à température ambiante. Le polymère possède déjà des propriétés mécaniques. Des fonctions époxydes et amines n'ayant pas réagi sont encore présentes dans le réseau.



Résine époxy parfaitement réticulée: performances mécaniques, thermiques et chimiques optimales. La densité du réseau tridimensionnel a une influence sur la perméabilité à la vapeur d'eau.

Lors du mélange des deux composants, il est primordial de respecter les dosages préconisés. Les schémas ci-dessus illustrent l'influence d'un excès ou d'un défaut de durcisseur. Le polymère obtenu n'est pas dans sa

configuration optimale de performance mécanique et contient encore des groupes époxy ou amines qui seront facilement attaqués par des agents chimiques tels que l'eau.

Les paramètres de formulations d'un système résine époxy / durcisseur pour le bois

Le choix des matières premières utilisables est dicté par la spécificité d'application pour la construction bois. La définition de produits époxydes pour le bois demande une sérieuse expérience dans la chimie et une connaissance approfondie de la construction navale. Par la connaissance des produits époxydes et sa longue expérience de formateur, SICOMIN propose des systèmes bois parfaitement adaptés à cette application.

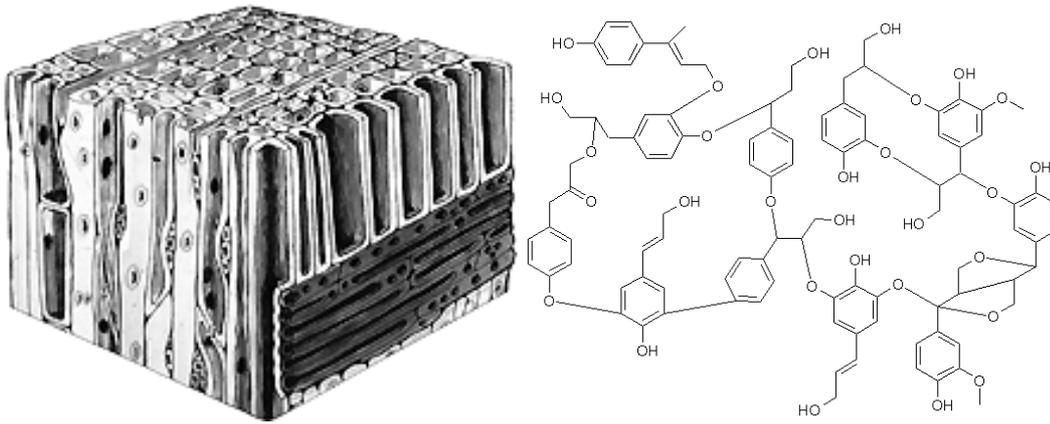
Une formulation de système époxy pour le bois doit répondre à un cahier des charges:

- Utilisations et sollicitations de la pièce finie, échantillonnage des renforts envisagés, résistances souhaitées coefficient de sécurité, poids final, production à l'unité ou en série, prix
- Paramètres de mise en œuvre: température, hygrométrie, quantité, technologie de transformation, nature du support, préparation de surface
- Evolution de la viscosité du mélange et de la chaleur de réaction en fonction de la température, de la masse, de la géométrie de la pièce à réaliser (revêtement, épaisseur du stratifié, volume de coulée)
- Sélection des composants de base, des facteurs qui favorisent l'adhésion sur le bois
- Propriétés mécaniques: modules, résistances traction, flexion, compression, chocs, cisaillement
- Vérification par des tests mécaniques et de vieillissement accéléré
- Thermiques : Evolution du taux de réticulation par l'analyse de la température de transition vitreuse, optimisation du cycle de post-cuisson
- Réactivité: temps de gel, température maximum d'exothermie, temps de séchage en film
- Résistance chimique, au feu, à l'abrasion, aux ultraviolets
- Thixotropie: amélioration de la tenue en parois verticales d'un revêtement liquide
- Aptitude au débullage
- Qualité de surface du film durci: tendu, brillance, pollution en fonction de la température ambiante et de l'hygrométrie

Théorie du collage du bois à l'époxy

Il n'y a pas très longtemps encore, la seule théorie du collage que l'on admettait, reposait sur la pénétration de la colle dans les pores des matières à assembler. La réaction chimique du liant engendre son durcissement sous forme de tentacules qui, à la manière des doubles crampons, maintenaient les deux pièces en un contact intime et dont la résistance à l'arrachement pouvait être d'autant plus grande que la pénétration de la colle était profonde. Tout ceci impliquait donc la porosité des matières et une colle suffisamment liquide et mouillante pour lui permettre, soit par simple capillarité, soit par pression, une pénétration dans toutes les anfractuosités ouvrant sur la surface des plans de collage.

Cette action adhésive était désignée sous le nom d'**adhérence mécanique**, et si elle est encore valable aujourd'hui pour certaines matières dont le bois, il n'est pas possible d'appliquer cette théorie aux collages de corps métalliques dont les surfaces sont lisses et imperméables à toute pénétration d'une colle. On favorise donc l'adhérence mécanique par saturation des canaux du bois par la pression exercée sur la surface (lamellé collé), en employant la technique du vide et de l'autoclave. Dans la construction bois époxy, les pressions appliquées sont faibles: les pièces sont maintenues en contact pendant le durcissement. La pénétration de la résine est fortement liée à la texture du bois, sa densité, en bois de bout ou de fil. Les canaux et les parois des cellules du bois accepteront un volume d'autant plus grand d'adhésif, que l'humidité du bois sera faible. On considère que ce taux doit être inférieur à 12 %.



Structure moléculaire de la lignine

Avec l'évolution des techniques de chimie analytique, atomique et moléculaire une nouvelle théorie est née: l'**adhérence spécifique**. Valable pour les métaux, cette nouvelle théorie complète heureusement celle de l'adhérence mécanique permettant de réaliser avec succès des assemblages mixtes: bois / métaux, bois / matières plastiques. La matière est constituée par des atomes qui, par agglomération, donnent naissance aux molécules. Atomes et molécules sont rendus solidaires par des forces électriques inter atomiques ou intermoléculaires, qui donnent à la matière son état physique.

L'adhérence spécifique qui étudie ces forces, implique donc une certaine action de ces forces entre les molécules de la colle et celles de la substance à coller. Celles-ci suivant la nature de la matière, sont polaires ou apolaires et correspondent à la distinction que l'on fait entre les liquides hydrophiles et les liquides hydrophobes.

Les molécules d'un corps polaire sont caractérisées par la présence de fonctions organiques du type alcool ou hydroxyle (OH), amine (NH₂), époxy, acide carboxylique (COOH), aldéhyde (COH) ... Ces fonctions organiques sont présentes dans le polymère durci et dans les constituants végétaux (lignite et cellulose). La résine époxy et les cellules lignifiées du bois sont de même «nature» chimique, donc compatibles du point de vue polarité. Les fonctions organiques peuvent aussi réagir entre elles et créer des **liaisons chimiques**.

Quant aux produits apolaires, ils ont pour prototypes les hydrocarbures extraits de la houille ou du pétrole et certains dérivés du type polyéthylène, polypropylène. L'exemple le plus connu est le cas de l'eau et de l'huile: ces deux liquides n'ayant pas la même polarité, n'ont aucune affinité l'un pour l'autre et ne peuvent constituer un mélange homogène. On admet alors facilement que des actions similaires existent entre un liquide adhésif et une matière solide: bois, métal, plastiques, etc. D'un point de vue pratique: les surfaces à coller seront propres et exemptes de traces de gras.

La majeure partie de la résistance d'un joint étant due à l'adhésivité spécifique, il paraît évident que le collage de deux morceaux de bois, fortement polaires par nature, sera plus facile que le collage du bois sur une plaque de métal qui lui est apolaire, c'est-à-dire hydrophobe, et qui devra être rendu hydrophile ou polaire par des traitements spéciaux (acides) afin d'adhérer au bois.

Cette attraction intermoléculaire étant ainsi définie et constituant une certaine affinité entre les différents corps, de nombreux facteurs peuvent modifier cette force attractive.

Le collage ne peut réussir que si les molécules superficielles du plan de collage n'ont subi aucune modification physique ou chimique et n'ont pas été souillées par des corps étrangers modifiant leur polarité (graisses, gas-oil, silicones, peintures, vernis...)

De plus pour rendre le plus intime possible le contact du bois et de la colle, condition essentielle pour obtenir un joint solide, la pression est nécessaire. Elle complète le phénomène d'adhérence spécifique, mais doit être exercée avec précaution pour permettre une pénétration suffisante de l'époxy et éviter de réduire l'interface à une épaisseur trop faible, pouvant aller jusqu'à l'élimination presque totale de l'adhésif. Pour cette raison lors de toutes les opérations de collage bois / bois, on incorporera au mélange résine / durcisseur, de la microfibre de bois **Treecell** ou du **Wood Fill 250**. On obtient alors une colle auto-remplisseuse (gap-filling).

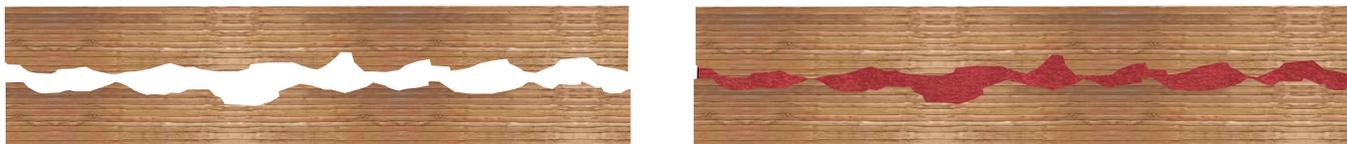


Schéma 2- REMPLISSAGE DES IMPERFECTIONS DE SURFACE DU BOIS PAR LA RÉSINE CHARGÉE DE MICROFIBRES **Treccell**

Un adhésif est par définition un matériau non métallique pouvant assembler des éléments par adhérence. Par ce processus, la structure des éléments à assembler est inchangée.

Dans l'assemblage de deux matériaux, la résistance finale dépend:

- du substrat
- de l'adhésif
- des interfaces

La résistance globale du système est alors déterminée par la plus faible des trois. La résistance maximale d'un assemblage est atteinte avec la rupture du substrat, de la couche adhésive ou aux interfaces. L'adhésion totale dépend des forces d'assemblage. elles sont déterminées par l'adhésion: ancrage mécanique, forces électriques entre les fonctions organiques, liaisons chimique entre la colle et le support et la cohésion des constituants.

Par leur haut pouvoir adhésif et leur cohésion, les joints de colle à base de résines époxydes spécifiques, sont plus résistantes en traction et cisaillement que le bois dans le sens axial (Tableau 2 et 3). D'autre part une résine est isotrope alors que le bois a une résistance "quasi unidirectionnelle"

Performances mécaniques du bois comparées aux matériaux composites

Le tableau 3 illustre parfaitement l'intérêt du bois en tant que matériau performant.

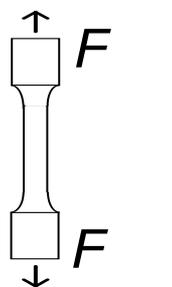
Le bois est tout d'abord de 2 à 6 fois plus léger que les matériaux composites renforcés de fibres.

En traction et flexion, le module ou rigidité et la contrainte maximum permettent de comparer les matériaux pour une **épaisseur** équivalente: par exemple, 10 mm de stratifié d'unidirectionnels verre / époxy au contact sont 2 fois plus rigide que 10 mm d'Iroko et 10 fois plus résistants en traction.

L'utilisation des bois légers est évidente dans le sens du fil en tant que matériaux d'âme, dans des structures composites bois / fibres-époxy.

Matériaux	Densité moyenne Kg / m ³	Contrainte maximum de traction perpendiculaire au fil du bois MPa	Contrainte maximum de cisaillement parallèle au fil du bois MPa
Frêne	750	6.5	14
Pin d'orégon	500	2.5	8
Red cédar	350	1.5	7
SR 5550 / SD 550x	1110	60 - 70	20-30

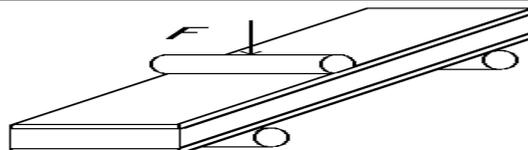
Tableau 2: Propriétés mécaniques des bois et des résines époxydes



*Test en Flexion 3 points d'un sandwich
Balsa / stratifié époxy selon NFT 54-606*

Comparatif bois / matériaux en traction

MATERIAUX	Densité moyenne (Kg/m ³)	Module (m.Pa) (1)	Contrainte maximum (m.Pa) (2)	Module spécifiques (3)	Contrainte spécifiques (4)
Acacia	750	23 500	100	31.4	0.13
Framiré	525	11 000	60	20.9	0.11
Frêne	750	10 100	63	13.5	0.08
Iroko	675	12 300	62	18.3	0.09
Niangon	690	11 500	81	16.6	0.12
Okoumé	450	14 000	72	31.1	0.16
Pin d'Orégon	500	15 100	63	30.1	0.12
Red cédar	350	7 000	25	19.9	0.07
Samba	400	10 100	68	25.0	0.17
UD Verre / polyester ⁽⁵⁾	1530	24 000	520	15.7	0.34
UD Verre / époxy ⁽⁵⁾	1540	25 000	650	16.2	0.42
UD Verre / époxy ⁽⁶⁾	2080	45 000	1250	21.6	0.60
UD Carbone / époxy ⁽⁶⁾	1530	134 000	1270	87.6	0.83
UD Aramide / époxy ⁽⁶⁾	1350	85 000	1410	62.9	1.04
Acier	7800	205 000	1000	26.3	0.12
Aluminium AU 4G	2800	75 000	450	26.8	0.16



Comparatif bois / matériaux en flexion statique 3 points

MATERIAUX	Densité moyenne (Kg/m ³)	Module (m.Pa) (1)	Contrainte maximum (m.Pa) (2)	Module spécifique (3)	Contrainte spécifique (4)
Acacia	750	13 800	175	18.5	0.23
Frêne	750	12 300	140	16.4	0.19
Red cédar	350	5 400	70	15.3	0.20
Sipo	625	12 300	118	19.7	0.19
UD Verre / polyester ⁽⁵⁾	1530	19 000	500	12.4	0.32
UD Verre / époxy ⁽⁵⁾	1540	24 000	600	15.6	0.39
UD Verre / époxy ⁽⁶⁾	2080	46 000	1000	22.1	0.48
UD Carbone / époxy ⁽⁶⁾	1530	78 000	1570	51.0	1.02

- (1) Module à épaisseur équivalente (1 MPA = 1 N/mm²)
 (2) Résistance max. à épaisseur équivalente (1 MPA = 1 N/mm²)
 (3) Le module spécifique est le rapport : Module / masse volumique.
 Cette valeur compare les matériaux entre eux à masse volumique équivalente.
 (4) La résistance spécifique est le rapport : Résistance maximum / masse volumique.
 Cette valeur compare les matériaux entre eux à masse volumique équivalente.
 (5) Stratifié réalisé au contact avec un taux volumique de fibre unidirectionnelle (UD) de 30%.
 (6) Stratifiés réalisés sous vide avec un taux volumique de fibre unidirectionnelle (UD) de 60%.

