

8

UTILISATION DE RENFORTS MULTIAXIAUX DANS L'INDUSTRIE MARINE*.

J. TABY¹, B HØYNING².

Résumé - Des renforts multiaxiaux tricotés sont, de nos jours, de plus en plus communément utilisés pour la production de navires. Ceci est dû à une meilleure résistance en comparaison des renforts traditionnels tels que le roving tissé et le mat à fibres courtes. Les propriétés de résistance avec différentes résines sont rapportées et les renforts multiaxiaux et tissés sont comparés. Une attention spéciale est portée au comportement interlaminaire et il est apparent qu'aucune couche intermédiaire de mat à fibres courtes n'est nécessaire lorsque l'on utilise un renfort multiaxial. Les méthodes d'analyse sont considérées et l'influence de l'orientation des fibres sur la résistance et la rigidité des structures est rapportée ; un cas d'étude révèle de considérables économies potentielles de poids et de coût.

Mots clés : Tissus cousus, renforts multiaxiaux, matériaux composites.

INTRODUCTION

Le choix le plus délicat dans la conception avec des composites est probablement la sélection du matériau, car il en existe une très grande variété sur le marché. Des critères techniques, de production, d'environnement et économiques doivent être considérés. Dans l'industrie marine traditionnelle, le lourd roving tissé de fibres de verre-E avec des couches intermédiaires de mat à fibres courtes (CSM) sont largement utilisés.

Les tissus cousus ont de bien meilleures propriétés que ceux tissés grâce aux paquets de fibres droites, sans l'ondulation du tissage (tableaux 1 et 2). Le tissu cousu est la notation d'un tissu où, les couches parallèles de paquets de fibres ou de roving sont cousues ensemble en une construction à deux ou plusieurs couches, avec des orientations de fibres différentes à chaque couche (figure 1). Par la suite, le renfort MultiAxial cousu sera abrégé par MA.

De façon à utiliser le potentiel du renfort MA, l'utilisateur devrait être averti de quelques facteurs importants. Ces facteurs, avec les aspects techniques et économiques sont mis en valeur.

Dans l'industrie marine, les fibres de verre sont, dans la plupart des cas, le meilleur choix des points de vue durée de vie, facilité de mise en œuvre et coût. Pour cette raison, nous nous sommes, dans la suite, surtout intéressés aux fibres de verre.

* traduit de l'anglais.

¹FiReCo AS, Norway, Manager, Composite Engineering Dept.

²FiReCo AS, Norway, Technical Manager, Composite Engineering Dept.

POSSIBILITES DE FABRICATION

La conception de base des tissus cousus fournit beaucoup d'avantages : tout d'abord, les fibres de renfort sont disposées à plat, éliminant ainsi le "crimp" qui existe quand les fibres sont croisées. Ensuite, les fibres peuvent être arrangées suivant une grande variété de configurations, de unidirectionnel à six axes ou plus, dans des directions privilégiées sans en accroître le coût et sans effet contraire sur les caractéristiques de mise en œuvre. Il y a possibilité de combiner avec du CSM ou des tissus sur chaque face. De plus, la drapabilité peut être ajustée en faisant varier la configuration du tricotage et le choix du fil/roving. En fonction du type d'équipement de fabrication, le tissu peut être fait sur mesure à peu de frais supplémentaires, même en petites quantités.

Le MA peut remplacer les tissus dans presque tous les produits. De plus, pour l'empilement manuel et la mise sous vide, les procédés RTM, par injection sous vide et par pultrusion peuvent être utilisés.

QUALITE DU RENFORT

Typiquement, dans l'industrie marine, le verre a été utilisé pour les structures peu sollicitées, et souvent, peu d'attention a été apportée à la qualité du renfort de verre, en comparaison des exigences de qualité demandées aux renforts plus coûteux tels que l'aramide et le carbone, utilisés dans l'aérospatiale et dans les unités spéciales de compétition. Il en résulte que, la résistance et l'expérience tirées des applications peu exigeantes, renforcées par verre sont la base de la méthode d'analyse, des critères de conception et des exigences des autorités. De manière à améliorer la technologie dans le domaine maritime et utiliser le potentiel des composites à renfort de fibres de verre, l'utilisateur et le concepteur doivent porter plus d'attention à la qualité des produits de renfort. Un stratifié composé de fibres de verre-E polyester/vinylester correct peut mieux se comporter, vis-à-vis de la résistance, que des stratifiés aramide/époxy, et même mieux que des stratifiés carbone/époxy.

