

Les détails techniques des matériaux composites

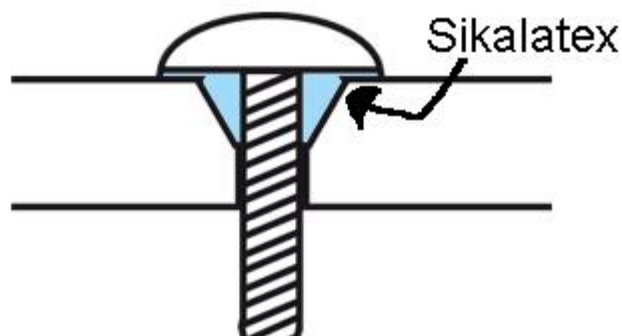
Les matériaux composites

Les matériaux composites sont partout sur les bateaux. A commencer par le plus important, la coque de votre bateau. Je vais essayer en quelques mots de vous dire ce qu'est un matériau composite. Trois éléments forment un matériau composite, il y a la matrice (résine) qui lie les fibres entre elles. Le renfort (tissu) qui procure la résistance mécanique et l'interface (catalyseur, accélérateur), qui permet la cohésion entre le renfort et la matrice. Au final nous obtenons en fait une matière plastique. Vous pouvez après avoir différents types de matériaux composites, à base de fibres de verre, de carbone ou d'aramide (kevlar). Ces fibres peuvent être imprégnées avec de la résine polyester ou époxy.

J'adore la stratification, que ce soit en réparation ou en fabrication. C'est une matière qui vous permet de tout faire, avec un outillage minimum. Vous avez envie de fabriquer un objet, vous faites votre forme et après soit vous faites un moule soit vous strater directement.

Perçage des matériaux composites.

Si vous devez percer votre bateau à un endroit où c'est un matériau composite, pour fixer un accessoire par exemple, il y a quelques trucs à connaître pour bien percer et étancher votre bateau. On perce les matériaux composites avec des forets pour le métal, ça chauffe très fort comme quand on perce du métal alors on y va tranquille sur la vitesse de la perceuse. Il faut toujours fraiser un trou si on y visse quelque chose dedans, pour premièrement ne pas éclater le gel-coat quand on va serrer notre vis et ça c'est à tous les coups si ce n'est pas fraisé. Deuxièmement quand on met le sikalatex pour étancher, il se met dans la gorge créée par le fraisage et ça fait un boudin de sika super étanche.



Pour les passes coque c'est pareil le bord est biseauté. Pour percer des trous de gros diamètre vous utilisez une scie cloche standard, mais de bonne qualité, allez y doucement sur la vitesse et pour de grandes ouvertures on découpe à la scie sauteuse en perçant des trous pour passer la lame. Pour découper avec une scie sauteuse il faut prendre une petite précaution pour ne pas abimer le gel-coat avec les rebonds de la scie. Vous fixez avec du

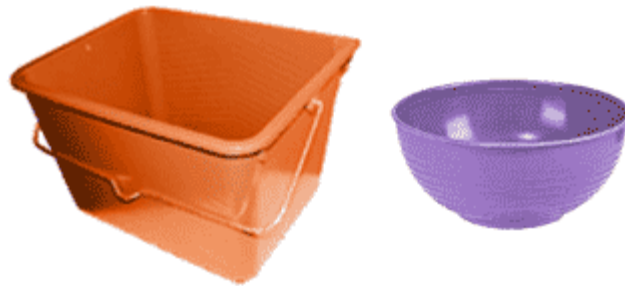
chaterton des petits patins de protection en carton sur la plaque d'appui de la scie sauteuse et vous n'aurez pas de problème de choc sur la coque de votre bateau. Surtout chaque fois que vous percez étanchez bien et rien qu'avec du sikalatex marine, un truc à savoir pour nettoyer le sika c'est que son diluant est le white spirit et non pas l'acétone. J'ai vu pleins de gens râler en utilisant le sika, car quand ils voulaient nettoyer, ils utilisaient de l'acétone et ça ne fait qu'étaler le sika, car il ne le dilut pas. Quand vous avez fini une fixation sur votre bateau et que vous avez du sika qui déborde prenez un chiffon et imbibe le de white spirit, vous enlevez déjà le plus gros et après vous lissez bien vos joints avec le chiffon bien mouillé. Un dernier avertissement n'oubliez pas de vous protéger avec un masque quand vous percez, découpez ou poncez des matériaux composites, les micro fibres qui volent dans l'air sont très nocives pour les poumons. Si en perçant une coque vous voyez de la poudre jaune qui sort arrêtez de percer et mettez la perceuse en rotation inverse, la vous pouvez percer en sécurité. Quand c'est jaune c'est du kevlar (aramide), c'est le composite le plus solide il y a risque de blocage de la mèche dans le sens normal.