Le renforcement par fibres d'un bordé:

Nombreux sont les cas de figures où il est nécessaire de renforcer le bois par l'imprégnation de tissus de fibres verre, carbone ou aramide à l'aide de résines époxydes. La conception et la structure du bateau dicte l'emploi de ces renforts. Nous distinguons deux cas:

- La structure a été dimensionnée en utilisant les performances pures du bois:

Il s'agit des constructions traditionnelles à restaurer ou d'unités fabriquées selon les techniques du bois moulé. On cherche alors à améliorer les qualités de surface du bordé. Le bois est relativement peu résistant aux chocs, en comparaison d'un composite verre / époxy. Sur les bateaux où seul le bois est structurel, on vise donc, par la stratification, l'amélioration de la résistance à l'abrasion et aux chocs. Les performances mécaniques et l'étanchéité de cette peau ont aussi deux autres influences: elles annulent l'apparition des fissures engendrées par les variations hygrométriques du bois et servent de support stable aux enduits et peintures de finitions.

Le grammage des fibres employées est proportionnel au dimensionnement du bordé. Une couche verre E de 200 g/m² environ, apporte rigidité et protection considérable à un canoë en lisse jointive. cependant une couche de 300 g/m² ne contribue que très légèrement à la résistance et à la rigidité d'une coque en bois moulé constituée de 4 à 5 plis de 3 mm d'épaisseur.

L'application sans coulure des systèmes époxydes sans solvant est délicate en parois verticales. Après 2 à 3 couches de résine pure sur un bordé, la surface peut ne pas être parfaitement lisse, l'épaisseur totale des couches déposées étant variable. On devra donc poncer ces irrégularités avant les enduits de finition. Sans expérience, cette opération comporte le risque de revenir au bois et donc de supprimer par zones l'avantage de l'époxy. Une couche d'imprégnation suivie d'une stratification dans "la foulée" d'un tissu de faible grammage, calibre l'épaisseur de la protection. Les lavis de tissus sont posés bord-à-bord, limitant ainsi les sur-épaisseurs. L'étape de ponçage, nécessaire à l'accrochage des enduits de finition, peut être annulée en appliquant sur le stratifié un tissu de délaminage. Le «**Peeltex**» est un tissu de Nylon non siliconé, destiné à faciliter la mise en œuvre et à améliorer la qualité des stratifiés. Ce tissu présente la particularité de ne pas adhérer à l'époxy et se délamine du stratifié après le durcissement de la résine, même après plusieurs semaines. Si les travaux sur le bordé sont suspendus pour quelques mois, on a intérêt à peindre le **Peeltex** avec une peinture glycérophthalique blanche pour prévenir le vieillissement dû aux ultraviolets.



- Le bois est utilisé en tant que matériau d'âme:

La structure d'un bateau présente un problème mécanique unique. Elle requiert un bordé qui supporte des charges importantes en flexion et une structure qui doit résister à de fortes contraintes ponctuelles. Mais compte-tenu de sa grande surface il doit allier légèreté, résistance et rigidité, pour augmenter ses performances et sa longévité. Le problème de base dans la conception et la construction d'un bateau est que le poids du bordé est proportionnellement le plus important dans le poids total de l'unité. La rigidité de la coque peut être améliorée par l'accroissement de l'épaisseur de cette structure: c'est le concept de construction composite du type «sandwich».

L'influence de l'épaisseur et de la nature de l'âme en bois est démontrée par le modèle mathématique ci-dessous:

$$EI = E \times \frac{bh^3}{12}$$

EI: Raideur de la poutre en flexion
 E: Module de YOUNG
 b: Largeur de la poutre
 h: Hauteur ou épaisseur de la poutre

Cette relation montre que pour rigidifier un bordé, deux solutions sont possibles:

- Augmenter E par l'emploi de stratifiés hautes performances (Verre, carbone, aramide)

- Augmenter l'épaisseur h , qui est au cube dans la formule. Les impératifs de poids impliquent l'utilisation de matériaux d'âme à faibles densités: bois légers, mousses PVC, nids d'abeilles.

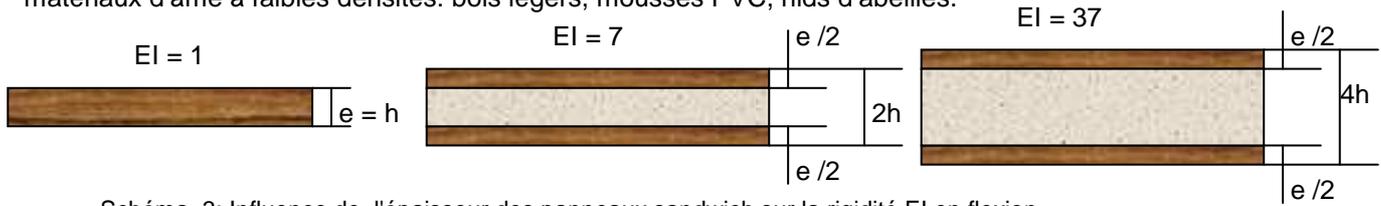


Schéma 3: Influence de l'épaisseur des panneaux sandwich sur la rigidité EI en flexion

Dans les structures sandwichs, les contraintes normales dans les peaux diminuent en fonction du carré de l'épaisseur de l'âme. Cela augmente très rapidement la rigidité en flexion de la structure. Les contraintes normales dues à la flexion se concentrent dans les peaux. L'âme a un rôle primordial dans la cohésion de l'ensemble: elle empêche en particulier le flambage des peaux.

La flexion induit des contraintes de traction dans la peau inférieure, de compression dans la peau supérieure, et respectivement celles-ci ont tendance à se rapprocher de la fibre neutre (compression de l'âme) et à s'éloigner (traction de l'âme).

Le rôle du «cœur» d'une structure sandwich est donc de résister aux contraintes importantes d'arrachement, de compression et de cisaillement.

Autre paramètre important, les propriétés mécaniques du bois sont moins sensibles aux variations de température que les matériaux d'âme du type mousse de PVC. Pour une structure sandwich bois portée à 80°C, le cœur reprendra les efforts de compression et résistera très bien au flambage des peaux.

L'emploi de renforts unidirectionnels ou de multi-directionnels cousus (multiaxiaux) stratifiés sur le bois (Tableau-4) permet de renforcer les zones de fortes contraintes à moindre poids ou d'optimiser des directions d'efforts.

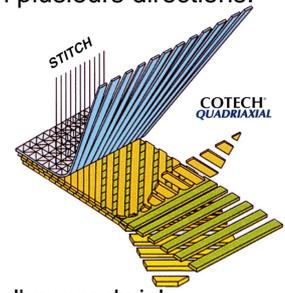
Appellation et mode de Tissage	Sens des fibres par rapport à l'axe du bateau	Emplois dans les composites Bois / Epoxy
Unidirectionnel UD Fibres fixées ou cousues	0°	En général, renforce l'axe du bateau (0°), lamellé collé, quilles
Taffetas, Sergé Tissés	0° / 90°	Protection de surfaces de bordés en bois moulé ou CP. Renforce les lisses jointives des petites unités : canoës, voile aviron jusqu'à 5m, petits multicoques (carbone / Aramide)
Roving cousus LT Cousus	0° / 90°	Intérieur des coques lisses jointives, sandwichs balsa bois de bout
Biaxiaux Cousus Bx	-45° / +45°	Extérieur des coques lisses jointives, stratifiés sur joint-congés, restauration des bordés traditionnels, panneaux sandwichs pour cloisons structurelles, lamellé collé (résistance en torsion), soudure coque-pont
Triaxiaux longitudinaux Cousus TLx	0°/-45°/+45°	Extérieur des coques lisses jointives, constructions sandwichs balsa bois de bout. Lamellé collé, panneaux sandwichs pour cloisons structurelles
Triaxiaux transversaux Cousus Ttx	-45°/90°/+45°	Posés à 90° ils renforcent le 0° des constructions lisses jointives Panneaux sandwichs pour cloisons structurelles
Quadriaxiaux Cousus Qx	0°/-45°/90°/+45°	Constructions sandwich balsa bois de bout, zones à très fortes contraintes, panneaux sandwichs pour cloisons structurelles

Tableau 3: Types de fibres utilisées dans les composites bois

Les multiaxiaux: avantages technologiques, styles, références

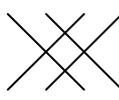
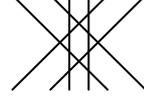
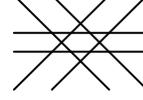
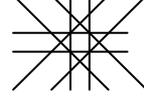
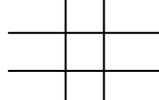
On désigne par multiaxiaux, des plis de fibres unidirectionnelles cousues entre elles selon plusieurs directions. La référence étant l'axe du rouleau de tissu (0°), les multiaxiaux sont cousus selon:

- 2 directions: Bi-axial ou Longitudinal transversal
- 3 directions: Tri-axial longitudinal ou transversal
- 4 directions: Quadriaxial



Avantages:

- Plus résistant: les fibres sont parfaitement alignées et tendues
- Consommation moindre de résine: moins d'embuvage
- Plus facile à imprégner comparé à un tissu tissé de même grammage
- Economie de temps lors de la stratification: un seul tissu à poser de part et d'autre d'un sandwich
- Optimisation sur l'orientation des efforts

Orientations des fibres						
	-45° / +45°	-45° 0 +45°	-45° 90° +45°	0°-45°90°+45°	0° 90°	0°
Références	Bx Biaxial Style	Tlx Triaxial longitudinal Style	Ttx Triaxial transversal Style	Qx Quadriaxial Style	Lt Longitudinal Transversal Style	L Unidirectionnel Style
Verre E	254 318 424 446 590 602 802 936 1002 1202	583 751 895 1169	895 1227	610 868 1034 2336	566 850 1134	425 567
Carbone	340 440 624 800	976	530	720 1309		125 250 300
Aramide	514	555	550	737		
Verre E / Aramide	400					

Les tissus multiaxiaux SICOMIN en verre E peuvent être sur option, cousus sur mat de verre 100, 225 300 ou 450 g/m².

Tableau 5: Styles et références des multi-axiaux SICOMIN

Les méthodes d'assemblages en bois / époxy

Conditions d'application des systèmes époxydes:

Les surfaces à coller doivent être propres et sèches et être maintenues dans cet état jusqu'à l'application de l'adhésif. L'humidité diminue le mouillage de la surface par l'époxy (sauf formulation spécifique). En principe, un collage doit être différé en extérieur par mauvais temps: pluie, froid, forte humidité de l'air.

La qualité d'un collage dépend des conditions de travail suivantes:

- température
- humidité de l'air
- propreté du poste de travail
- conditionnements maintenus fermés, surtout pour le durcisseur qui réagit avec le CO₂ atmosphérique
- qualité du dosage et du mélange des composants
- adhésif adapté au support, charges adaptées à l'utilisation finale
- bonne adsorption et mouillage
- pas de contrainte pendant le processus de prise
- durée de prise, pression
- durée de vie en pot

Conception d'assemblage collé

On admet en général que la résistance du joint croît de façon proportionnelle à la longueur de recouvrement, mais les essais indiquent que ce n'est nullement le cas. La résistance à la rupture croît avec le recouvrement jusqu'à une longueur de recouvrement optimale, mais devient moins importante ensuite. Un joint devrait être calculé de telle sorte que la résistance des substrats soit pleinement mise à profit. C'est le cas si la contrainte de traction dans le film de colle est égale à la contrainte d'allongement du matériau. Il s'agit de déterminer une longueur de recouvrement correspondant aux résistances optimales. En règle générale on adopte dans la pratique:

Bois faible densité: 8 à 10 fois l'épaisseur
Bois haute densité: 12 à 15 fois l'épaisseur

Types d'assemblages:

L'application d'une force de traction induit des contraintes de traction dans le bois et de cisaillement dans le film de colle. L'allongement, variable le long de la surface de recouvrement, conduit à une répartition de la contrainte qui obéit à une loi hyperbolique. La force de traction exercée sur les deux extrémités du joint n'étant pas dans le même plan, l'assemblage est en plus soumis à un effort de flexion qui provoque des contraintes de traction normales à sa surface. Ces contraintes sont maximales aux extrémités du joint, et peuvent provoquer du pelage dans le cas de grandes longueurs de recouvrement.

	Bout à bout	Petite surface de collage, résistance minime par rapport au substrat. Ne convient pas à la transmission des forces. A éviter
	Simple	Résistance moyenne. Préféré pour les sections faibles. Transmission des forces au recouvrement, satisfaisantes sous contrainte normale.
	Scarf	De bonnes résistances peuvent être atteintes, même sous contrainte dynamique
	Collage 2 faces	Excellente résistance
	Double gradin	Excellent mais cher

Le joint congé

Son rôle, ses utilisations

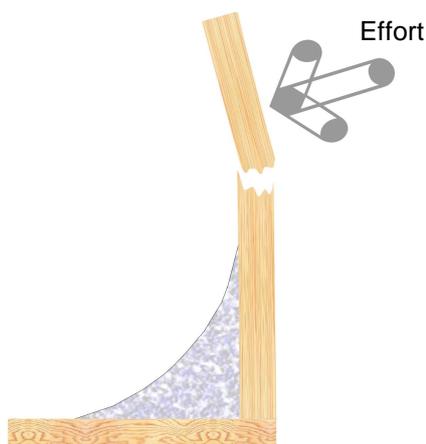
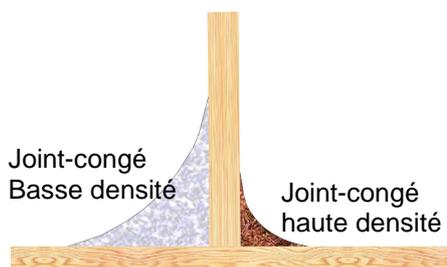
C'est la méthode d'assemblage la plus répandue dans la construction navale moderne. Un joint-congé est constitué d'un système chargé appliqué dans l'angle formé par deux panneaux à assembler. Cette méthode est idéale lorsqu'on assemble des pièces qui se rencontrent selon des angles différents: cloison sur le bordé, liaison intérieure coque-pont, sièges, coffres...

Le joint-congé est réalisé par l'incorporation au mélange résine-durcisseur de charges renforçantes (**Treecell-Silicell**) et/ou allégeantes (microsphères creuses-**Silicell**); on obtient ainsi des mélanges «haute densité» ou «basse densité».