La fibre, l'ensimage, la conformité, la fabrication du renfort et le style du tissu de renfort sont d'une importance majeure de façon à obtenir un renfort de haute qualité convenable pour une utilisation voulue.

QUALITE DE LA FIBRE

Les différents fabricants de verre ont plus ou moins la même formulation chimique pour leur verre. Les variables les plus prononcées sont le diamètre du filament et le procédé d'assemblage des filaments en fils ou rovings, en faisant attention à la rupture du filament et à la tension uniforme. Il existe, à ce niveau, de grandes différences de propriétés entre les différents fournisseurs de verre. Normalement, le consommateur ne connaît jamais l'origine du verre. Dans une même livraison de renfort, il peut arriver que le verre soit d'une qualité très variable. Le consommateur doit garder en mémoire qu'il existe un lot de verre bon marché disponible et que les producteurs de renfort peuvent avoir la tentation de les utiliser. Le consommateur de renfort devrait connaître la conformité du fil/roving livré et aussi réclamer un système d'assurance qualité.

QUALITE DE L'ENSIMAGE

L'ensimage influence les propriétés à court et à long terme et la résistance dans un environnement de dégradation. Les différents fabricants de fibres ont leur propres formulations pour les différents types de systèmes de résine ; bien sûr, certaines sont meilleures que d'autres. Quelques unes sont vraiment mauvaises. Le nom "silane" renseigne seulement à propos du type, pas de comment ça marche en pratique.

QUALITE DE LA PRODUCTION

Si toutes les matières premières sont comme spécifiées, il y a toujours la possibilité d'obtenir un tissu de renfort d'une qualité non requise. Le MA a beaucoup de paramètres de production en plus du "tex" et du poids surfacique, par exemple le type de fil de tricot, la longueur du couçu, la tension du fil de tricot, la distance entre les aiguilles, le motif de tricot, la vitesse de production (précision), l'empilement des paquets de fibres, le type d'appareillage, la tension de la fibre et la régularité de la tension, la séquence d'orientation de fibres (+ - ou - +). Il existe plusieurs techniques de production et différents principes de production des MA. Jusqu'à présent, l'appareillage de type LIBA s'est révélé être le plus approprié pour la production de renforts.

PROPRIETES MECANIQUES

De façon à prendre les décisions correctes à l'égard de la sélection du matériau, une gamme complète de propriétés mécaniques devrait être disponible. Dans cette partie, quelques uns des résultats d'un vaste programme d'essais sont présentés. Le but principal de ce programme est d'établir des données de conception fiables, mais en même temps, il révèle l'avantage des MA sur les tissus. On doit insister sur le fait que, les méthodes d'essais des composites ne sont pas convenables pour ces matériaux, et plus particulièrement pour les propriétés de cisaillement dans le plan, pour le cisaillement interlaminaire et pour les essais de choc.

PROPRIETES MECANIQUES TYPQUES DES STRATIFIES MA.

Grâce aux fibres droites des MA, les concentrations de contraintes rencontrées dans les stratifiés à tissus sont évitées. Dans les références [1] et [2], l'efficacité du tissu est fournie pour différents matériaux de fibres. L'efficacité est déterminée en comparant les propriétés de stratifiés avec des tissus cousus et tissés [0/90]. Les résultats sont présentés au tableau 2. On peut voir que l'effet négatif de la courbure dans les tissus tissés est important pour les stratifiés avec des fibres de verre ou de carbone, tandis que l'aramide est moins sensible. Les résistances interlaminaire et à la compression des stratifiés à fibres d'aramide est, de toute façon, en général trop faible pour des application structurales.

Plusieurs styles de renforts MA cousus ont été testés dans trois différents thermodurcissables : le NGP/iso-polyester, vinyl ester, et l'époxy cuit à basse température. Tous les stratifiés sont empilés à la main dans un environnement de production ordinaire et postcuits pendant 24 heures à 60°C. Les résultats sont présentés au tableau 3. Comme attendu, les propriétés en traction à court terme ne sont pas très

sensibles au type de résine, mais l'effet sur la résistance apparente au cisaillement interlaminaire est plus important, l'époxy étant la meilleure. On peut noter le taux élevé de fibres obtenu avec un empilement manuel.