Voilà ce sont les précautions à prendre pour percer des matériaux composites, surtout n'oubliez pas le sika, comme en mécanique il ne faut pas oublier de toujours mettre de la graisse sur les boulons.

[L'outillage pour les matériaux composites](#)

Une des particularités du travail des matériaux composites que j'aime bien, c'est qu'on peut les travailler avec de gros moyens (sous vide, étuve, pistolet résine + fibre ...) ou seulement un pinceau et un rouleau débulleur. Il ne faut vraiment pas un gros outillage pour faire tout ce que vous voulez avec un peu de tissu de verre et de la résine polyester.

Une des premières choses qu'il vous faut c'est un récipient pour mélanger votre résine et votre catalyseur. Ils sont en polypropylène et polyéthylène, comme ces deux matières plastiques sont auto-démoulantes, vous ne lavez pas vos récipients à la fin du travail, vous laissez catalyser le reste de résine et après ça se démoule tout seul. Vous trouvez des bols, des cuvettes de 450 ml à plus de 2,5 litres, pour les gros travaux les camions (seau) pour peinture de sept litres vont très bien.



Il vous faut ensuite de quoi doser votre catalyseur, vous avez à disposition des bécjers graduées de différentes contenances.



Ce que je préfère pour ma part ce sont les doseurs manuels avec réservoir, le réservoir pour le durcisseur est souple, il suffit d'appuyer dessus pour que le catalyseur monte dans un récipient gradué. Pas besoin d'ouvrir à chaque fois un bidon et de verser dans un doseur.



Il existe aussi des éprouvettes graduées en plastique, des pipettes ou vous pouvez doser avec une seringue.

Un autre outil indispensable des pinceaux, il les faut en bois brut sans peinture dessus qui risquerait de se diluer avec la résine. Selon le travail à exécuter il vous faut différentes tailles de 15 mm à 100 mm.

Pour appliquer la résine sur de grandes zones il vous faut une patte de lapin (petit rouleau pour peinture) et prévoyez des vieux bords pour les nettoyer à l'acétone.

Et l'outil qui représente le mieux le stratifieur c'est pour moi le rouleau débulleur. Vous en avez de plusieurs sortes en métal, polyamide ou téflon, des débulleurs radial, axial ou pour les angles et bien sûr de différentes tailles. Mais avec un radial de 150 mm vous arrivez à vous sortir de toutes les situations ou presque.



Une pissette comme ils ont dans les hôpitaux va bien pour avoir de l'acétone à portée de la main en cas de problèmes.

Pour la sécurité il vous faut impérativement un masque à cartouche, ne plaisantez pas avec ça le styrène contenu dans la résine est très cancérigène. Beaucoup de stratifieurs dans les

plus grandes boites du nautisme ne mettent pas de protections, j'en ai vu un qui disait qu'il n'y avait pas de problème et qui à 40 ans, crachait du sang.



Vous pouvez compléter les protections par une combinaison de peintre et des gants.

Il vous faudra en outre une meuleuse avec un disque diamant et de quoi ébarber.

L'équipement dans les unités de fabrication est en général agrémenter de machines à projection simultanée. C'est comme des pistolets à peinture pneumatique, cela envoie la résine et la fibre de verre hachée en même temps dans le moule, il n'y a plus qu'à débuller derrière. Cela évite la pose des mats de verre entre chaque roving et amène un gain de temps appréciable.

Les unités de productions en matériaux composites possèdent aussi des cabines d'aspiration qui servent surtout pour l'application du gel coat et pour la peinture ou pour détourer les pièces finies.

Les différents tissus

Nous trouvons sur le marché deux types de tissus, le mat et les tissus techniques. Ces deux types de tissus subissent un ensimage, c'est un procédé de pellicule plastique qui lie les fibres entre elles et assure une bonne cohésion entre les fils de verre. L'ensimage apporte en plus une raideur des fils entre eux et améliore l'imprégnation de la résine dans le tissu, il y a moins de charge électrostatique dues au frottement et il permet une protection contre l'abrasion des fils entre eux.