Par son dimensionnement (rayon, nature, stratifié ou non), l'assemblage par joint-congé soumis à une contrainte doit casser hors du plan de collage.

Le choix du couple résine - durcisseur est fait en fonction du rayon du congé et de la nature de la charge: plus le rayon est important, plus le durcisseur doit être lent.

Les microsphères creuses augmentent l'exothermie dans la masse par leurs pouvoirs isolants



Procédure de mise en œuvre :

Les parties à assembler sont ajustées et fixées provisoirement dans la configuration souhaitée (époxy durcissant en moins de 10 minutes SR 3' ou SR 10', clous, serre-joints, cales...).

Les surfaces destinées à recevoir le joint-congé sont dégraissées, poncées et dépoussiérées afin d'assurer une facilité. Imprégner au préalable le bois nu avec de la résine non chargée et appliquer le mastic sans attendre.

Enduire ou charger l'angle grossièrement avec le mélange résine / charges définies au moyen de spatule, sac plastique à coin coupé.

Mise en forme à l'aide de bâtonnet, dos de cuiller, spatule à bout rond ayant le même rayon que le congé à réaliser. La taille est aussi contrôlée par l'angle de l'outil de lissage employé.

Finition : Dès le début de la polymérisation, enlever l'excédent de système chargé avec un outil tranchant (ciseau à bois, spatule). En exerçant une légère pression sur l'outil, on laisse une surface propre entre le congé et l'adhésif de masquage.

Oter les bandes d'adhésif avant la polymérisation de la résine.

Congé haute densité	
Épaisseur du contre-plaqué	Rayon du congé
4	15
5	18
6	21
8	25
10	28
12	30
15	32

Congé basse densité	
Épaisseur du contre-plaqué	Rayon du congé
4	20
5	25
6	30
8	40
10	50
12	60
15	75



Tableau 6: Rayons recommandés pour des congés à haute et basse densité en fonction de l'épaisseur du contre-plaqué à assembler. Valeurs exprimées en mm.

Lorsque l'on recherchera des performances structurales optimales, le joint-congé sera stratifié avec du tissu bi-axial découpé en bandes plus larges que la surface du joint. On peut commencer à stratifier dès que le système commence à durcir. Cette solution permet de positionner le renfort en position verticale ou surplombante grâce au pouvoir collant (tack) de la résine en cours de polymérisation. Si cette opération est différée dans le temps, le joint-congé sera préalablement poncé et dépoussiéré avant la stratification.

Cette méthode est idéale du point de vue poids pour des joints basse densité à grand rayon.

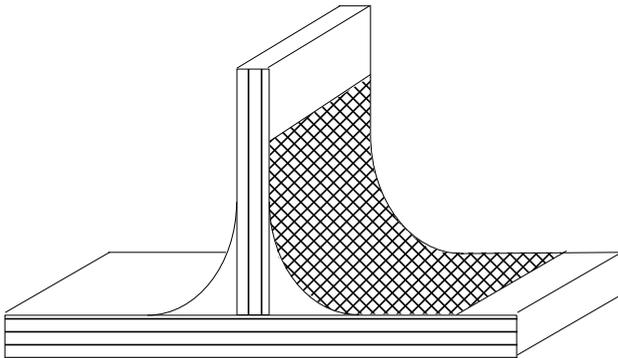


Schéma 6 : Joint-congé basse densité renforcé par un statifié Bi-axial (-45° / +45°)

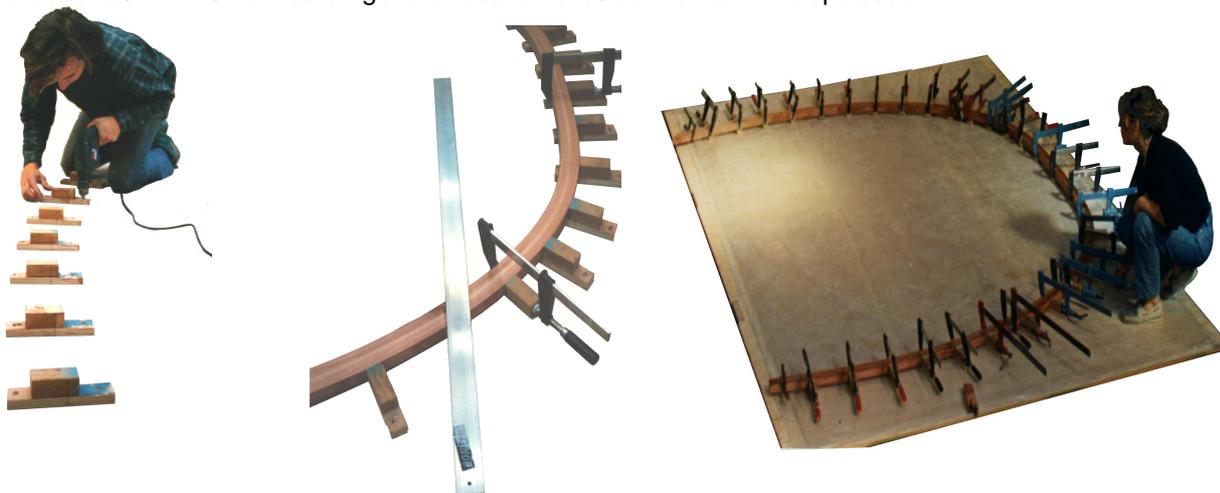
Les méthodes de construction

Diverses sont les méthodes qui peuvent être employées dans la construction navale moderne, mais toutes ont comme résultat une structure monobloc : une peau souvent d'un seul tenant et de moins en moins assistée par des membrures, mais qui arrive à absorber par elle-même les chocs et les contraintes de la navigation.

Le lamellé-collé

Dans la construction navale traditionnelle, les éléments de structure (quilles, lisses, barrots, membrures) étaient formés dans le bois massif, pliés à la vapeur ou obtenus par assemblage de bois sciés. Dans la construction moderne, ces éléments sont conçus à la forme désirée en collant plusieurs lamelles de bois maintenues sous pression jusqu'à la polymérisation de l'adhésif.

Règle d'or du lamellé-collé dans la construction navale: l'épaisseur des éléments composants le lamellé ne doit pas excéder **25 mm**. On utilise en général des lamelles de 4 à 12 mm d'épaisseur.



Les avantages techniques sont évidents:

- Amélioration des performances mécaniques: le joint de colle est mécaniquement plus résistant que les cellules lignifiées du bois. Coller deux pièces de bois, c'est interposer un polymère adhérent parfaitement sur le support, reconstituant entre ces deux pièces des liaisons mécaniques supérieures à la pièce de bois unique. Le collage c'est la soudure, au sens métallurgique du terme.
- Les probabilités de rupture dues aux défauts du bois (nœuds) sont réduites par leurs dispersions et par correction des lamelles adjacentes.
- Le lamellé composite permet des conceptions optimisées avec par exemple des lamelles d'un bois plus résistant à la superficie, du bois de faible densité au centre, des renforts multidirectionnels... tout est envisageable.
- Réalisation facile et précise de formes complexes: le lamellé-collé permet la virtuosité plaique.
- Les lamelles sont sciées ou tranchées dans des pièces de bois souvent plus économiques, plus petites ou dans des chutes.
- Réalisation de grandes longueurs avec des lamelles relativement courtes
- Réalisation de pièces courbes à petits rayons par des lamelles de faibles épaisseurs
- Fiabilité dans le temps: résistance à l'humidité et aux bactéries améliorées par le joint de colle, vieillissement sans altération des performances techniques.
- Esthétiques: mariage des essences et couleurs

Conseils de mise en œuvre

Un lamellé collé est construit sur un gabarit de la forme désirée. Il est judicieux de faire un essai à blanc afin de vérifier que :

- les lamelles préparées peuvent être cintrer à la courbure désirée,.
- le choix du durcisseur correspond avec le temps de mise en œuvre..
- les serre joints ,cales, polyane de protection sont préparés en quantité suffisante.

Le système adhésif et sa quantité utile sont déterminés par l'état de surface du matériau (bois poncé, scié, tranché..). Pour des pièces de structures lamellées, le mélange de résine sera légèrement épaissi avec des microfibrilles (**Treecell ou Wood Fill 250**), puis appliqué sur les deux faces en contact. Lorsque la pression de

serrage est appliquée, un peu d'adhésif doit apparaître à chaque joint. Dans le doute, il vaut mieux appliquer trop d'adhésif que pas assez. La quantité sera contrôlée avec l'expérience acquise. Pour les calculs de consommation de résine, on prend en général 250 à 300 g/m².

La pression de serrage ne doit pas être excessive, mais bien répartie au moyen de cales sous les serre-joints.



*Exemple de montage :
Dans l'illustration ci-jointe, le nombre de serre-joint est insuffisante..*

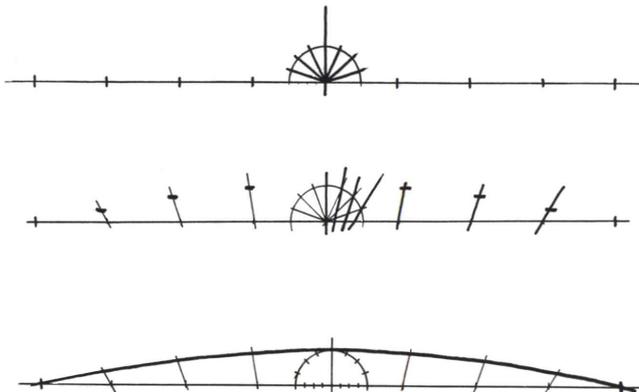
Enlever l'excédent de colle au moyen d'une spatule. La pression sera maintenue jusqu'au durcissement complet de la résine, et sera d'autant plus longue que le bois est contraint.



CN Hubert Stagnol

Tracé du bouge : Méthode ancestrale du « Quart de Nonante »

Le bouge du pont correspond généralement au « Quart de nonante », arc de cercle faisant le quart du neuvième d'un cercle complet.



- Mesurer la largeur du maître bau
- Dresser perpendiculairement au centre la hauteur du bouge
- Tracer au centre, la hauteur du bouge
- Tracer au centre du gabarit un demi-cercle de rayon égal à cette hauteur
- Diviser par 4 les 2 quarts de cercle à l'aide d'un compas
- Reporter chaque segment de division des longueurs
- Rejoindre avec une latte souple (Cp) les points ainsi obtenus

Bois moulé sur lisses

De provenance aéronautique, c'est le système le plus employé et qui s'adapte le mieux à n'importe quel type de bateau à l'unité. Le gabarit est une structure légère composée de couples, rigidifiés de longerons de bois résineux. Sur ce squelette on pose une première peau assez mince de contre plaqué qui sera le support des plis de tranchage. Rapide et simple dans sa réalisation, il offre un bon compromis entre poids et rigidité.

Construction des couples

On commence par tracer et découper les membrures dans du contre-plaqué marine enduit au préalable par deux couches de résine (*) Ces membrures sont aussi les cloisons du bateau. Pour mieux supporter la construction et lisser les courbes, il faudra interposer des couples provisoires découpés dans de l'aggloméré de 15-20 mm d'épaisseur.

Sur la circonférence des couples, on découpe les encoches pour la quille, les longerons et les bauquières.



Si le traçage est très fiable (plotters échelle 1:1 ou découpe laser) les entailles sont faites avant le montage des formes, sinon il est préférable de monter les couples, vérifier et ajuster leur forme avec des longues règles souples, ensuite tracer sur place les encoches et les découper à la scie sauteuse.

Quille, longerons et serre-bauquières

Autrefois le chêne était le bois idéal de fabrication des quilles à l'herminette pour ses caractéristiques de bois dur, nerveux, performant en compression et flexion, très résistant aux environnements humides.

Aujourd'hui la pièce de quille est réalisée en lamellé collé, et on préfère comme bois l'acajou, beaucoup plus léger que le chêne. C'est un bois très facile à trouver sur le marché, facile à travailler et surtout ne posant pratiquement aucun problème de collage avec l'époxy.

Avec l'aide de plusieurs personnes on peut coller et serrer sur la forme la quille d'un seul tenant réalisée de plusieurs lames d'acajou de 10-12 mm d'épaisseur et collées avec un mélange époxy / Treecell.ou WF 250

La quille, en lamellé collé doit s'encastrent dans les emplacements prévus dans les couples, et peut être fabriquée au préalable sur un gabarit ou bien lamellée sur place.

Il faut protéger avec du polyane les membrures pendant le lamellé de la quille. Cela permet aussi de la sortir de son emplacement pour les opérations de nettoyage (disqueuse, rabot électrique).

la quille est définitivement collée aux membrures avec un mélange bien épais d'époxy / Treecell. ou WF 250

Les longerons de section rectangulaire d'environ 18-20 mm x 30-40 mm, ne sont pas réalisés en lamellé; ce sont donc des bois résineux à fibres longues et sans nœuds comme le pin d'Orégon ou le Spruce, qui sont fréquemment sélectionnés.

Les lisses sont scarfées avant le montage pour un meilleur lissage de la courbe longitudinale. Si dans certaines zones la courbe est assez importante et que le longeron risque de casser, on fend à la scie circulaire dans l'épaisseur de la lisse à partir de l'extrémité et on colle une lamelle de bois de l'épaisseur de la lame.

Sur les grands monocoques de 25-30m, la section des longitudinaux est bien plus importante: il faut les fabriquer en lamellé. Afin de gagner du poids, on peut très bien employer du Red cedar ou de l'Acajou.

Les bauquières seront aussi en lamellé a cause de leurs sections plus importantes. Il faudra usiner les encoches pour poser les barrots du pont; le pin d'Orégon est presque toujours de rigueur même si le Spruce est accepté.

Pose du bordé

En raison de l'espacement entre les longerons (habituellement entre 20 et 30 cm) le premier pli est le plus délicat à poser et pour cette raison beaucoup de personnes préfèrent des bandes de contre-plaqué de 3 ou 4 mm, à du tranchage de la même épaisseur. Il est toujours préférable d'enduire au préalable la face du tranché ou du contre-plaqué visible à l'intérieur de la coque: travail à plat au rouleau.

Le premier pli sera collé aux membrures et longerons avec un mélange chargé au Treecell».

Pour les plis suivants un mélange moins dense d'époxy / Wood Fill 250 » sera plus adapté à l'énorme surface de contact pour si peu d'épaisseur. Les économies sur le volume de résine nécessaire à la construction et le gain de poids sont facilement démontrées.

Trois à quatre plis sont le minimum de couches que compose l'échantillonnage du bordé.

Pour des plis de 3 à 4 mm, le bois est très souvent l'Acajou grand Bassam, qui se trouve couramment dans le commerce. Le Red cedar serait idéal pour sa faible densité, mais il est difficile de s'en procurer dans ces épaisseurs car il se tranche très mal.