PROPRIETES INTERLAMINAIRES

Pour obtenir une résistance au cisaillement interlaminaire (ILSS), les stratifiés constitués d'un roving tissé doivent avoir une couche de CMS entre les couches. Ceci réduit les contraintes résiduelles et de "crimp" dans les zones riches en résine entre les ondulations, mais réduit en même temps les propriétés dans le plan.

Avec les MA à fibres plates, les zones riches en résine sont évitées et le CMS entre les couches n'est pas nécessaire. Ceci conduit à un plus important taux de fibres et à de meilleures propriétés ILSS (figure 2). Le stratifié 1-MA a six couches de DB600 ([+45/-45], 300/300 g/m²) ; le stratifié 2-MA/CSM a six couches de DB600 avec des couches intermédiaires de CMS de 225 g/m² ; le stratifié 3-MA consiste en six couches de L900 ([0], 900 g/m²) ; le stratifié 4-MA/CSM a cinq couches le L900 avec des couches intermédiaires de CSM de 100 g/m². Tous les renforts sont placés dans la même résine, une NPG/iso-polyester.

A la figure 3, les résistances en traction à travers l'épaisseur (TTTS) sont comparées pour les stratifiés 1-MA et 3-MA. Les rovings utilisés pour les renforts sont, respectivement, du tex 320 et 3600, et on peut voir que la valeur du TTTS est plus élevée pour le stratifié qui a un nombre tex le plus bas. Ceci est probablement dû à une meilleure répartition des fibres et à moins de concentration de contrainte autour des paquets de fibres.

La conclusion est qu'un CSM dans un stratifié MA en réduit les propriétés mécaniques. Cependant, le type de résine, le nombre tex et l'ensimage des fibres semblent avoir plus d'influence sur les propriétés interlaminaires que les couches intermédiaires de CSM.

PROPRIETES AUX CHOCS

Les propriétés aux chocs ne peuvent pas être étudiées avec une seule méthode d'essai ; les résultats sont très dépendants du type d'impact que le stratifié subit. La vitesse, la masse et la forme de l'impacteur, les dimensions et le support des stratifiés sont également des variables importantes. Des chocs avec des objets lourds et lents donneront des résultats complètement différents de ceux avec des objets rapides et petits. Cependant, des essais standard peuvent donner des indications sur la résilience, et, à la figure 4, les résistances aux chocs des stratifiés 1-MA et 2-MA/CSM sont indiquées. De nouveau, le stratifié avec des couches intermédiaires de CSM a de moins bonnes propriétés.

MANIABILITE

Une réduction du temps d'empilement (manuel) entre 30 et 40 % en comparaison du WR est rapportée. Ceci n'est pas seulement dû à la résistance accrue du MA, mais au fait que la résistance multidirectionnelle peut être obtenue avec un seul

tissu, c'est-à-dire qu'il n'est plus nécessaire de placer des couches de biais biaxial les unes sur les autres. Une imprégnation rapide a contribué à une meilleure productivité. De plus, des couches superficielles épaisses, utilisées sur le dessus des stratifiés pour éviter les empreintes des tissages ondulés ne sont plus nécessaires avec les MA qui ont une surface lisse. Cependant, ceci dépend du type de machine à tricoter et de la qualité du renfort.

Quand les tissés sont découpés suivant des formes, le détissage et l'effilochage posent des problèmes particuliers. Le fil de tricotage d'un MA garde les fibres en place, même quand le tissu est découpé en formes.

La drapabilité peut être ajustée afin d'obtenir un tissu assez rigide, facile à manipuler et à appliquer sur des surfaces planes relativement grandes, sans le froisser. Des tissus plus souples sont utilisés pour les formes complexes.

CONCEPTION AVEC UN MA

Le problème pour effectuer une analyse de résistance convenable commence d'abord par le choix des critères de résistance. La conception finale dépend des critères choisis par le concepteur. Les deux critères de conception, rupture du premier pli (FPF) et rupture du dernier pli (LPF), en combinaison avec d'autres facteurs de sécurité, conduisent souvent à des choix très différents de matériau et d'orientation de fibres.