La première famille des tissus,

Les mats de verre :

Vous en avez déjà vu c'est le tissu de verre non-tissé, plein de petits fils court ensimé entre eux et sans direction spécifique, il possède une faible résistance car, ce ne sont pas des fils

tissés. On trouve des mats de verre de 100 grammes à 600 grammes par M², ils sont utilisés comme première couche d'un stratifié, pour fermer le stratifié et comme couche d'accroche entre deux tissus tissés. Le mat de verre boit beaucoup de résine deux fois son poids, si vous devez stratifier 1 M² de mat de verre de 300 grammes au M² il vous faut $2 \times 300 = 600$ grammes de résine.

Les tissus techniques :

Les tissus techniques sont des tissus tissés avec des fils de verre, ils sont de plus cousus entre eux et ils sont ensimés. On trouve dans les tissus techniques :

Les rovings, un stratifié roving se compose de 50 % de verre et 50 % résine ce qui est un bon équilibre pour obtenir de bonnes qualités mécaniques. Les rovings se composent de trois familles.

Le taffetas, est utilisé dans 80 % de l'industrie nautique, car son prix est le plus avantageux, c'est un tissage basique par-dessus et par-dessous sur un fil à chaque fois. Il est facile de travailler le taffetas, mais se déforme mal donc à utiliser sur des surfaces plates ou des arrondis sans angles cassants.

Le satin est tissé selon un ordre prédéfini pour obtenir une surface unie de chaque côté d'où son brillant. Il se déforme mieux que le taffetas.

Le sergé est tissé de telle façon que l'on aperçoit des diagonales, ils se déforment vraiment très bien et permettent de stratifier n'importe laquelle des formes.

Après les rovings vous trouvez les tissus **multi-axiaux**, ce sont des tissus auxquels on rajoute des fils à 45 degrés ou 60 degrés par exemple pour leur apporter de meilleures qualités mécaniques dans un sens ou un autre. On trouve dans les multi-axiaux les unidirectionnels pour une résistance dans une direction, les bi-axiaux, les **tri-axiaux** et les quadri-axiaux, nous nous retrouvons là avec des couches tissus cousus entre eux et donc très difficile à travailler.

Vous trouvez en outre sur le marché du composite des **roving-mat**, qui est l'association d'un mat et d'un roving. Vous pouvez avoir par exemple un roving-mat 500/300 grammes, qui sera composé d'un roving 500 grammes et d'un mat de verre de 300 grammes. Comme il faut toujours un mat entre deux rovings on applique les couches en même temps.

L'ensemble qui compose un stratifié composite s'appelle l'échantillonnage c'est-à-dire, le gel-coat, mat, roving, mat, roving, mat (selon l'épaisseur voulue).

Il faut deux fois le poids du tissu en résine pour le mat de verre et une fois son poids pour le roving (et en général un peu plus)

Les fibres dans le composite

Selon le travail à effectué ou selon les propriétés que l'on désire obtenir de la pièce à fabriquer, on va choisir telle ou telle fibre pour l'armature de notre composite.

La fibre de verre :

La fibre la plus utilisée dans le nautisme est la fibre de verre, c'est la fibre la plus facile à travailler elle se découpe facilement avec des ciseaux pour tissus courant. La fibre de verre est facilement mouillée par la résine et l'on peut vérifier l'imprégnation de la résine par transparence et les fibres de verre sont compatibles avec toutes les résines du marché (résine polyester, époxy, vinylester....).

Le stratifié obtenu se travaille aisément que ce soit pour le découper ou le poncer.

L'ensimage est de très bonne qualité (l'ensimage est le liant que l'on applique au mat de verre pour tenir les fibres entre elle vu qu'elles ne sont pas tissées).

Les fibres de verre sont composées de silice, de magnésie, de chaux, d'oxyde de potassium, d'alumine, d'oxyde de titane et d'oxyde de sodium, on chauffe le tout à 1500 degrés et on tire un fil de verre que l'on embobine.

Il existe six familles de verre différentes :

Le verre E est le plus répandu, il possède de bonnes qualités mécaniques et aussi électriques et son prix n'est pas très élevé.