(*) Voir wood impreg

Bois moulé sur lisses jointives

Le bordé est constitué par des lisses jointives de Red cedar, recouvertes par 2 à 3 plis venant de tranchage. Il s'agit d'une méthode très attrayante au point de vue finition intérieure grâce à ce bois très léger aux teintes nuancées (l'intérieur de ces bateaux étant d'ailleurs vernis).

Construction

Le Red cédar est avec ses couleurs variées, un décor de choix pour les parois internes du bateau. C'est la méthode des amoureux du bois, et celle qui demande le plus de connaissances en menuiserie. Pour garantir un résultat impeccable il n'y a pas de place à l'erreur. Il sera pour cette raison préférable de prévoir un nombre supérieur de couples pour obtenir un écartement plus serré que d'habitude. Les lisses jointives n'étant pas très épaisses (9 à 12 mm pour des coques de 10 à 13 m) le respect de la forme est lié à la quantité des supports sous les lisses.

Ecartements maximum des couples (en cm)	Epaisseur du bordé (en mm)
40	12
45	15
60	20
75	24

Tableau 7: Ecartement des couples en fonction de l'épaisseur du bordé.

Toujours par souci, de perfection, l'usinage des lisses doit être méticuleux et précis. Le sifflet du scarf des différentes longueurs doit être coupé dans la hauteur de la lisse et non dans son épaisseur. Il vaut mieux voir un joint diagonal, long et parfait, que une jonction verticale plus courte mais qui, à cause de la concavité du bateau ne pourra jamais rester un trait bien défini.

La rapport hauteur / épaisseur des lisses est définie en fonction de la surface plus ou moins courbe de la coque. Cette valeur est en général égale à 1,5. Ce rapport peut descendre dans des zones plus arrondies comme les retours de quille ou les fonds comme peut passer à 2.5 dans le bordé plan d'un catamaran ou près des livets de pont.

Les lisses seront mieux ajustés dans l'épaisseur, si on usine leurs champs en concave / convexe et si on les colle entre elles avec un mélange époxy / Glasscell ou Whitecell ou WF 250 (Schéma 8). L'exigence esthétique demanderait de la résine incolore thixotropée pour limiter les éventuelles tâches sur la peau interne.

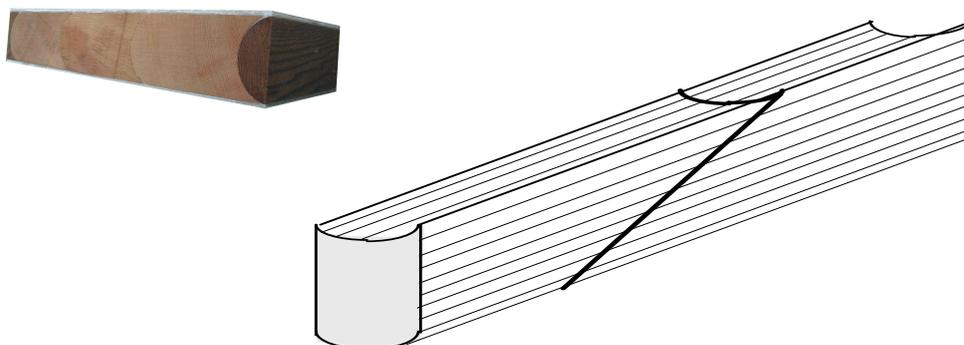


Schéma 8 - Lisse usinée en concave / convexe et scarfée

Normalement, deux plis de tranchés d' Acajou à + et - 45* de 3 à 5 mm d'épaisseur sont moulés sur le Red cédar. Pour une coque finition bois vernis, un pli longitudinal du meilleur tranchage sera collé sur l'ensemble.

Pour ce type de construction très légère, un tissu de verre de 160 à 300 g/m² est souvent stratifié sur l'extérieur de la coque.

Strip planking ou lisses jointives (Strip composite)

Le Strip planking est la méthode la plus rapide et facile des constructions sandwich. Des lisses relativement épaisses d'un bois de faible densité constituent l'âme du sandwich. Posées à l'extérieur des couples pour former un mannequin mâle (parfois femelle), elles seront ensuite stratifiées des deux côtés.



Construction

Le bois le plus utilisé pour la réalisation des lattes est le Red cédar, pour son faible poids spécifique et de son prix très raisonnable, mais n'importe quel bois de faible densité est susceptible d'être employé. Il faut toutefois se méfier des bois trop nerveux ou pas secs qui bougeraient trop avant la complète stratification du bateau.

Dans l'absolu, cette méthode demande l'apport d'unidirectionnels à 90° de l'axe du bateau, dans la peau interne en guise de membrures et des UD à + ou - 45° comme peau externe pour apporter une composante en torsion. Cela comporte un temps de mise en œuvre assez long. Il est aujourd'hui préférable d'utiliser des biaxiaux (-45°/+45°) posés à 90° de la coque où des triaxiaux longitudinaux (**Tlx**) à 90° qui sont encore plus efficaces pour améliorer la performance de l'ensemble. Finir le stratifié par la pose d'un tissu d'arrachage « Peeltex ».

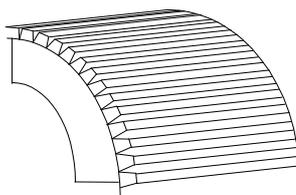
L'astuce du trapèze

Le Strip planking étant une méthode rapide de construction « vite fait..bien fait », les astuces sont donc admises pour gagner encore plus de temps. Dans cette technique, les lisses sont habituellement emboîtées et collées après usinage concave /convexe, rainurage, bouvetage ,ou n'importe quel tenon/mortaise et cloués dans l'épaisseur pour exercer de la pression et pouvoir continuer a lisser. C'est la règle de l'art et cela prend du temps.

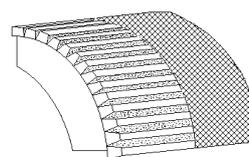
Autre solution: des lisses en forme de trapèzes sont clouées sans collage sur les couples, la base la plus large à l'intérieur de la coque. Le montage ainsi réalisé est d'une rapidité extrême. Entre deux lisses, il y aura toujours une fente ouverte de section triangulaire, même dans les parties planes du bordé.



Lisse en coupe



Lisses trapézoïdales
clouées sur couples



Lisses mastiquées, stratifiées
avec un Biaxial

Shéma 9 : Principe du montage Strip Planking avec lisses "trapèzes"

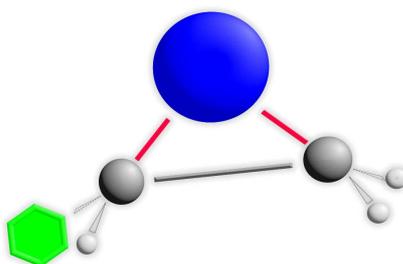
Avec une petite spatule, on remplit les fentes avec un mélange de résine chargée au Glasscell ou Whitecell.ou WF 130.

Cette opération assemble par collage l'ensemble des lisses et permet l'extraction de leurs clous de fixation après la polymérisation de la résine. Cet enduit, cloisonne les lisses et limite les infiltrations d'eau en cas de choc.

Type de construction	Bois utilisé	Renfort type et positionnement par rapport à l'axe du bateau (0°)	
		Intérieur coque	Extérieur coque
Bois moulé	Acajou	non	Taffetas de 160 à 300 g/m ² ou finition époxy / PU
Lisses jointives Strip planking	Red cédar Acajou	Bx à 90°	Bx à 90° ou LT à 90°
Sandwich	Balsa bois de bout	LT Tlx Qx	LT Tlx Qx
Contre-plaqué		Taffetas ou Sergé à 90° LT à 90°	Taffetas ou Sergé à 90° LT à 90°



Les systèmes époxydes SICOMIN pour le bois



SICOMIN propose 3 systèmes époxydes pour le bois.

Les résines sont désignées par le sigle «**SR**» et les durcisseurs par «**SD**».

Le dernier chiffre de la référence durcisseur indique sa réactivité relative: 7 très rapide, 1 ultra lent.

Nous donnons dans le tableau 10 page 20, un résumé de sélection de produits en fonction des applications.

SR 5550

Le système de référence des professionnels et amateurs

Pièces structurales de petites et grandes dimensions

Pièces fortement sollicitées: mâts, quilles, membrures, bordés...

Température d'utilisation: 15 °C à 25 °C

Choix de 4 durcisseurs en fonction de l'application

SD 5505 :	Rapide	Stratification et collage
SD 5504	Rapide	Revêtement
SD 5503	Lent	Stratification et collage
SD 5502	Très lent	Stratification, collage et enduits

Diluant EP 217 pour dilution première couche dans les opérations de revêtement.

Dosage 3 / 1 en volume

SR 8450

Le système des grosses unités ou pour les pays chauds

Collage de pièces structurales de petites et grandes dimensions, stratification,

Température d'utilisation: 20 °C à 40 °C

Choix de 3 durcisseurs en fonction de la taille des pièces et des conditions météo

Dosage 2 / 1 en volume

Wood Impreg

Revêtement époxy bi-composant, incolore, solvanté, pistolable pour l'imprégnation du bois et dérivés.

Ne convient pas pour la stratification et le collage.

Sous couche, fond dur et revêtements esthétiques et décoratifs en intérieur.

Recouvrabilité sans ponçage, (recouvrable minimum: 24 heures, maxi 6 jours,

En extérieur il sera protégé par un polyuréthane bi-composant.

Dosage 2 / 1 en volume

TopClear

Système de finition.

Stable aux UV.

Polymérisation ultra rapide.

Mise en oeuvre : nous consulter.

Sélection des systèmes époxydes et conseils de mise-en-œuvre

Opérations	SR 5550	SR 8450	Wood Impreg	Remarques et conseils
Performances mécaniques	👍👍👍	👍👍👍	👍👍	Sur la résine pure
Résistance chimique en immersion permanente	🔪🔪🔪	🔪🔪🔪	🔪🔪	
Collage du bois	👍👍👍	👍👍👍	☹️	Charger le mélange
Sensibilité aux basses températures et forte hygrométrie	❄️❄️	❄️	❄️❄️	Réaction de surface du durcisseur avec le gaz carbonique et l'humidité
Aspect de surface	☀️☀️☀️	☀️☀️	☀️☀️☀️	Meilleurs résultats à Ta > 23°C et hygrométrie < 70%
Résistance aux ultraviolets	☀️	☀️	☀️	En extérieur, protéger l'époxy avec vernis ou peinture Polyuréthane
Durée de vie en pot / Temps de durcissement en film	🕒🕒	🕒🕒	🕒🕒🕒	Exprimé sur la résine seule
Utilisation en stratifié	👍👍👍	👍👍👍	☹️	Faible grammage: SD rapide. Sous vide forte épaisseur: SD lent
Joint-congé basse densité	🔪🔪🔪	🔪🔪🔪	☹️	Charge :Wood fill 130 Si le rayon est grand le durcisseur doit être lent
Joint-congé- haute densité	👍👍👍	👍👍👍	☹️	Charge :Wood fill 250 Si le rayon est de faible dimension le durcisseur Peut être rapide.
Collage des ponts en Teck	🔪🔪🔪	🔪🔪🔪	☹️	Charger le mélange avec Treecell/Silicell ou Wood Fill 250
Insert et filetage moulé époxy	👍👍👍	👍👍👍	☹️	Appliquer sur la vis à insérer un agent démoulant (cire 103, Cirex, paraffine)Incorporer au mélange R+D: Treecel-Silicell ou Treecell-Silicell-Fillite. Pour les fortes contraintes: noyer la avec un écrou métallique
Volume de coulée	🔪🔪	🔪🔪	☹️	SD xxx1Pour des volumes supérieur à 5 litres: SR 8500 / SD 8601 ou SD 7160 Calage : CA 85

Tableau 10- Sélection des systèmes époxydes et conseils de mise en œuvre

Mémento des paramètres de mise-en-oeuvre

Systèmes SR 5550 SD 550X	Dosage Poids 100 g / x(g)	Dosage Volume 100 ml / x (ml)	Pot life sur 500g à 20° (mn)	Pot life sur 500g à 25° (mn)	Temps de travail à 20°C (h)	Tg1 Max (°C)	Viscosité Mélange A 20°C (Cps)	Viscosité Mélange A 25°C (Cps)
SD 5505	29	33	12	6	2 h 00	65	1050	820
SD 5504	29	33	18	11	2 h 30'	65	800	550
SD 5503	29	33	29	18	3 h 30'	65	690	470
SD 5502	28	33				65	600	480

Systèmes SR 8450 SD 845x	Dosage Poids 100 g / x (g)	Dosage Volume 100 ml / (ml)	Pot life sur 500g à 20° C (mn)	Pot life sur 500g à 25°C (mn)	Temps de Travail à 20°C (h)	Tg1 Max (°C)	Viscosité mélange à 20°C (Cps)	Viscosité mélange à 25°C (Cps)
SD 8454	45	50	50	42	3h30'	70	1500	1100
SD 8453	45	50	2h40'	1h50'	5h	76	1200	970
SD 8451	45	50	9h	6h	10h	67	730	500

Propriétés mécaniques des systèmes non renforcés⁽¹⁾:

Systèmes	Module E N/mm ²	Résistance traction N/mm ²	Résistance flexion N/mm ²	Résistance chocs KJ/m ²
-----------------	-------------------------------	--	---	---------------------------------------

SR 5550 / SD 550x

SD 5505	3000	68	100	26
SD 5504	2850	64	102	40
SD 5503	2810	63	105	39
SD 5502	2480	60	93	30

SR 8450 / SD 845x

SD 8454	2600 - 3000	64 - 66	100 -105	23 - 36
SD 8453	2500 - 3000	59 - 65	98 -100	21 - 33
SD 8451	2200 - 2800	52 - 61	86 - 90	24 - 42

Tableaux 9: Mémento des propriétés des résines.

(1): Pour de plus amples informations, se reporter à la fiche technique détaillée de chaque système

Conseils généraux de mise en œuvre des systèmes 5550 et 8450

Conditions d'atelier :

Poste de travail ventilé.

Température ambiante minimum pour le collage: 15°C

Température ambiante minimum pour le revêtement: 18 °C

Risques encourus en cas d'utilisation à trop basse température et forte hygrométrie: imprégnation du support insuffisante, consommation de produit excessive, durcissement lent, pollution du système.

Stockage:

Les conditionnements seront stockés à l'abri de l'humidité à 18-25°C. Refermer immédiatement les conditionnements après utilisation, notamment les durcisseurs qui réagissent avec le gaz carbonique et l'humidité. Les produits sont stables au moins un an en emballage d'origine.

Mise en œuvre :

Le dosage peut être pondéral (balance +/- 1g) ou volumique (gobelets gradués, seringues).

Mélanger intimement les 2 composants.