Le concepteur doit choisir des méthodes d'analyse qui reflètent un comportement réel. Il existe des modèles mathématiques simples qui sont développés pour des calculs à la main ou par ordinateur. De telles méthodes présentées en règles de classification (par exemple DnV [3]) ne sont pas valables pour les stratifiés et l'âme quand les stratifiés ont plus de deux directions de fibres ou si l'axe du matériau n'est pas parallèle aux bords du panneau. Ce type de calcul de contrainte avec un critère de contrainte maximale de rupture, combiné avec des facteurs de sécurité, conduit à un niveau de sécurité inconnu.

Pour prédire la rupture, il est essentiel d'utiliser un critère de résistance adéquat qui prend en compte le comportement anisotrope des stratifiés. Le plus commun est probablement le critère de Tsai-Wu [4]. Il a été adopté par DnV dans la réglementation de 1991, en plus du critère traditionnel de contrainte maximale.

Il est supposé que les résultats prédits par une analyse par éléments finis (FEA), basée sur un modèle élémentaire acceptable, la théorie de plaque stratifiée et des critères de rupture bien documentés, seront les plus fiables.

INFLUENCE DE L'ORIENTATION DES FIBRES

Il est de plus en plus commun d'utiliser des renforts bi-, tri- et quadriaxiaux de façon à tirer avantage des fibres composites en plaçant la résistance où elle est nécessaire. La figure 5 montre le potentiel de la modification de l'orientation des fibres pour un panneau sandwich avec différents rapports d'aspect (a/b). Le panneau est soumis à une pression latérale uniforme. Les résultats incluent la déflexion maximale, les résistances FPF et LPF, avec des bords simplement supportés ou fixés. Dans tous les cas, l'âme et la quantité totale de verre-E sont égales.

Si la résistance est un facteur limitant, le cas le plus extrême décrit implique une réduction de poids du stratifié d'environ 77 % en changeant de [0/90] à [+45/90₂/-45]. Ces gains sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus en passant du verre

[0/90] au carbone [0/90] ! Dans les cas où la vibration est un problème, les résultats de déflexion pour un cas simplement supporté peut agir comme un guide. La figure 5 montre que le stratifié optimal est dépendant du choix du critère de conception. Une analyse similaire avec d'autres matériaux de fibre donnera habituellement un classement différent.

Evidemment, l'orientation de fibre optimale doit être basée sur toutes les conditions de charge actuelles ; par exemple, les zones où les chocs sont une condition limite, trois directions ou plus de plusieurs couches fines seront préférables. Quelques configurations sont plus sensibles aux conditions limites que les autres. On doit garder ça à l'esprit quand le degré de restriction aux limites est difficile à définir.

Dans la pratique, le nombre d'orientations devrait être limité. Dans la production, un maximum de quatre direction est préférable. Il est alors possible de réduire le nombre de variantes de renforts dans l'atelier, et un nombre limité réduira la complexité et le risque d'introduire des erreurs.

CONSIDERATIONS LOCALES, GLOBALES ET PRATIQUES

Un navire est une structure complexe où les panneaux, les raidisseurs, le fond, les côtés et les ponts sont soumis à des situations de charge complexes. Par exemple, les panneaux de coque subissent principalement les charges latérales locales, c'est-à-dire les forces de pression d'eau et de "slamming". En même temps, ils doivent agir comme des brides pour les raidisseurs, mais aussi comme bride ou raidisseur pour la poutre de coque. La poutre de coque est soumise à la flexion, au cisaillement et à la torsion. De ce fait, le choix du matériau pour un monopanneau influencera la capacité et la rigidité du système de poutrelles et de la poutre de coque entière.

En effectuant une sélection correcte de l'orientation des fibres et l'espacement des raidisseurs transversaux et longitudinaux, une structure proche de l'optimale, par rapport au poids et au coût, peut être obtenue.