Le verre R et S qui eux possèdent d'excellentes qualités mécaniques, mais qui évidemment sont beaucoup plus chers. On utilise beaucoup le verre R dans la construction aéronautique.

Le verre D est quant à lui très spécial et utilisé pour fabriquer du matériel électronique.

Le verre A lui possède une haute tenue en alcali (résistance aux acides).

Le verre C possède un gros pouvoir de résistance aux agressions chimiques.

Les fibres de carbone :

C'est une fibre de synthèse de couleur noire qui possède d'excellentes qualités mécaniques. Ces qualités mécaniques sont excellentes autant en traction qu'en compression, la fibre de carbone permet la fabrication de pièces ultra légère avec d'excellentes qualités. Le stratifié carbone possède une raideur homogène et élastique, ça le rend par contre sensible aux chocs, car les ondes se propagent très bien avec le carbone. Un choc à un endroit peut par résonance entraîner des dégâts à un autre endroit, il y a eu beaucoup de problème avec les mats carbone au début à cause des vibrations, ils ont mis au point des techniques de fabrication pour absorber ces vibrations.

Le carbone est un excellent conducteur d'électricité, il faut donc faire attention aux problèmes d'hydrolyse avec les coques de bateau en carbone et bien assuré l'isolation des accessoires.

Il existe trois familles de carbone :

Le carbone HA, l'allongement à la rupture est important, mais il est moins raide et moins

résistant que les autres, on ne l'utilise pas dans le nautisme.

Le carbone HR, pour haute résistance en effet il possède la meilleure résistance à la rupture, il est donc utilisé pour la fabrication des coques.

Le carbone HM, pour haut module il possède la plus grande raideur dans les fibres carbone, on l'utilise donc pour la construction des mats.

La fibre de carbone est très chère, dix fois plus chère que la fibre de verre, mais elle est utilisée en beaucoup moins grande quantité pour la même résistance.

Les fibres aramides :

On connaît les fibres aramides sous le nom de Kevlar, elles ont été découvertes en 1965 par des chercheurs de la société Dupont qui lui ont donné le nom de Kevlar. On reconnaît une fibre aramide à sa couleur jaune, elle est beaucoup plus difficile à travailler que la fibre de verre, à cause de la densité de ses fils le Kevlar se mouille difficilement et il est plus difficile aussi à cause de sa couleur jaune de contrôler son imprégnation.

Le meilleur procédé pour une bonne imprégnation des fibres aramides s'obtient en travaillant sous vide. Le Kevlar se travaille difficilement aussi à cause de sa dureté il faut impérativement un outillage spécifique pour le Kevlar, des ciseaux spéciaux autrement vous ne découperez pas de l'aramide avec des ciseaux normaux, des outils de détournage spécifique aussi. Un truc à savoir quand vous voulez percer du kevlar, c'est qu'il faut le percer avec une mèche pour métaux en la faisant tourner à l'envers, si vous ne faites pas cela il y a gros risque de blocage avec pétage de poignet ou de machoire. Si jamais un jour vous percez une coque et que vous voyez de la poussière jaune sortir, vous arrêtez et vous inversez le sens de rotation.

Les fibres aramides amortissent très bien les vibrations et possèdent une excellente tenue en traction, mais une faible résistance en compression. Le kevlar résiste très bien aux chocs et résiste très bien aussi à l'abrasion, il tient très bien aussi au feu. On l'utilise beaucoup pour renforcer certaines parties sur un bateau, on l'utilise aussi pour fabriquer des gilets pare-balles, il est par contre très cher cinq fois plus cher que la fibre de verre.

La polymérisation

La polymérisation est la réaction chimique qui est provoquée quand on ajoute du catalyseur (durcisseur) avec de la résine, il s'agit tout simplement du processus de durcissement de la résine.

Il y a quatre étapes pendant la polymérisation, il faut les connaître pour la manipulation des résines.

La première étape est le temps de vie en pot, c'est le moment entre l'ajout du catalyseur et le moment où la résine ne peut plus être utilisée, car sa viscosité devient trop épaisse. Ce temps de vie en pot est très variable avec l'effet de masse, c'est-à-dire que plus vous

préparez de résine dans un pot et plus l'effet de masse est grand, donc la résine va chauffer plus vite à cause de cette masse et elle va donc durcir plus vite.

La deuxième étape est le temps de gel sur stratifié, c'est le moment entre l'ajout du catalyseur dans la résine et le moment où le stratifié ne peut plus être débullé.