Transvaser dans un récipient large et ouvert: bacs secs et propres. Les résultats obtenus sont directement liés à la précision et au soin apporté aux opérations de dosage et de mélange.

Refermer systématiquement les conditionnements afin de préserver l'intégralité des propriétés physico-chimiques des composants.

Nettoyage de l'outillage: MEK, Xylènes, **EP 217** ou à défaut Acétone.

Préparation de surface:

Le bois sera sec (bois de qualité menuiserie), poncé et dépoussiéré.

L'adhésion de la résine époxy est supérieure sur un bois poncé que sur un bois raboté.

Surfaces déjà traitées à l'époxy: ponçage à sec, dépoussiérage.

Proscrire l'utilisation de solvant gras du type White spirit, leur préférer MEK, trichloréthylène, acétone.

Eviter de souiller les surfaces avant les collages ou revêtements.

Respecter l'ordre des opérations:

- 1- Dégraisser
- 2- Poncer
- 3- Dépoussiérer

Imprégnation du bois:

Travailler à une température décroissante.

La première couche d'imprégnation peut être diluée avec le diluant **EP N° 217**.

SR / SD	1 volume
Diluant EP 217	0.5 à 1 volume maximum

Conseil: Faire d'abord le mélange résine / durcisseur, bien mélanger, attendre avant de diluer:
5 minutes à 25 °C ou 10 minutes à 15 °C.

Diluer ensuite. Mélanger intimement pendant 3 minutes

Mouiller le support à traiter, l'épaisseur sera la plus fine possible afin de laisser les solvants s'évaporer rapidement. Outillage préconisé: spatule, rouleau à poils courts.

Attendre environ une demi heure et reprendre les opérations de stratification, de collage ou de revêtement.

Stratification de renforts tissés :

Les systèmes **5550** et **8450** sont adaptés à la stratification de fibres de verre sur le bois.

L'emploi du tissu de délaminage **Peeltex** en dernière couche limite les défauts de surface, supprime à 80% l'opération de ponçage avant enduit, collage ou reprise de stratification.

Adhérence inter-couches / surcouchage:

Travailler "humide sur humide".

L'adhérence inter-couches est optimale lorsque celles-ci sont appliquées avant le temps de hors-poussière (fonction du durcisseur, de la température et de l'humidité).

Si le surcouchage ne peut être réalisé dans cet intervalle, il faudra laisser polymériser jusqu'au lendemain et poncer la surface avant d'appliquer une nouvelle couche.

Collages structuraux:

Encoller à l'aide d'une spatule ou d'un pinceau.

Le système époxy de collage peut être chargé avec du **Treecell** ou du **Wood Fill 250**, afin d'augmenter sa viscosité et de combler les défauts de surface du bois.

Pour les collages sous contraintes, maintenir sous pression pendant:

36 heures si la température ambiante est de 15 °C

24 heures si la température ambiante est de 18-20°C

16 heures si la température ambiante est de 25 °C.

Les charges s'incorporent toujours **après** le mélange de la résine et du durcisseur.

SR / SD	Treecell	Silicell	Wood Fill 250
1 volume	0.5 volume	0.2 à 0.5 volume	
ou			
1 volume			1 volume

Tableau 1- Proportions conseillées de charges pour les collages structuraux à base de **5550 ou 8450**

Joint-congé :

Le joint-congé permet d'assembler des panneaux, il peut être renforcé par une bande de tissu bi-axial si les efforts structuraux le nécessitent.

- Joint-congé haute densité: incorporer au mélange résine / durcisseur la charge **Wood Fill 250** ou un mélange

Treecell / Silicell

- Joint congé basse densité: incorporer au mélange résine / durcisseur la charge **Wood Fill 130** ou un mélange de microsphères creuses / **Silicell**

SR / SD	Treecell	Silicell	Wood Fill 250	Wood Fill 130
1 volume	0.5 volume	0.5 volume		
1 volume			1.5 volume	
1 volume				2 à 2.5 volume

Tableau 2- Proportions conseillées de charges pour les joint-congés à base de **SR 5550 ou 8450**

Revêtement en parois verticales:

Préférer 2 couches fines de **SR 5550 / SD 550x** à une couche épaisse ou dilution avec EP 217.

Autre solution : Wood Impreg

Finition "bois verni"

Le comportement du revêtement époxy est optimisé par un dosage et un mélange rigoureux des composants, des conditions d'applications non critiques, d'une réticulation à l'abri des UV et d'une stabilisation du polymère par un traitement thermique de 24 heures à 25-30°C.

D'après nos connaissances, nous préconisons sous nos latitudes:

Exposition 1 mois par an ou intérieur

Finition 100% époxy: 2 à 3 couches

La qualité de surface des systèmes **5550** ou **Wood Impreg** suffit largement dans de nombreux cas de figures.

Exposition 4 mois par an:

Coque: Sous-couche époxy + vernis polyuréthane **PU 360** sur les parties non immergées, peinture époxy + Interface MPO + anti-fouling sous la flottaison.

Intérieur: Finition époxy ou époxy + polyuréthane.

La couche d'époxy est dépolie au 180 ou 240 à sec.

Appliquer plusieurs couches du vernis **PU 360**.

Protection "usage intensif"

Constructions contre-plaqué, bois moulé, bois latté, lamellé collé

Préparation de surface avant mise en peinture:

Sur bois: 2 couches d'imprégnation de résine époxy. Ponçage avant peinture

ou

Sur stratifié époxy / **Peeltex**: enduire les défauts de surface avec une résine chargée au **Mix' Fill** .
Ponçage avant peinture

Oeuvres mortes:

- 2 à 3 couches de peinture époxy Seacoat EP 215 HB

- 1 couche d'apprêt garnissant pistolable (époxy ou PU). Ponçage

- 1 à 2 couches de finition peinture polyuréthane

Oeuvres vives:

- 3 à 4 couches de peinture époxy Seacoat EP 215 HB

- 1 couche d'interface MPO

- 2 couches de peinture anti-salissure (Anti-fouling)

Intérieur:

- Au dessus de la flottaison : 1 à 2 couches de peinture époxy Seacoat EP 215 HB

1 couche de finition de peinture polyuréthane

- Dans les fonds : 1 à 2 couches de SR 434 / SD 4341

-

NB: Ces préconisations ne sont pas applicables aux constructions traditionnelles (bordé calfaté).

Consulter les fiches techniques des peintures, respecter les temps de surcouchage et les épaisseurs de films préconisés. Éviter d'appliquer une peinture polyuréthane sur les zones immergées.

Coulée de résine chargée

Plus l'épaisseur est importante, plus le durcisseur doit être lent.

Les microsphères creuses sont isolantes: la température d'exothermie sera plus forte.

Utiliser le durcisseur lent **SD 8451** systématiquement pour des épaisseurs supérieures à 1 cm.

Les époxydes peuvent être chargés avec un grand nombre de produits à condition qu'ils soient:

- non gras
- secs
- chimiquement compatibles

Type de charge	Exemple d'utilisation	Epaisseur maxi à 20°C
- Microsphères	Remplissage	5 cm
- Fillite	Calage tube d'étambot	5 cm
- Sable de rivière ou plomb de chasse	Calage de lest	10 cm

Stockage

Les conditionnements seront stockés à l'abri de l'humidité à 18-25°C. Refermer immédiatement les conditionnements après utilisation, notamment les durcisseurs qui réagissent avec le gaz carbonique et l'humidité. Les produits sont stables au moins un an en emballage d'origine

Conseils d'applications

Bien lire les notices techniques

Ne pas incorporer de produit inconnu dans le système époxy sans essai préalable (Nous consulter)

Effectuer de petits essais de mise en œuvre

Préparer de petites quantités de résine: 400 g maximum par unité de mélange

N'utiliser que des pinces et récipients secs, propres, sans gras ni peinture.

Nettoyage de l'outillage: MEK (Méthyléthyl cétone), Xylènes, diluants pour peintures époxydes ou polyuréthanes, alcool à brûler.

Hygiène et sécurité d'utilisation:

Les résines époxydes peuvent être utilisées en toute sécurité en respectant certaines règles et précautions :

Le mélange résine / durcisseur est corrosif et peut irriter la peau ou les yeux en cas de contact.

Le port de gants, lunettes de protection et tenue de travail adaptée est vivement recommandé.

En cas de contact avec les yeux, rincer immédiatement et abondamment avec de l'eau, consulter un spécialiste

En cas de contact avec la peau, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et du savon

Dans un atelier bien aéré et tempéré, la manipulation de résine ne nécessite pas d'appareil respiratoire.

Toutefois, en cas de ventilation insuffisante, de travail en milieu confiné, ou pour les personnes ayant des problèmes respiratoires, il est vivement conseillé de porter un appareil muni d'une cartouche pour vapeurs organiques A2B2 ou d'extraire les vapeurs.

Porter un masque à poussière pour les opérations de ponçage.

Ne pas fumer, boire ou manger dans les zones de préparation et d'application des résines époxydes.

Ne pas se laver les mains avec du solvant.

Lire les consignes sur l'étiquette collée au dos de chaque conditionnement.

Pour de plus amples informations, consulter les fiches d'hygiène et de sécurité complètes de chaque composant.

Nature et fonction des charges

Il est primordial de bien mélanger la résine au durcisseur avant d'incorporer les charges.

Microsphères creuses allégeantes

Whitecell: Copolymère thermoplastique blanc

Très basse densité apparente. Très basse densité des enduits de finition. Faible granulométrie. Facilité d'application (onctuosité, homogénéité, lissabilité) et de ponçabilité. Idéal pour les constructions hyper-légères, joint-congés très légers à stratifier.
Résistance chimique limitée au contact des solvants: Méthanol, Ethyl acétate, MEK, Acétone
Résistance thermique: 100°C en continu
Incorporation à la résine long et délicat (Volatile)

Microballons Phénoliques: Microsphères creuses phénoliques de couleur brune

Mélange à la résine plus aisé que le Whitecell. Applications structurales: mousses syntactiques, collages, joint-congés de couleur brune se confondant avec le bois. Facilité d'application (onctuosité, homogénéité, lissabilité) et de ponçabilité.
Maintenir les emballages hermétiquement clos

Glasscell: Microsphères de verre creuse blanche

Facilité de mélange, d'application et de ponçabilité. Fonction de remplissage par augmentation du volume de résine applicable. Enduits: allègement avant stratification de mousses alvéolaires, finition avant mise en peinture. Utilisé pour le collage des bois tendres. Mousse syntactique ayant de bonnes valeurs en compression. Performances mécaniques et inertie chimique.

Fillite: Microballons creux de silicate d'aluminium

Facilité de dispersion, bonne dureté et rigidité des moulages. Utilisée pour mastics grossiers, réagrégage de surface, isolation thermique et phonique, volumes de remplissage.
Excellente résistance en compression. Hautes performances mécaniques et inertie chimique.

Charges formulées prêtes à l'emploi

Mix Fill 30: Charge pour enduits à poncer

Charge formulée à base de microsphères pour fabrication d'enduit époxy de moyenne granulométrie facile à poncer.

Permet de gagner du temps lors des enduits de finition: une seule charge à incorporer, consistance reproductible. Economiquement très intéressant par rapport aux enduits époxydes chargés et prêts à l'emploi. Permet de rattrapper des défauts de 3 cm de creux (spatules, longues règles).

Mix Fill 10 : Charge pour enduit à poncer

Tendre, facilité de ponçage, granulométrie fine. Emploi avant les apprêts polyuréthanes
Encrasse très peu les abrasifs, poussière non collante

Wood Fill 250: Charge très polyvalente pour joint-congés et le collage du bois

Poudre beige devenant "couleur bois" après mélange avec la résine. S'utilise pour la réalisation de joint-congé "haute densité", le collage du bois... Excellentes propriétés mécaniques.

Wood Fill 130: Charge pour joint-congés

Poudre blanche pour joint-congé de faible densité.

Microfibre de bois

Treecell: Microfibre de bois (cellulose de bois pulvérisée)

Poudre blanche pelucheuse. Utilisée avec les systèmes SR 5550 ou 8450 en tant qu'adjuvant structurel. Excellentes propriétés épaississantes et de remplissage des plans de collage du bois. Pour les joint-congés haute densité, à combiner avec du Silicell pour améliorer le lissage et la thixotropie.

Agent de thixotropie**Silicell:** Silice colloïdale pyrogénée

Agent épaississant et de thixotropie (améliore la tenue en parois verticales)

Incorporé dans les systèmes époxydes, il augmente la viscosité, l'adhérence initiale (tack), la vitesse de collage et maintient en suspension les charges au cours de la gélification.

Hygroscopique: maintenir les emballages hermétiquement clos.

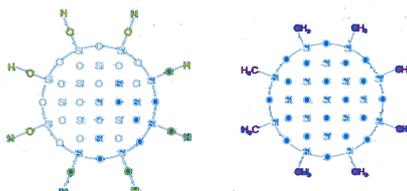
Proportions des charges dans la résine

Charges	Densité apparente	Poids min. – max pour 100 g de (R + D)	Volume min. – max pour 100 ml de(R + D)	Densité maximum des mélanges chargés (g/l)
Whitecell	36	2 - 7	120 - 190	370
Glasscell 25	140	5 - 25	30 - 200	600
Phénoliques	104	7 - 35	60 - 320	500
Fillite	350	30 - 110	85 - 320	730
Mix Fill 30	310	40 - 100	130 - 320	600
Mix Fill 10	100	24-30	240-300	660
Wood Fill 250	250	20 - 80	80 - 320	1080
Wood Fill 130	130	20 - 50	150 - 380	770
Treecell	80	5 - 17	40 - 210	1150
Silicell	50	3 - 9	60 - 180	1170
Poudre de graphite	415	20 - 70	50 - 170	1360

Taux de charge mini-maxi incorporable dans un système de résine ayant une viscosité de 800 Cps à 20°C.

* : R+D Mélange Résine et Durcisseur

Les charges **SICOMIN** ne constituent pas une base initiatrice aux maladies professionnelles. Cependant, les mêmes précautions que celles concernant la manipulation des poudres et poussières doivent être prises, afin d'en éviter l'inhalation et l'accumulation de charges électrostatiques.



Produits de finition

DECK LINE : Anti-dérapant souple

Le "**Deck Line**" est un système polyuréthane bi-composant.

Il est destiné à la réalisation de revêtements souples, imperméables, antidérapants, anti-vibratoires, insonorisants pour les ponts de bateau et toutes surfaces antidérapantes en extérieur.

Performances:

- Facilité d'application
- Longue durée de vie en pot mais séchage rapide du film
- Ne bulle pas au contact de l'humidité
- Excellente tenue au vieillissement en extérieur
- Antidérapant très efficace
- Très haute résistance à l'abrasion et aux chocs, 180 % d'allongement
- Résistance chimique envers les hydrocarbures et les milieux aqueux
- L'adhérence est très souvent optimisée par l'application de primaire Seacoat PU 228 HB ou autres, nous consulter.