Un stratifié $[\pm 45]$, alterné avec quelques fibres dans la troisième direction, est le meilleur choix pour des plaques chargées latéralement avec un rapport d'aspect inférieur à 1,5 et en même temps le meilleur par rapport à la rigidité en flexion et la résistance de la poutre de coque. Mais, normalement, on ne peut pas tout avoir ; les panneaux de fond soumis par exemple au "slamming", devraient, de préférence être allongés dans la direction longitudinale de façon à réduire la charge de "slamming" totale du panneau. Pour des navires de grande taille, la séquence d'empilement optimale de tels panneaux peut être en conflit avec les exigences de résistance à la flexion longitudinale et à la rigidité de la poutre de coque.

A la figure 6, les résultats d'une étude FEA grossière pour une section simplifiée d'un navire NES sont indiqués. Les résultats démontrent l'effet sur la rigidité totale du passage d'une configuration [0/90] à une presque optimale MA. La rigidité en torsion, pour ce navire particulier, est importante et est augmentée de 40 % en utilisant le MA, tandis que la rigidité longitudinale en flexion/cisaillement est la même. Dans les deux cas, la même quantité de verre est utilisée.

Pour les poutres, poutrelles et cloisons, la sélection du matériau est plus simple ; $[\pm 45]$ pour les cloisons et les raidisseurs, unidirectionnel et quelques $[\pm 45]$ pour les brides, est normalement optimal.

CAS D'ETUDE TECHNIQUE ET ECONOMIQUE

Un yacht de luxe de 35 m, le "Moonraker", a été choisi comme cas d'étude [5]. C'est un navire sensible au poids, puisqu'il a été conçu pour une vitesse dépassant 62 nœuds. Pour convaincre le chantier que le MA était le bon choix, une étude portant sur le coût et le poids a été réalisée, en supposant que le traditionnel empilement roving tissé/CSM était l'alternative. Des analyse FEM ont été réalisées en utilisant les deux alternatives, et les résultats ont révélé que pour les stratifiés, un gain de poids de 36 % et une économie de 7 % étaient possibles avec l'option MA. Comme conséquence d'une réduction de consommation de couches et de résine, le chantier a présumé que le travail de stratification pouvait être réduit proportionnellement au poids - environ 36%.

CONCLUSION

Pour le consommateur de renfort, il est très important que la qualité de celui-ci soit en accord avec les exigences. La façon la plus facile de s'en assurer et d'exiger un système d'assurance qualité (ISO 9000) provenant du fabricant de verre pour la livraison du tissu de renfort. Les MA ont beaucoup d'avantages sur les traditionnels roving tissé/CSM : réduction de la consommation de résine, réduction du travail d'empilement, propriétés spécifiques supérieures et meilleure finition. Le fabricant de renfort peut facilement adapter les propriétés aux besoins des consommateurs et, si elle est conçue correctement, une construction utilisant tous les avantages inhérents aux MA a un potentiel considérable de gain de poids et de coût. Ceci a été démontré pour un grand nombre de constructions. Les choix des critères de rupture et de conception influencera les résultats, et donc, la conception optimale en sera dépendante. La théorie simplifiée de plaque isotrope n'est pas adaptée à la prédiction du comportement des composites anisotropes. La FEA est la meilleure alternative, et il n'existe pas de raccourci. L'utilisation des MA exige normalement un système plus étendu pour le QA/QC à l'atelier.

-
1. TABY J., JOHNSEN R., HØYNING, 1992, FiReCo AS, Composite materials and structural analysis of high speed and light marine crafts ; a guide to material selection and methods of analysis, Royal Norwegian Council for Scientific and Industrial Research, MV 01.28551.
 2. ZVEBEN C., NORMAN J.C., juillet 1976, Kevlar 49/Thornel 300 hybrid fabric composites for aerospace applications, SAMPE Q.
 3. DnV, 1991, Rules for classification of high speed and light craft.
 4. TSAI S.W., 1988, Composites design, 4th edition, ISBN 0-9618090-2-7.
 5. HØYNING B., HANSEN P.F., 1992, Investigation of cost and weight saving potential of multiaxial reinforcement in FRP-constructions: a case study, FiReCo.