La troisième étape est le temps de durcissement, c'est le moment entre l'ajout du catalyseur dans la résine et le durcissement complet de la résine, c'est-à-dire le pic exothermique.

La quatrième étape est le pic exothermique, la polymérisation d'une résine est exothermique, ça veut dire que la résine libère son énergie sous forme de chaleur.

Cette émission de chaleur peut être mesurée, la température la plus élevée de ce dégagement de chaleur s'appelle le pic exothermique.

La résine époxy.

C'est la meilleure résine disponible sur le marché, elle possède de très bonnes qualités mécaniques (compression, traction, cisaillement,). Elle est imputrescible (elle ne pourrit pas, car totalement étanche), elle est très chère trois ou quatre fois le prix d'une résine polyester, elle est donc utilisée dans les grosses entreprises ou ponctuellement pour faire des renforts spécifiques. On travaille le plus souvent la résine époxy sous vide et passé à l'étuve (cuisson), c'est comme ça que l'on exploitera au mieux ses propriétés, mais on peut travailler l'époxy en stratification normale et cuire dans un four traditionnel ou fabriqué maison selon la taille de la pièce. Si vous ne cuisez pas votre pièce elle durcira quand même mais n'aura pas les mêmes propriétés mécaniques. La résine époxy s'utilise très bien avec le bois, car elle a une super accroche, on l'utilise notamment dans la construction sandwich. Elle imprègne un peu moins bien les tissus qu'une résine polyester, la température de cuisson est entre 60 et 80 degrés pendant plus ou moins 12 heures. On l'utilise dans la plupart des cas avec des fibres de carbone ou des fibres d'aramide (kevlar).

Gel Coat

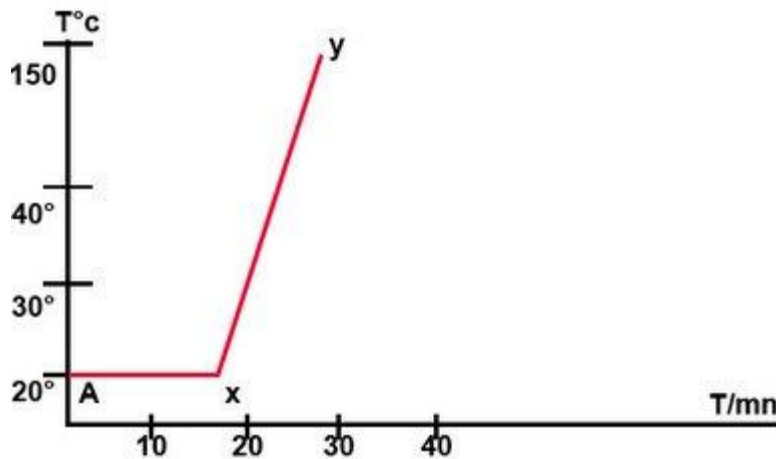
Le gel coat est employé en couche de surface pour les stratifiés polyester ou carbone notamment. Dans le nautisme en particulier, on préférera utiliser un gel coat pur ISO, qui procurera une meilleure barrière à l'eau.

Vous le trouverez en plusieurs viscosités allant d'un gel coat application brosse (épais) à un gel coat application pistolet (plus fluide). L'humidité a un effet inhibiteur sur le gel coat, il faudra donc l'appliquer dans des conditions d'hygrométrie satisfaisantes. Vous avez aussi un gel coat pour le moulage et un autre pour finition. Le gel coat durcit avec un rajout de catalyseur, mais aussi par un effet anaérobie. Il ne faut pas pas d'air à son contact pour qu'il durcisse, dans un moule il va durcir côté moule, mais il va rester poisseux en extérieur ce qui facilitera l'accroche des futurs tissus de verre. Pour un gel coat de finition on rajoute 5 % de styrène paraffiné, la paraffine va créer une mince couche qui va isoler le gel coat de l'air et donc il durcira en surface. Vous pouvez épaissir votre gel coat avec de la silice si vous travaillez sur des surfaces verticales pour éviter qu'il ne coule, vous pouvez aussi mélanger

votre gel coat avec du talc (attention aux variations de couleurs).