Mise-en-oeuvre:

Le "**Deck Line**" s'applique comme une peinture à l'aide de rouleaux à poils longs :

Nous préconisons un minimum de 3 couches.

Poids total de matière humide appliqué: 700 g/m²

Poids du revêtement sec: 500 g/m²

Épaisseur sèche: 0.65 mm environ

Pistolage possible : voir fiche technique

Les essences de bois utilisées en construction bois / époxy

Acajou ou acajou de Bassam, N'Gollon, African mahogany (Khaya ivorensis)

Provenance: Côte d'Ivoire, Cameroun, Gabon, Ghana, Nigéria

Description: Bois de coeur brun-rose à rouge foncé, reflet satiné. Grain mi-fin, contre-fil plus ou moins accusé et régulier.

Souvent figuré. Aubier mince de 3 à 7 cm, blanc-rosé.

Rétractabilité: Retrait total moyen, peu nerveux

Propriétés mécaniques: Résistances mécaniques moyennes. Élastique, résistant aux chocs. Bonne cohésion transversale

Propriétés technologiques: Travail facile avec tous les outils, les clous et vis s'enfoncent et tiennent bien. Bois de coeur moyennement durable

Applications marines: Quille et membrures en lamellé collé, tranché pour les bordés en bois moulé,

Stabilité	Caractéristiques mécaniques
Stabilité dimensionnelle = Moyenne 2	Densité minimum à 12% = 0,49 g/cm ³
Adaptation à l'humidité ambiante = Lente2	Densité moyenne à 12% = 0,52 g/cm ³
Retrait radial = 0.13 en % pour 1% d'humidité 2	Densité maximum à 12% = 0,53 g/cm ³
Retrait tangentiel = 0.21 en % pour 1% d'humidité 2	Module d'élasticité en flexion = 9500 N/mm ² *
Aptitude au séchage : Sans difficulté2	Contrainte de rupture à la compression = 47 N/mm ² *
Aptitude au façonnage : Facile2	Contrainte de rupture à la traction = 60 N/mm ² *
	Contrainte de rupture à la flexion = 83 N/mm ² *
	Résistance au choc = 3.8 Nm/cm ²
	Dureté = tendre2
	Dureté Brinell perpendiculaire aux fibres = 14 N/mm ²
	Dureté Brinell parallèle aux fibres = 33 N/mm ²
	Dureté Monin = 1.9 mm-1

Acacia ou Robinier (Robinia pseudacacia)

Provenance: Originaire de l'Est des Etats-Unis. Planté et naturalisé en France (toutes régions).

Description: Bois jaune verdâtre à l'état frais, brunissant à la lumière. Hétérogène. Grain grossier, fil assez droit. Aspect flammé sur dosse. Aubier étroit, gris jaunâtre.

Rétractabilité: Fort retrait, très nerveux.

Propriétés mécaniques: Très bonnes résistances axiales; élastique et résilient.

Propriétés technologiques : Aptitude moyenne au sciage; se cloue difficilement. Séchage lent avec tendance à se déformer. Apte au cintrage. Bois de coeur très durable. Equarrissages de faible volumes. Noircit au contact de l'humidité

Stabilité	Caractéristiques mécaniques
Stabilité dimensionnelle = Faible 2	Densité minimum à 12% = 0,72 g/cm ³
Adaptation à l'humidité ambiante = Très lente2	Densité moyenne à 12% = 0,74 g/cm ³
Retrait radial = 0.16 en % pour 1% d'humidité 2	Densité maximum à 12% = 0,80 g/cm ³
Retrait tangentiel = 0.35 en % pour 1% d'humidité 2	Module d'élasticité en flexion = 13600 N/mm ² *
Aptitude au séchage : Délicat ; tendance à se fissurer ; tendance à se déformer2	Contrainte de rupture à la compression = 70 N/mm ² *
Aptitude au façonnage : Facile2	Contrainte de rupture à la traction = 150 N/mm ² *
	Contrainte de rupture à la flexion = 140 N/mm ² *
	Résistance au choc = 12.4 Nm/cm ²
	Dureté = très dur2
	Dureté Brinell perpendiculaire aux fibres = 48 N/mm ²
	Dureté Brinell parallèle aux fibres = 71 N/mm ²
	Dureté Monin = 9.5 mm-1

Balsa (Ochroma lagopus)

Provenance: Amérique centrale et tropicale.

Description: Bois brun pâle, aspect lustré. Grain grossier, droit fil. Aubier distinct, blanc légèrement rosé.

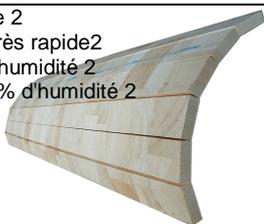
Rétractabilité: Faible retrait, peu nerveux.

Propriétés mécaniques: Très faibles résistances mécaniques en valeur absolue, mais assez bonnes pour son poids.

Propriétés technologiques : Bois très tendre présentant quelques difficultés d'usinage. Ne tient pas les vis. Altérable.

Applications marines: En bois de bout, matériaux d'âme sandwich pour sa résistance en compression. En bois de fil, modélisme

Stabilité	Caractéristiques mécaniques
Stabilité dimensionnelle = Très bonne 2	Densité minimum à 12% = 0,10 g/cm ³
Adaptation à l'humidité ambiante = Très rapide2	Densité moyenne à 12% = 0,16 g/cm ³
Retrait radial = 0.08 en % pour 1% d'humidité 2	Densité maximum à 12% = 0,23 g/cm ³
Retrait tangentiel = 0.19 en % pour 1% d'humidité 2	Module d'élasticité en flexion = 2160 N/mm ² *
Aptitude au séchage : Délicat2	Contrainte de rupture à la compression = 9 N/mm ² *
Aptitude au façonnage : Facile2	Contrainte de rupture à la traction = 30 N/mm ² *
	Contrainte de rupture à la flexion = 15 N/mm ² *
	Résistance au choc = 0.3 Nm/cm ²
	Dureté = très tendre2
	Dureté Brinell perpendiculaire aux fibres = 3 N/mm ²
	Dureté Brinell parallèle aux fibres = 6 N/mm ²
	Dureté Monin = 0.2 mm-1



Chêne (*Quercus pedunculata*)

Provenance: Toute l'Europe, régions de plaines et de moyenne altitude en France (sauf Midi méditerranéen)

Description: Bois de cœur jaune brunâtre ou fauve clair, fonçant à la lumière, fortement maillé sur quartier. Grain grossier, fil droit.

Structure hétérogène. Aubier distinct blanchâtre

Propriétés mécaniques: Excellentes résistances mécaniques, (bois à croissance rapide). Résiste bien en compression, très bien en flexion, assez résilient. Adhérent, peu fissile dans le sens tangentiel, faible cohésion dans le sens radial (gros rayons)

Propriétés technologiques: Quelquefois difficile à travailler si les accroissements sont trop larges. Séchage très délicat (Collapse).

Se cloue, se visse, se colle sans difficulté. Finition aisée. Bois de cœur très durable, mais l'aubier doit être éliminé ou traité. Contient du tanin qui attaque le fer. Noircit à l'air et à l'humidité

Applications marines: Construction navale traditionnelle: quille, membrures et pièces de charpente

Stabilité	Caractéristiques mécaniques
Stabilité dimensionnelle = Moyenne 2 Adaptation à l'humidité = Lente2 Retrait radial = 0.15 en % pour 1% d'humidité 2 Retrait tangentiel = 0.32 en % pour 1% d'humidité 2 Aptitude au séchage : Lent/délicat2 Aptitude au façonnage : Facile2	Densité minimum à 12% = 0,67 g/cm3 Densité moyenne à 12% = 0,71 g/cm3 Densité maximum à 12% = 0,76 g/cm3 Module d'élasticité en flexion = 12500 N/mm2 * Contrainte de rupture à la compression = 58 N/mm2 * Contrainte de rupture à la traction = 100 N/mm2 * Contrainte de rupture à la flexion = 97 N/mm2 * Résistance au choc = 6.2 Nm/cm2 Dureté = mi-dur2 Dureté Brinell perpendiculaire aux fibres = 32 N/mm2 Dureté Brinell parallèle aux fibres = 57 N/mm2 Dureté Monin = 3.5 mm-1

Douglas ou Pin d'Orégon / Sapin de Douglas (*Pseudotsuga douglasii* (P. Taxifolia)

Provenance: Importé de la côte occidentale des États-Unis et du Canada. Planté (reboisements) dans le Massif Central, en Bretagne, etc.

Description: Bois de cœur jaune rosé ou brun rougeâtre, très hétérogène et veiné, résineux. Fil droit. Aubier distinct, pâle.

Rétractabilité: Retrait total moyen à faible, assez peu nerveux.

Propriétés mécaniques: Le bois de couleur jaune (Côtes) a des résistances mécaniques supérieures à celui de couleur rouge (Montagnes). Résiste bien en compression, très bien en traction et en flexion. Assez fissile, peu adhérent, plutôt raide, assez résilient si accroissements entre 2 et 4 mm. Remplace souvent le pitchpin

Propriétés technologiques: Bois facile à travailler. La présence de gros nœuds peut rendre le sciage délicat. L'hétérogénéité très grande présente des inconvénients pour le rabotage (surface ondulée). Se cloue et se visse bien, mais il est recommandé de percer des avant-trous. Se colle bien. La finition n'est pas toujours impeccable (présence de résine). Bois de cœur assez durable.

Applications marines: Serre bauquière, longerons du bois moulé, strip planquing non stratifié

Stabilité	Caractéristiques mécaniques
Stabilité dimensionnelle = Bonne 2 Adaptation à l'humidité ambiante = Rapide2 Retrait radial = 0.17 en % pour 1% d'humidité 2 Retrait tangentiel = 0.27 en % pour 1% d'humidité 2 Aptitude au séchage : moyennement rapide2 Aptitude au façonnage : Facile2	Densité minimum à 12% = 0,51 g/cm3 Densité moyenne à 12% = 0,53 g/cm3 Densité maximum à 12% = 0,55 g/cm3 Module d'élasticité en flexion = 12100 N/mm2 * Contrainte de rupture à la compression = 55 N/mm2 * Contrainte de rupture à la traction = 93 N/mm2 * Contrainte de rupture à la flexion = 85 N/mm2 * Résistance au choc = 4.8 Nm/cm2 Dureté = tendre2 Dureté Brinell perpendiculaire aux fibres = 18 N/mm2 Dureté Brinell parallèle aux fibres = 44 N/mm2 Dureté Monin = 2.2 mm-1

Doussié ou *Atzelia*, Lingué, Azodau, apa, m'bangha.

Provenance: Afrique de l'ouest, Caméroun, Nigéria, Gabon

Description: Bois parfait brun clair à brun rouge. Aubier distinct blanchâtre. Grain plutôt grossier. Texture homogène.

Densité: 0.7 à 1

Durabilité: Bois très durable.

Propriétés mécaniques: Bonnes propriétés mécaniques. fissile. contre-fil. bois odorant, usinage nécessitant des outils adaptés : lames Stilitées et outillages au carbure de tungstène.

Emplois: Menuiserie, ébénisterie, charpente, construction navale, construction lourde (hydraulique).

Stabilité	Caractéristiques mécaniques
Stabilité dimensionnelle = Bonne 2 Adaptation à l'humidité ambiante = Très lente2 Retrait radial = 0.12 en % pour 1% d'humidité 2 Retrait tangentiel = 0.20 en % pour 1% d'humidité 2 Aptitude au séchage : Lent ; Sans difficulté2 Aptitude au façonnage : Facile ; désaffûtant2	Densité minimum à 12% = 0,73 g/cm3 Densité moyenne à 12% = 0,80 g/cm3 Densité maximum à 12% = 0,83 g/cm3 Module d'élasticité en flexion = 13700 N/mm2 * Contrainte de rupture à la compression = 74 N/mm2 * Contrainte de rupture à la traction = 120 N/mm2 * Contrainte de rupture à la flexion = 173 N/mm2 * Résistance au choc = 6.8 Nm/cm2

	Dureté = dur2 Dureté Brinell perpendiculaire aux fibres = 39 N/mm2 Dureté Monin = 7.4 mm-1
--	--

Epicéa de Sitka ou Sitka spruce (*Picea sitchensis*)

Provenance: Importé de la côte occidentale des Etats-Unis et du Canada. Reboisement dans le Massif Central et en Bretagne
Description: Bois de cœur crème-rosé, fonçant plus ou moins à la lumière, reflets argentés. Fil très droit, accroissements très serrés (0.5 à 2mm) parfois indentés. Poches de résines fréquentes. Aubier distinct, de couleur blanc-crème
Rétractabilité: Retrait total faible, assez peu nerveux
Propriétés mécaniques: Excellentes pour son poids. Très résilient
Propriétés technologiques: Bois assez facile à travailler. Une certaine tendance à l'arrachement des fibres lors du sciage. Le ponçage fin n'est habituellement pas recherché. Bois peu durable mais meilleur que le sapin. Construction aéronautique, âmes de ski
Applications marines: Mats, serre bauquière, lisse jointives, barrotage en lamelle collé, longerons

Stabilité	Caractéristiques mécaniques
Stabilité dimensionnelle = Moyenne 2 Adaptation à l'humidité ambiante = Rapide2 Retrait radial = 0.17 en % pour 1% d'humidité 2 Retrait tangentiel = 0.30 en % pour 1% d'humidité 2 Aptitude au séchage : Sans difficulté ; Rapide2 Aptitude au façonnage : Facile2	Densité minimum à 12% = 0,40 g/cm3 Densité moyenne à 12% = 0,44 g/cm3 Densité maximum à 12% = 0,45 g/cm3 Module d'élasticité en flexion = 9600 N/mm2 * Contrainte de rupture à la compression = 36 N/mm2 * Contrainte de rupture à la traction = 73 N/mm2 * Contrainte de rupture à la flexion = 65 N/mm2 * Dureté = tendre2 Dureté Brinell perpendiculaire aux fibres = 14 N/mm2 Dureté Monin = 1.3 mm-1

Frêne ou Fayard (*Fraxinus excelsior*)

Provenance: Toute l'Europe sauf la Méditerranée. Disséminé dans toutes les régions de la France: plaines, collines fraîches, basses montagnes
Description: Bois blanc jaune nacré. Fil droit parfois ondulé. Grain assez grossier. Structure très hétérogène. Fine maillure sur quartier. Chez les vieux arbres, on rencontre le «cœur noir» (Frêne «olivier»). Aubier non distinct
Densité: 0.65 à 0.75
Dureté: Dur, mi-lourd
Rétractabilité: Retrait total moyen à fort, moyennement nerveux à nerveux selon la vitesse de croissance
Propriétés mécaniques: Les bois à croissance rapide (cernés > 5mm) ont d'excellentes résistances mécaniques.
Résiste bien en compression, très bien en traction et flexion. Elastique et très résilient. Peu fissile, assez adhérent
Propriétés technologiques: Sciage assez difficile: encrassement des lames. Usinage facile. Se ponce et se colle bien., Bois non durable facilement attaqués par les vers
Applications marines: Membrures, avirons, barrotage, bras de catamarans en lamellé collé.