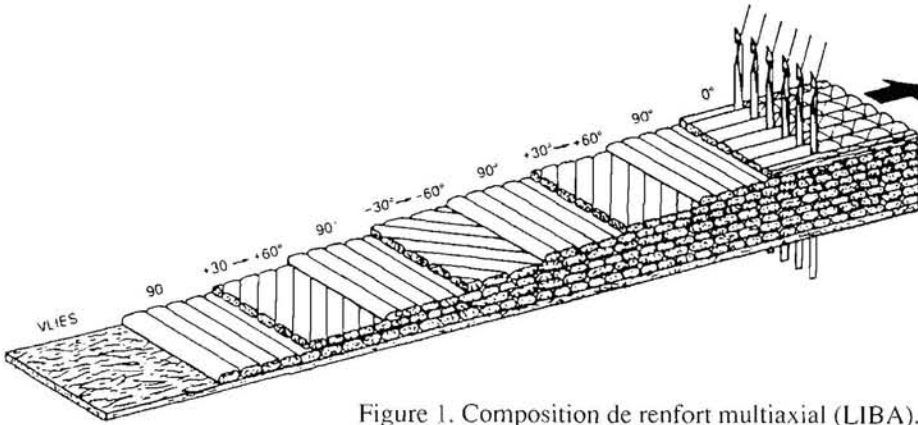


Figure 1. Composition de renfort multi-axial (LIBA).
Multiaxial reinforcement construction (LIBA).

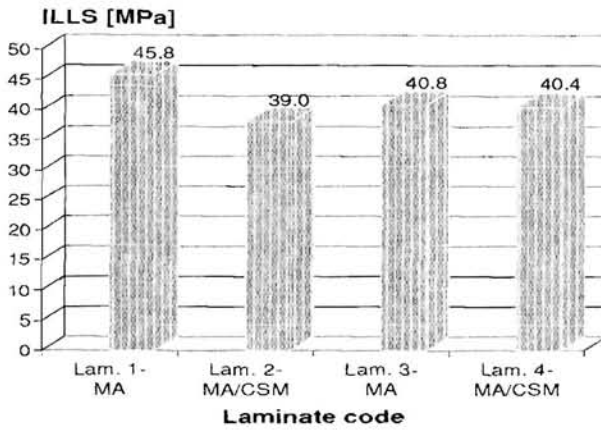


Figure 2. Résistance interlaminaire apparente en cisaillement, ASTM D2344-84.
Apparent interlaminar shear strength.

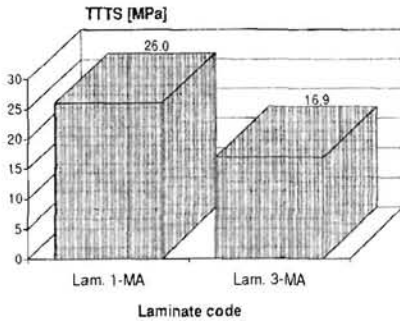


Figure 3. Résistance en traction dans l'épaisseur, ASTM C297-61.
Through thickness tension strength.

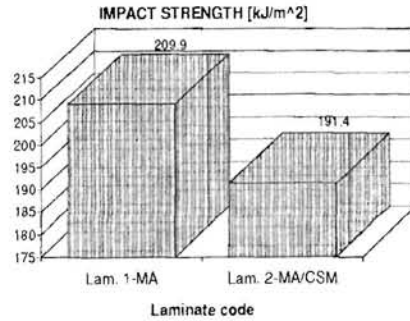


Figure 4. Résistance au choc DIN 53453.
Impact strength.