La couche qui doit être appliquée sur un moule doit être de 300 grammes/m² au minimum et 500 grammes/m² au maximum. Le gel coat accepte d'être mélangé à des charges et des colorants. Pour passer le gel coat au pistolet, on dilue à l'acétone et on sur catalyse (on peut aller jusqu'à 10 % de catalyseur).

les adjuvants (durcisseur)



Durcissement = Polymérisation

Ax = temps de travail (imprégnation des tissus et débullage)

xy = temps de gel (la résine commence à polymériser)

y = le pic exotherme (la résine à atteint son taux de chaleur maximal et va refroidir pour achever le durcissement de la résine).

Catalyseur :

Le catalyseur entraîne la transformation rapide de la résine liquide en un matériau solide. Il appartient à la famille des peroxydes, c'est un liquide incolore et insoluble dans l'eau. Le dosage est d'environ 1 % suivant les conditions climatiques et les conditions de travail.

ATTENTION DANGER : Stockage loin de tout autre produit, surtout des amines (accélérateur) car si on mélange les deux cela explose en un rien de temps. Il faut stocker aussi à l'abri du soleil, dans un environnement sec et loin de toute source de chaleur.

Accélérateur :

L'accélérateur est maintenant mélangé aux résines dès leur fabrication, le dosage est très faible environ 1/1000. C'est de l'octoate de cobalt, liquide de couleur rouge violacé. L'accélérateur permet en association avec le catalyseur le durcissement des résines polyester.

Terme chimique = Amines = dérivé de l'ammoniaque.

ATTENTION DANGER : Stockage éloigné du catalyseur (péroxyde), à l'abri du soleil, au frais, ne jamais mélanger au catalyseur (explosion).

Normalement vous n'utiliserez jamais d'accélérateur, on accélère les résines en usine pour éviter les accidents.

Les résines polyester

les résines polyester sont les plus utilisées dans le milieu nautique, elles représentent 85 % du marché du nautisme. Pourquoi ? Déjà ce sont les moins chères, elles ne souffrent pas des contraintes de la mer et demandent un minimum d'entretien, en plus ce sont les plus faciles à mettre en œuvre.

Leur plage d'utilisation idéale est à moins de 60 % d'humidité et à plus ou moins 20°C.

Lorsque l'accrochage fibre/résine est compromis, on appelle ça le délaminage.

Normalement, on n'utilise pas de résine polyester pour une construction bois, surtout si le bois est immergé. Il faut utiliser de la résine époxy, mais il y a des techniques pour permettre une bonne accroche sur le bois avec de la résine polyester. Il faut mélanger la résine avec un catalyseur pour qu'elle durcisse, sauf pour les résines U.V.

Il existe plusieurs types de résines polyesters.

L'isophthallique : c'est une excellente résine d'imprégnation due à sa viscosité. Elle a de très bonnes qualités mécaniques et elle retarde les problèmes d'osmose.

L'orthophthallique : c'est la plus répandue sur le marché nautique, car c'est la moins chère, elle est vulnérable à l'osmose.

La photo durcissable : elle est très peu utilisée, car très chère, elle catalyse (durcissement) grâce au U.V. Dans la pratique c'est excellent, car on peut travailler sans pression de temps. Une fois le travail de stratification finit, on sort le moule au soleil ou sous des lampes et le phénomène de catalyse s'effectue.

La vinylester : elle se situe chimiquement entre l'époxy et le polyester. C'est la meilleure des résines et aussi la plus chère. Il n'y a pas de problème d'osmose avec la vinylester. Souvent utilisé dans la construction des voiliers en dessous de la ligne de flottaison. Elle a d'excellente qualité mécanique et d'excellente qualité de résistance à la corrosion. Très peu utilisé dans les petites entreprises, car coût trop élevé.

Ce qui fait en sorte que la résine est liquide, c'est le styrène. C'est un liquide aromatique, clair, incolore, oxygéné et non corrosif. Le styrène augmente les qualités d'imprégnation de la résine. Le styrène peut devenir dangereux, il faut toujours travailler avec de bonnes protections, surtout respiratoire.

Le séchage à cœur d'un matériau composite est de 21 jours. On peut ajouter des agents

tyxotropes à une résine pour l'épaissir (silice, talc, ...), la silice est de la poudre de fibre de verre. Mélangez toujours le bidon de résine avant de se servir, car il y a des remontées de styrène dans le bidon.

<http://bateau.blogspot.fr/search/label/STRATIFICATION>