Stabilité	Caractéristiques mécaniques
Stabilité dimensionnelle = Moyenne à bonne 2 Adaptation à l'humidité ambiante = Très lente2 Retrait radial = 0.16 en % pour 1% d'humidité 2 Retrait tangentiel = 0.27 en % pour 1% d'humidité 2 Aptitude au séchage : Lent ; Délicat ; tendance à se déformer ; tendance à se fissurer2 Aptitude au façonnage : Facile2	Densité minimum à 12% = 0,63 g/cm3 Densité moyenne à 12% = 0,65 g/cm3 Densité maximum à 12% = 0,67 g/cm3 Module d'élasticité en flexion = 11200 N/mm2 * Contrainte de rupture à la compression = 57 N/mm2 * Contrainte de rupture à la traction = 80 N/mm2 * Contrainte de rupture à la flexion = 105 N/mm2 * Résistance au choc = 3.8 Nm/cm2 Dureté = mi-dur2 Dureté Brinell perpendiculaire aux fibres = 29 N/mm2 Dureté Brinell parallèle aux fibres = 66 N/mm2 Dureté Monin = 4.0 mm-1

Okoumé ou Gaboon (UK) (*Aucoumea klaineana*)

Provenance: Gabon, Congo (Brazzaville), Guinée équatoriale.
Description: Bois de cœur rose saumon plus ou moins foncé. Grain mi-fin, contre-fil plus ou moins saillant. Bois à texture homogène. Aubier différencié grisâtre, de 2 à 5 cm.
Rétractabilité: Retrait total plutôt faible, peu nerveux.
Propriétés mécaniques: Assez faibles résistances mécaniques. Peu fissile.
Propriétés technologiques: Désaffûte rapidement les scies; se colle, se peint, se vernit facilement. Tient bien les clous et se visse bien. Durabilité moyenne du bois de cœur, très putrescible, noircit à l'humidité
Applications marines: En déroulé, c'est le plus utilisé en contre-plaqué

Stabilité	Caractéristiques mécaniques
Stabilité dimensionnelle = Bonne 2 Adaptation à l'humidité ambiante = Rapide2 Retrait radial = 0.15 en % pour 1% d'humidité 2 Retrait tangentiel = 0.23 en % pour 1% d'humidité 2 Aptitude au séchage : Sans difficulté ; Rapide2 Aptitude au façonnage : Facile2	Densité minimum à 12% = 0,43 g/cm3 Densité moyenne à 12% = 0,44 g/cm3 Densité maximum à 12% = 0,45 g/cm3 Module d'élasticité en flexion = 7800 N/mm2 * Contrainte de rupture à la compression = 36 N/mm2 * Contrainte de rupture à la traction = 61 N/mm2 *

	Contrainte de rupture à la flexion = 87 N/mm ² * Résistance au choc = 2.0 Nm/cm ² Dureté = tendre ² Dureté Brinell perpendiculaire aux fibres = 12 N/mm ² Dureté Brinell parallèle aux fibres = 30 N/mm ² Dureté Monin = 1.4 mm-1
--	---

Iroko ou Kambala (*Chlorophora excelsa*)

Provenance : Côte d'Ivoire, Cameroun, Ghana, Nigeria, Congo (Kinshasa et Brazzaville)

Description : Bois de cœur brun jaune plus ou moins foncé, grain grossier, fibre assez enchevêtrée. Légèrement huileux au toucher. Contre-fil donnant un aspect rubané sur quartier. Aubier différencié jaune pâle, de 5 à 6 cm.

Rétractabilité : Retrait total plutôt faible, moyennement nerveux.

Propriétés mécaniques : Bonnes résistances mécaniques. Résistance aux chocs moyenne, comparable à celle du chêne.

Propriétés technologiques : usinage en général facile, sauf si contre-fil trop accusé. Prend un beau poli, difficile à peindre et coller si non préalablement dégraissé. Résistant aux pourritures et aux termites. Très durable. Aubier altérable à éliminer.

Applications marines: Esthétique ,peut substituer le Teck

Stabilité	Caractéristiques mécaniques
Stabilité dimensionnelle = Moyenne à bonne 2 Adaptation à l'humidité ambiante = Très lente ² Retrait radial = 0.16 en % pour 1% d'humidité 2 Retrait tangentiel = 0.27 en % pour 1% d'humidité 2 Aptitude au séchage : Lent ; Délicat ; tendance à se déformer ; tendance à se fissurer ² Aptitude au façonnage : Facile ²	Densité minimum à 12% = 0,63 g/cm ³ Densité moyenne à 12% = 0,65 g/cm ³ Densité maximum à 12% = 0,67 g/cm ³ Module d'élasticité en flexion = 11200 N/mm ² * Contrainte de rupture à la compression = 57 N/mm ² * Contrainte de rupture à la traction = 80 N/mm ² * Contrainte de rupture à la flexion = 105 N/mm ² * Résistance au choc = 3.8 Nm/cm ² Dureté = mi-dur ² Dureté Brinell perpendiculaire aux fibres = 29 N/mm ² Dureté Brinell parallèle aux fibres = 66 N/mm ² Dureté Monin = 4.0 mm-1

Samba ou Ayous, Obéché (UK) (*Triplochiton scleroxylon*)

Provenance : Côte d'Ivoire, Cameroun, Ghana, Nigeria

Description : Bois de couleur blanc crème fonçant légèrement à la lumière. Parfois un léger contre-fil. Grain plutôt grossier. Aubier non différencié.

Rétractabilité : Retrait total faible, peu nerveux

Propriétés mécaniques : Faibles résistances mécaniques, mais assez résistant aux chocs.

Propriétés technologiques : Usinage très facile. Se peint et se colle très bien. Peu durable. Sensible à l'attaque des insectes et au bluissement, à protéger.

Applications marines: Moules perdus, longerons dans le motonautisme. Quelques constructions en lisse jointives

Stabilité	Caractéristiques mécaniques
Stabilité dimensionnelle = Très bonne 2 Retrait radial = 0.10 en % pour 1% d'humidité 2 Retrait tangentiel = 0.19 en % pour 1% d'humidité 2 Aptitude au séchage : Sans difficulté ; Très rapide ² Aptitude au façonnage : Facile ²	Densité minimum à 12% = 0,37 g/cm ³ Densité moyenne à 12% = 0,38 g/cm ³ Densité maximum à 12% = 0,40 g/cm ³ Module d'élasticité en flexion = 6000 N/mm ² * Contrainte de rupture à la compression = 30 N/mm ² * Contrainte de rupture à la traction = 48 N/mm ² * Contrainte de rupture à la flexion = 73 N/mm ² * Résistance au choc = 3.3 Nm/cm ² Dureté = très tendre ² Dureté Brinell perpendiculaire aux fibres = 13 N/mm ² Dureté Brinell parallèle aux fibres = 24 N/mm ² Dureté Monin = 1.2 mm-1

Sequoia ou Redwood (*Sequoia sempervirens*)

Provenance : Importé de la côte occidentale des Etats-Unis (Californie)

Description : Bois de cœur brun rougeâtre, ressemblant au Western Red Cedar dans ses caractères généraux, mais à éclat plus lustré. Grain fin. Fil droit. Aubier différencié blanc, très étroit.

Densité : 0,40 à 0,45

Dureté : Tendre et léger

Rétractabilité : Faible retrait, très peu nerveux.

Propriétés mécaniques: Légèrement inférieures à celles du pin sylvestre. Fissile et cassant aux chocs.

Propriétés technologiques : Se travaille bien, se colle de façon satisfaisante. Prend bien les clous et les vis, se vernit et se peint bien. Bois de cœur extrêmement durable.

Applications marines: Identiques au Red Cédar

Sipo ou Assié / Utile (UK) (*Entrando-phragma utile*)

Provenance : Côte d'Ivoire, Cameroun, Gabon, Ghana, Congo (Brazzaville)

Description : Bois de cœur de couleur acajou brun-rose à reflets violacés. Grain assez fin, fibre un peu tourmentée. Contre-fil donnant un aspect rubané sur quartier. Texture très homogène. Aubier différencié de couleur rose

Rétractabilité : Retrait total assez faible, moyennement nerveux

Propriétés mécaniques : Assez bonnes résistances mécaniques. Assez cassant aux chocs.

Propriétés technologiques : Usinage assez facile, légèrement désaffûtant, se peint, se vernit, se colle facilement. Les clous et les vis s'enfoncent et tiennent bien. Bois de cœur assez durable.

Applications marines: Identique à l'Acajou

Stabilité	Caractéristiques mécaniques
Stabilité dimensionnelle = Moyenne 2	Densité minimum à 12% = 0,59 g/cm ³
Adaptation à l'humidité ambiante = Très lente ²	Densité moyenne à 12% = 0,64 g/cm ³
Retrait radial = 0.20 en % pour 1% d'humidité 2	Densité maximum à 12% = 0,66 g/cm ³
Retrait tangentiel = 0.24 en % pour 1% d'humidité 2	Module d'élasticité en flexion = 10700 N/mm ² *
Aptitude au séchage : Sans difficulté ; moyennement rapide ; tendance à se déformer ²	Contrainte de rupture à la compression = 55 N/mm ² *
Aptitude au façonnage : Facile ²	Contrainte de rupture à la traction = 105 N/mm ² *
	Contrainte de rupture à la flexion = 127 N/mm ² *
	Résistance au choc = 4.0 Nm/cm ²
	Dureté = mi-dur ²
	Dureté Brinell perpendiculaire aux fibres = 18 N/mm ²
	Dureté Brinell parallèle aux fibres = 45 N/mm ²
	Dureté Monin = 3.0 mm-1

Teck ou Teak (UK) (*Tectona grandis*)

Provenance : Thaïlande, Birmanie, Indonésie, Viêt-nam, Guyane

Description : Bois de cœur brun verdâtre fonçant à la lumière, à reflets cuivrés. Grain plutôt grossier, fibre droite. Structure hétérogène. Gras au toucher. Aubier différencié blanchâtre de 1 à 3 cm, inutilisable.

Rétractabilité : Retrait total très faible, très peu nerveux

Propriétés mécaniques : Résistances mécaniques moyennes. Plutôt élastique, moyennement résistant aux chocs. Moyennement fissile.

Propriétés technologiques : Travail assez aisé, quelquefois désaffûtant; se polit très bien. Bois de cœur résistant aux champignons et aux insectes. Qualités très variables selon les origines, le teck de Siam est souvent le plus recherché pour les constructions de luxe

Applications marines: Ponts

Stabilité	Caractéristiques mécaniques
Stabilité dimensionnelle = Très bonne 2	Densité minimum à 12% = 0,65 g/cm ³
Adaptation à l'humidité ambiante = Très lente ²	Densité moyenne à 12% = 0,68 g/cm ³
Retrait radial = 0.14 en % pour 1% d'humidité 2	Densité maximum à 12% = 0,75 g/cm ³
Retrait tangentiel = 0.27 en % pour 1% d'humidité 2	Module d'élasticité en flexion = 11400 N/mm ² *
Aptitude au séchage : Lent ; relativement facile ²	Contrainte de rupture à la compression = 70 N/mm ² *
Aptitude au façonnage : Désaffûtant ²	Contrainte de rupture à la traction = 117 N/mm ² *
	Contrainte de rupture à la flexion = 106 N/mm ² *
	Résistance au choc = 4.0 Nm/cm ²
	Dureté = mi-dur ²
	Dureté Brinell perpendiculaire aux fibres = 31 N/mm ²
	Dureté Brinell parallèle aux fibres = 62 N/mm ²
	Dureté Monin = 4.0 mm-1

Western red cedar ou canoe cedar (*Thuja plicata*)

Provenance : Importé de la côte occidentale des Etats-Unis et du Canada. Quelques reboisements en France et Belgique

Description : Bois de cœur de couleur brun rougeâtre, non résineux. Le fil est droit, le grain grossier. Cette essence présente souvent des variations de teintes importantes : de brun chocolat foncé à rose saumon, qui s'estompent après exposition à la lumière. Aubier brun pâle, étroit.

Rétractabilité : Faible retrait, peu nerveux

Propriétés mécaniques : Faibles résistances mécaniques. Fissile et cassant aux chocs.

Propriétés technologiques : Bois facile à usiner. Tient assez mal les clous et les vis (qui doivent être galvanisés). Bois de cœur extrêmement durable.

Application marine: Le plus utilisé de tout les cèdres. Lisses jointives, longerons lamellés des grosses unités. Bois moulé avec des plis sciés supérieurs à 6 mm d'épaisseur

Stabilité	Caractéristiques mécaniques
Stabilité dimensionnelle = Moyenne 2 Adaptation à l'humidité ambiante = Rapide2 Retrait radial = 0.08 en % pour 1% d'humidité 2 Retrait tangentiel = 0.22 en % pour 1% d'humidité 2 Aptitude au séchage : Sans difficulté ; Rapide2 Aptitude au façonnage : Facile2	Densité minimum à 12% = 0,33 g/cm3 Densité moyenne à 12% = 0,37 g/cm3 Densité maximum à 12% = 0,39 g/cm3 Module d'élasticité en flexion = 7900 N/mm2 * Contrainte de rupture à la compression = 32 N/mm2 * Contrainte de rupture à la traction = 55 N/mm2 * Contrainte de rupture à la flexion = 51 N/mm2 * Résistance au choc = 2.9 Nm/cm2 Dureté = très tendre2 Dureté Brinell perpendiculaire aux fibres = 9 N/mm2 Dureté Brinell parallèle aux fibres = 25 N/mm2 Dureté Monin = 0.9 mm-1

Sapelli ou aboudikro, sapele, assié-sapelli, sapelli-mahagoni.

Provenance : Afrique tropicale, Côte d'Ivoire, Ghana, Cameroun.

Description : Bois parfait brun rosé à brun rouge à reflets dorés. Aubier gris rosâtre distinct. Grain fin. Bois très homogène.

Durabilité Bois moyennement durable.

Propriétés mécaniques : Bonnes propriétés mécaniques, contre-fil, Bois assez nerveux assez facile à usiner.