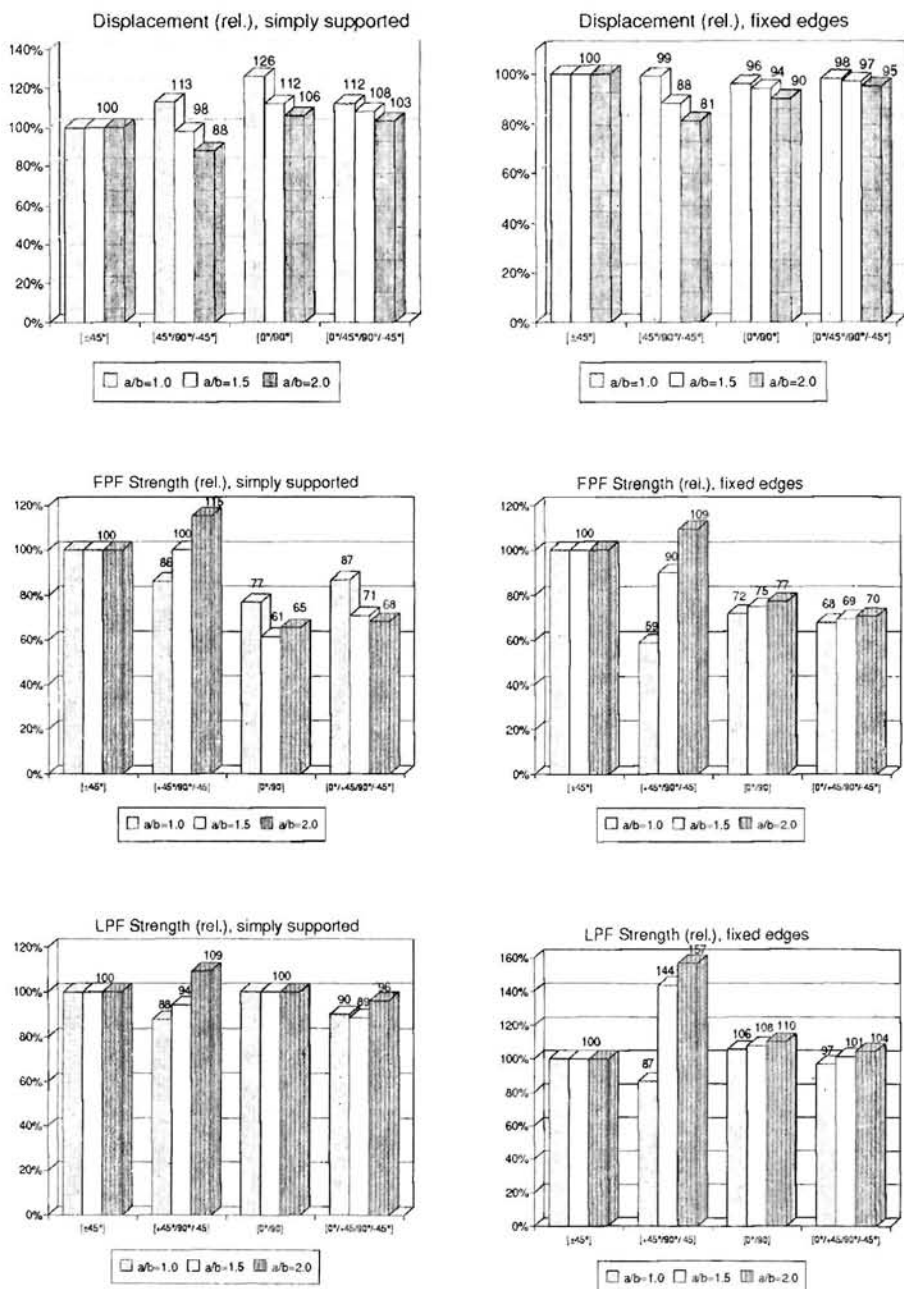
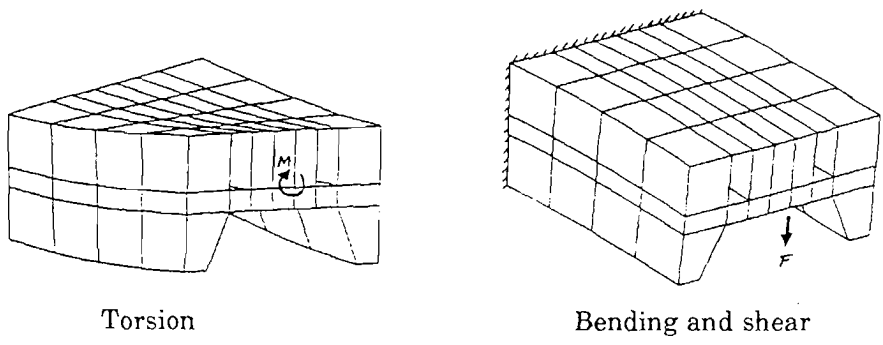


Figure 5. Résistance relative (Tsai-Wu FPF et LPF) et déflexion maximale pour panneau supporté ou encasté sous pression répartie.

Renfort MA verre-E, 32 % vol.