Emplois : Menuiserie ,ébénisterie ,construction navale, placage industriel des panneaux, (contre-plaqué)

Stabilité	Caractéristiques mécaniques
Stabilité dimensionnelle = Moyenne 2 Adaptation à l'humidité ambiante = Très lente2 Retrait radial = 0.22 en % pour 1% d'humidité 2 Retrait tangentiel = 0.29 en % pour 1% d'humidité 2 Aptitude au séchage : Lent ; Délicat ; tendance à se déformer2 Aptitude au façonnage : Facile2	Densité minimum à 12% = 0,59 g/cm3 Densité moyenne à 12% = 0,65 g/cm3 Densité maximum à 12% = 0,73 g/cm3 Module d'élasticité en flexion = 11200 N/mm2 * Contrainte de rupture à la compression = 62 N/mm2 * Contrainte de rupture à la traction = 85 N/mm2 * Contrainte de rupture à la flexion = 142 N/mm2 * Résistance au choc = 5.6 Nm/cm2 Dureté = mi-dur2 Dureté Brinell perpendiculaire aux fibres = 25 N/mm2 Dureté Brinell parallèle aux fibres = 45 N/mm2 Dureté Monin = 3.6 mm-1



Résines époxydes : stockage / hygiène / sécurité

stockage

Résines liquides époxydes sans solvant:

Elles sont stables à température ambiante (15-25°C) durant de longues périodes (1 an minimum) dans leur emballage d'origine. Certaines références peuvent cristalliser quelques mois après leur formulation. Ce phénomène réversible est lié à la pureté de la résine de base, au degré de modification, à la nature des adjuvants et à la température de stockage. La résine commence par se troubler et peut évoluer jusqu'à la solidification. Elle peut être ramenée à l'état liquide et redevenir utilisable après chauffage à 60°C pendant 4 heures ou 15 secondes au four micro-ondes.

L'étuvage à plus de 60°C pendant de longues périodes entraîne une augmentation de viscosité et un changement de couleur. La stabilité au stockage à chaud varie avec les formulations.

Les conditionnements entamés seront conservés bien fermés, afin d'éviter l'évaporation de composants volatiles et de limiter le contact avec l'humidité de l'air.

Durcisseurs pour résines époxydes

Les bases de formulation des durcisseurs sont en règle générale sensibles au gaz carbonique et à l'eau. Les conditionnements d'origine seront stockés à 15-20°C dans un local sec et ventilé. Les agents de polymérisation SICOMIN ont une durée minimum de stockage d'un an. Après chaque utilisation, reboucher immédiatement les récipients d'origine.

Point éclair, risques d'inflammabilité

Le point éclair d'un produit est la température minimale sous une pression atmosphérique normale, à laquelle il faut le porter pour que les vapeurs émises produisent, au contact de l'air et en présence d'une flamme dans les conditions de l'essai, une inflammation instantanée limitée aux vapeurs émises.

Les résines époxydes et durcisseurs SICOMIN formulés sans solvant ont des points éclairs supérieurs à 90°C, et donc non inflammables dans des conditions d'application à température ambiante:

Point éclair des polyamines: supérieur à 90°C
Point éclair des résines époxydes formulées: supérieur à 100°C

L'addition de solvants pour des besoins d'application fait varier de façon importante la valeur du Point Eclair

Produits de combustion dangereux

Les produits de combustion avec l'oxygène sont les oxydes de carbone (CO₂, CO) et d'azote (Nox)

Moyen de lutte contre l'incendie

Appropriés: Mousse, CO₂, poudre sèche
Contre-indiqués: Jet d'eau à grand débit

Réactions dangereuses

Résines époxydes:

Les produits dont le contact est à éviter sont les acides forts et les bases.

Une polymérisation très exothermique peut survenir avec des amines aliphatiques primaires.

Durcisseurs pour résines époxydes:

Réactions dangereuses avec les oxydants forts, les dérivés halogénés (Chlore, Brome, Fluor)

Instructions concernant les risques de fuites et les déversements

Prévoir dans les locaux de stockage et dans l'atelier :

- Des matières absorbantes prêtes à l'usage, telles que: sable, terre à diatomées
- Des appareils respiratoires munis de cartouches carbone
- Des vêtements de protection
- Proscrire le rejet aux canalisations
- Informer et entraîner le personnel à la manipulation en toute sécurité, des fuites et à l'élimination des déchets

Instructions spécifiques aux résines:

Éliminer la plus grande quantité possible avec des matières absorbantes

Appliquer sur la surface contaminée un savon liquide pur du type «**Proclean**», brosser la surface

Éliminer le savon avec une matière absorbante, essuyer

Laver la surface contaminée avec du savon Proclean et de l'eau, puis, si nécessaire à l'aide d'un solvant type Acétone, MEK, diluant peinture

Instructions spécifiques aux durcisseurs

Les risques d'inhalation étant plus importants, le port du masque à cartouche carbone est obligatoire.

Absorber la plus grande quantité possible à l'aide de matières absorbantes. Éviter si possible la sciure de bois

Appliquer sur la surface contaminée un savon liquide pur du type «**Proclean**», brosser la surface

Éliminer le savon avec une matière absorbante, essuyer

Neutraliser la surface polluée à l'aide d'une solution acide diluée (acide acétique à 5%), rincer à l'eau chaude

Les durcisseurs carbonatés peuvent être enlevés par un moyen mécanique.

Elimination des déchets

Transporter les résidus à une installation de combustion convenant aux matériaux produisant des vapeurs dangereuses.

Risques physiologiques

Ingestion de résine époxy:

En règle générale, les résines époxydes liquides ont une faible toxicité sur le plan oral. Si un produit est ingéré, diriger immédiatement le patient vers un centre hospitalier ou antipoison muni des fiches toxicologiques (FDS). La décision de provoquer ou non des vomissements doit être prise par un médecin.

Ingestion de durcisseur:

Lors d'une ingestion, ne pas faire vomir. Si la victime est consciente: faire boire de grandes quantités d'eau ou de lait et demander l'aide d'un médecin.

Contact de résine avec les yeux:

Les époxy peuvent être irritantes pour les yeux; le contact peut être douloureux et provoquer une irritation de la membrane conjonctivale. Rincer les yeux contaminés dans un courant d'eau fraîche à faible pression pendant au moins 15 minutes. Consulter un ophtalmologue sans délai.

Contact de durcisseurs avec les yeux:

Ces substances corrosives causent de sérieuses irritations ou lésions oculaires graves. Rincer avec beaucoup d'eau sous bonne pression pendant au moins 15 minutes. Consulter un ophtalmologiste sans délai.

Contact de résine avec la peau

Une exposition prolongée peut provoquer une irritation cutanée ou créer des réactions allergiques de la peau.

Après un contact avec la peau, essuyer avec un chiffon propre ou un papier essuie-tout, puis laver avec beaucoup d'eau chaude et du savon **Proclean**. Enlever les vêtements contaminés et les nettoyer avant réutilisation.

Contact de durcisseur avec la peau

Se laver abondamment avec du savon **Proclean** et de l'eau chaude. Enlever immédiatement les vêtements contaminés et les nettoyer avant réutilisation, jeter les articles en cuir. Consulter rapidement un médecin.

Inhalation de résine

L'inhalation de résines liquides n'est généralement pas la source de problèmes pulmonaires ou autres, exception faite des hautes températures. Une bonne ventilation mécanique est suffisante pour la plupart des applications.

Inhalation de durcisseur

Si des nausées apparaissent, amener la personne à l'air frais et consulter un médecin. Eviter l'inhalation de poussières solides de durcisseur en portant un masque anti-poussière.

Autre information: Ne jamais faire boire ou vomir si la personne est inconsciente ou a des convulsions.

Protections personnelles à observer:

- Eviter le contact avec les yeux et la peau, éviter de respirer les vapeurs ou brouillards de pistolage
- Ne pas boire ou fumer dans l'atelier
- Porter des lunettes de sécurité équipées de coques latérales
 - Porter des bottes, un tablier, des gants en PVC ou en latex jetables. Les crèmes de protection ne peuvent se substituer au port de gants
- Ne pas réutiliser des vêtements contaminés
- Installer à portée de main du papier essuie-tout et des poubelles à couvercle
- Prévoir un rince-oeil et une douche à proximité de la zone de travail
 - Prendre garde que les objets jetables contaminés ne deviennent pas une source de risques pour les autres ouvriers, le personnel de nettoyage, ou pour les personnes chargées de l'élimination des déchets solides.

Protections collectives

- Installer une ventilation suffisante pour extraire en toute sécurité les vapeurs et odeurs, et pour assurer une source d'air frais.
- La conception du système d'aération ne doit pas positionner l'utilisateur entre la source d'émanation et le conduit d'aspiration.
- Isoler les zones de travail de l'époxy afin de limiter l'exposition des autres employés
- Contrôler l'équipement d'extinction des foyers d'incendie
- Obliger chaque membre du personnel à maintenir une stricte hygiène de leur personne et de leur lieu de travail
- Faire en sorte que le personnel reçoive continuellement des informations sur les conséquences des contacts avec la résine.

L'informer sur les risques éventuels de nouveaux produits, sur les techniques adéquates d'élimination des déchets.

Informations environnement

Résines époxydes:

Non biodégradables, insolubles dans l'eau, modérément toxiques pour le poisson; les époxydes sont des polluants aquatiques potentiels

Durcisseurs:

Sont en général biodégradables. On évitera par tous les moyens la fuite aux canalisations

DISTRIBUTORS

A permanent stock in our warehouses insures our customers a fast service without geographic limit.

EUROPE

BELGIUM

Contact: Tony Roex, Joel Jacob
or Kristof Debaetselier
MC Technics
Rue de Maestricht 88
4600 VISE
Email: info@mctechnics.com

FINLAND

Contact: Mr. Juha Jansson
YTM-Industrial Oy/Indutrade Oy
Tiilenlyöjänkuja 9 B
FI-01720 Vantaa,
Finland
Tel: +358 40 849 1099
Mob: +358 29 006 5723
Fax: +358 29 006 230
Email: juha.jansson@ytm.fi
Web: http://www.ytm.fi

GERMANY

Contact: Michael Thon (CEO)
Time Out Composite oHG
Ottostr. 119
Bornheim
53332
Germany
Tel: +49 2227 9081 0
Fax: +49 2227 9081 29
Skype: http://www.timeout.de
Email: service@timeout.de

GREECE

Fibermax Composites
K. Garefi 5
37300 Agria Volou
Tel: +302 428 092 210
Fax: +302 421 092 270
Email: info@fibermaxcomposites.com
Web: www.fibermaxcomposites.com

HUNGARY

Alvin Plast
H 2040 Budaors Gyar U2
H 2041 Budaors PF 254
Tel: +36 23 44 55 10
Fax: +33 23 44 55 24
Email: bencsikd@alvin-plast.hu
Web: www.alvin-plast.hu

ITALY

Contact: G. Angeloni S.R.L.
G. Angeloni S.R.L.
Via A. Tommaso 72/A5
30020 Quarto d'Altino (VE)
Tel: +39 04 22 78 05 80
Fax: +39 04 22 78 27 82
Email: info@g-angeloni.com
Web: www.g-angeloni.com

LUXEMBOURG

Contact: Tony Roex, Joel Jacob
or Kristof Debaetselier
MC Technics
Rue de Maestricht 88
4600 VISE
Email: info@mctechnics.com

NETHERLANDS

Contact: Tony Roex, Joel Jacob
or Kristof Debaetselier
MC Technics
Rue de Maestricht 88
4600 VISE
Email: info@mctechnics.com

PORTUGAL

Contact: Filipe Correia
REBELCO,Lda
Parque DOROANA – Armazém
CG
Rua São Francisco, 786
Adroana 2645-019
ALCABIDECHÉ
Tel: +351 214566335
Fax: +351 214566338
Email: geral@rebelco.pt
Web: www.rcbelco.pt

RUSSIA

Contact: Maria Savostyanova
Carbon Studio
192236 Russia,
Saint-Petersburg,
Sofijskaya str., 8/1
Tel: +7 (812) 363-43-77
Fax: +7 (812) 363-43-77
Email: carbonstudio@yandex.ru
Web: www.carbonstudio.ru

DISTRIBUTEURS

Un stock permanent dans nos dépôts assure à notre clientèle un service rapide et performant sans limite géographique.

SLOVENIA

MPI KRANJ d.o.o
Bristof 126
4000 KRANJ
Tel: 00386 42 34 06 50
Fax: 00386 41 70 90 18
Email: mpi.rok@gmail.com

SPAIN

Contact: Borja Galofré Pujol
Mel Composites
Cami del Mig, 5
Pol. Ind. Els Garrofers
08340 – Vilassar de Mar –
Barcelona
Tel: +34 93 741 54 54
Fax: +34 93 799 46 00
Email: bgalofre@mels.es
Web: www.melcomposites.com

SWITZERLAND

Contact: Alex Obrist
Composite Solutions AG
Freiburgstrasse 251
CH-3018 Bern
Tel: +41 31 688 40 40
Mob: +41 31 688 40 42
Fax: +41 31 688 40 41
Email: info@compositesolutions.ch
Web: www.compositesolutions.ch

UKRAINE

Contact: Vladimir Konstantinov
Company Leader
40 Ushinskogo st.,
office 503 Kiev,
Ukraine 03151
Tel: +38 (044) 496 21 56 or +38
(050) 469 47 05
Skype: vladimirkonstantinov
Email: vladimirkonstantinov
@companyleader.com.ua
Web: www.companyleader.com.ua

UNITED KINGDOM

Contact: Wiz Deas
Matrix Composite Materials Co.
Ltd.
2 Folly Lane, St Philips, Bristol
BS2 0RH, UK
Tel: +44 117 954 8040
Mob: +44 7973 951120
Fax: +44 117 955 8511
Email: sales@mcmc-uk.com
Web: www.matrix-composites.co.uk

UNITED STATES

Contact: Tristan Touzot
Core Composites
108 Tupelo Street
Tel: 401-396-5565
Mob: 201-213-2124
Fax: 401-396-5558
Email: tristan@corecomposites.com
Web: www.corecomposites.com

CHINA

Contact: Allen Lu
FRP SERVICES & CO. (SHANG-
HAI) LTD.
Hechang Bldg,
R1301,
No.450 Caoyang Road,
Shanghai 200063,
CHINA
Tel: +86(21)6107 2634
Fax: +86(21)6107 2666
Skype: allenlu66
Email: luyingjie@frpchina.cn
Web: www.frp-services.com

AUSTRALIA

Lavender
Head office and training facility –
10/10 Miltiadis Street
Acacia Ridge
Qld 4110
Tel: +61 (0)7 3255 6924
Fax: +61 (0)7 3255 6923
Email: composites@lavender-ce.com
Web: www.lavender-ce.com

SOUTH AFRICA

DUROPLASTIC Group
Contact: Mr Clinton JOHNS
Libra Close
Brakenfell
South Africa
Tel: +27 219 811 440
Email: clinton@duroplastic.com

It's all in the Chemistry