Relative strength (Tsai-Wu FPF and LPF) and max. deflection for simply supported and fixed sandwich plate. Uniform lateral pressure.

MA E-glass reinforcement 32 % (vol.).



Relative stiffness		
	[0/90]	MA
K_M	1.00	1.4
K_F	1.00	0.99

Figure 6. Renfort MA comparé à (0/90), raideur globale.
Effect of MA versus (0/90) reinforcement on global stiffness.

Tableau 1. Propriétés absolues et relatives de composites à renfort tissé (WR) et cousu biaxial (MA), verre/polyester.
Table 1. Absolute and relative properties of woven roving (WR) and biaxial knitted fabric (MA), glass/polyester composite.

PROPERTY	WR/CSM	MA	INCREASE
Tensile strength [MPa]	212	428	102%
Elastic modulus [GPa]	13.7	19.6	43%
Elongation, %	2.05	2.95	44%
Fibre cont. wt% (vol%)	45.0 (26)	60.7 (40)	35% (50%)
Load capacity pr. kg glass	1.0	1.32	32%
Load capacity pr. kg laminate	1.0	1.77	77%
Stiffness pr. kg laminate	1.0	1.26	26%

Tableau 2. Propriétés de stratifiés à renfort tissé aramide, carbone et hybrid, comparées aux stratifiés à fibres hybrides (0/90) unidirectionnelles cousues et aux fibres de verre (0/90), normalisé à 65 % volume de fibres.

Table 2. Properties of aramid, graphite and woven hybrid fabric laminates made from (0/90) unidirectional layers including pure (0/90) glass (data normalised to 65 % vol. fibre).

Ratio aramid/graphite	Tensile modulus 0/90 [GPa]	Tensile modulus fabric [GPa]	Fabric efficiency %	Tensile strength 0/90 [MPa]	Tensile strength fabric [MPa]	Fabric efficiency %	Compress. strength 0/90 MPa	Compress. strength fabric MPa	Fabric efficiency %
100/0	36.5	35.8	98	579	544	94	165	152	92
50/50	55.1	48.2	87	572	400	70	407	227	56
25/75	69.6	57.2	82	661	434	66	641	317	49
0/100	72.3	59.9	83	730	434	59	965	558	58
E-glass 100%	30.8	29.8	97	659	525	80	580	---	--

Source: [1] and [2]

Tableau 3. Propriétés mécaniques typiques de stratifiés MA cousus (machines LIBA). Fabrication par contact, sans vide.
 Table 3. Typical mechanical properties of knitted MA-laminates (LIBA knitting machines). Laminates : ordinary hand lay-up, without vacuum bagging.

Reinforcement style	Resin	Fibre weight %	Tensile strength ASTM-D3039-76 [MPa]			E-modulus ASTM-D3039-76 [GPa]			Ult. elongation ASTM-D3039-76 [MPa]			Interlam. shear ASTM-D2344-84 [MPa]		
			±45°	0°	90°	±45°	0°	90°	±45°	0°	90°	±45°	0°	90°
DB 800-E01;(biaxial) [+45/-45], 400/400 = 800 g/m ²	P	59.9	425			19.5			3.0			32.6		
	P*	68.9*	501			22.1			3.2					
	V	63.5	426			19.6			3.0			42.5		
	E	59.2	397			19.3			2.6			45.0		
DBL 850-E01;(triaxial) [+45/-45/0], 200/200/425 = 825 g/m ²	P	57.9		425	95		18.1	7.8		2.9	2.9			
	V	--			111			8.4			3.3			
	E	--		406	103		18.5	7.7		3.0	3.8			
DBT 800-E01;(triaxial) [+45/90/-45], 200/400/200 = 800 g/m ²	P	59.6		95	555		9.9	19.3		2.7	3.4			
	V	--												
	E	--												
L 900-E01; (UD) [0], 900 g/m ²	P	58.4		708	47		27.9	8.5		--			40.8	
	V	--		711			27.5			2.6			44.7	

*this laminate is made in a low compression tool

P = Polyester : Norpol 20M-80 from Jotun Polymer

V = Vinylester: Norpol 92-40 (= tixotropic version of 8084 from Dow Chemicals)

E = Epoxy: STM from REA Industrie

All reinforcements made by DEVOLD INDUSTRI AS