

## 39

### SUPERSTRUCTURES EN MATERIAUX COMPOSITES

J.Y. LE LAN,\* P. PARNEIX,\* P.L. GUEGUEN \*

**Résumé** - Les matériaux composites offrent de multiples avantages pour la réalisation des superstructures d'un navire à coque métallique: gain de masse, tenue au feu supérieure à celle des alliages d'aluminium, intégration de fonctions spécifiques au matériau... DCN Lorient a mis ces performances à profit pour la réalisation des superstructures des frégates type "La Fayette". La communication décrit les développements réalisés pour permettre le choix et la validation des solutions technologiques retenues et notamment les fixations sur un pont métallique et, également, les difficultés rencontrées lors de la fabrication et du montage à bord des superstructures du bâtiment prototype. Le concept peut être étendu à d'autres types de navires à coque métallique en adaptant les choix technologiques au cahier des charges.

mots clés : superstructure, navire, composite, assemblage acier/composite

#### 1 - INTRODUCTION

##### POURQUOI DES SUPERSTRUCTURES EN MATÉRIAUX COMPOSITES ?

De tout temps les architectes navals ont allégé les hauts des navires pour améliorer leur stabilité. Pour cette raison, sur les navires militaires modernes les superstructures ont souvent été réalisées en alliage d'aluminium. Les derniers combats navals et en particulier la guerre des Malouines ont montré la faible résistance de ces superstructures dans un incendie. Les caractéristiques intrinsèques des matériaux composites (conductivité thermique faible, réflectivité des ondes radar plus faible que celle des métaux, etc...) permettent en outre d'espérer une amélioration des performances opérationnelles des superstructures. Pour ces différentes raisons, DCN Lorient a lancé un développement permettant de remplacer les superstructures métalliques (acier ou alliage d'aluminium) par des superstructures en matériaux composites. Le programme support a été le programme de construction de frégates type "La Fayette" (fig.1).

---

\* DCN Lorient (France)

## 2 - INCONVENIENTS ET AVANTAGES

Réaliser des superstructures de navire en matériaux composites présente de nombreux avantages que nous analysons ci-après, mais aussi quelques inconvénients dus principalement à la nouveauté de la technologie et des techniques de mise en œuvre des matériaux composites.

### 2.1 - INCONVÉNIENTS

Les principaux inconvénients sont :

- le prix de revient plus élevé,
- la culture "métallique du chantier",
- les fixations plus délicates à réaliser que sur des structures métalliques,
- le volume utile diminué par l'épaisseur de la structure,
- les précautions à prendre pour la protection électromagnétique,
- le manque de masse électrique,
- la faible résistance aux éclats.

#### 2.1.1 - Prix de revient

Au stade de l'avant-projet, pour les frégates type "La Fayette", bâtiment ayant une coque acier, la DCN avait pris la décision de réaliser les superstructures en acier et d'abandonner l'alliage d'aluminium pour sa mauvaise tenue dans un incendie. Une étude de faisabilité de la réalisation de superstructures en matériaux composites avait donc été réalisée. Les structures composites retenues étaient :

- la structure monolithique raidie (fibre de verre/résine polyester, mise en œuvre au contact),
- la structure sandwich raidie (peau : fibre de verre/résine polyester ; âme : balsa ; mise en œuvre au contact sous vide).

Les résultats de l'analyse comparative des coûts sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Type de structure	Coût relatif*
Acier (Nuance E355FP)	1,0
structure composite monolithique	1,36
structure composite sandwich	1,34

\* : coût relatif = structure + isolation + protection électromagnétique

Cette comparaison fait apparaître un surcoût pour les solutions composites. Il faut noter toutefois que la technologie acier est arrivée à un stade d'industrialisation poussée, ce qui n'est pas le cas actuellement des technologies "composites", alors que les matériaux composites offrent encore une marge de progression importante dans ce domaine.

### **2.1.2 - Culture métallique du chantier**

Dans beaucoup d'entreprises de constructions navales, l'ensemble du chantier est organisé et formé pour construire des navires métalliques, particulièrement en acier. La technologie "composites" reste le domaine d'une petite équipe. Pour la réalisation de superstructures en matériaux composites sur une coque acier, il faut que les deux cultures se rencontrent à toutes les étapes du développement : études, préfabrication et montage. De nombreuses réunions doivent être organisées pour trouver des solutions communes en particulier aux interfaces :

- liaisons des superstructures à la coque,
- manutentions des blocs de superstructures,
- montage des équipements et des matériels sur les superstructures.

### **2.1.3 - Réalisation des fixations**

Pour fixer l'ensemble des équipements et des matériels sur les structures métalliques, la technique du soudage permet une réalisation très souple et à la demande. Pour les structures "composites", il convient de développer des solutions de fixations avec "inserts" ou collées. Ces fixations doivent faire l'objet de campagnes d'essais pour évaluer leur résistance statique et dynamique. La technique du collage permettrait de se rapprocher de la souplesse obtenue par la soudure mais est encore difficile à mettre en oeuvre en chantier par le manque de formation des équipes de montage et les conditions d'environnement du chantier pas toujours adaptées (température, humidité, poussières). La technique de boulonnage à travers des inserts est la plus utilisée mais nécessite dès le début des études une bonne connaissance de la géométrie et de la masse des équipements et des matériels. Cette définition peut être obtenue pour un bâtiment de série mais elle est difficile pour un prototype.

### **2.1.4 - Volume utile diminué**

Les caractéristiques mécaniques plus faibles des matériaux composites (contraintes et modules) utilisables pour de telles structures, par rapport aux matériaux métalliques, nécessitent, pour obtenir des structures de résistance équivalente, d'augmenter l'inertie du système de raidissage, d'où la diminution du volume intérieur des locaux. Cette contrainte doit être prise en compte dès le début du projet pour éviter des problèmes d'aménagement.

### **2.1.5 - Protection électromagnétique**

De par leur nature, les matériaux métalliques créent des cages de Faraday pour les locaux techniques ce qui n'est plus le cas pour les superstructures en matériaux composites. Des interférences électromagnétiques peuvent apparaître et

créer de graves perturbations. Il convient donc d'étudier avec soin ce problème. Des solutions existent et sont décrites dans la suite du mémoire.

### 2.1.6 - Manque de masse électrique

La non-conductivité électrique des matériaux composites nécessite de prévoir un réseau de masse pour le fonctionnement des équipements électriques.

### 2.1.7 - Faible résistance aux éclats

La faible résistance aux éclats des matériaux composites est un inconvénient tout relatif pour la fabrication de superstructures car, même dans le cas des matériaux métalliques, l'échantillonnage réduit offre une résistance très faible aux balles ou aux éclats, ce qui conduit à mettre en oeuvre une protection rapportée.

## 2.2 - LES AVANTAGES

Pour les avantages, nous pouvons citer :

### 2.2.1 - Le gain de masse

L'étude de faisabilité, citée au paragraphe 2.1.1, a permis de comparer les masses de structure. Il en résulte un gain important pour les structures en matériaux composites comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

Type de structure	Masse relative*
Acier (Nuance E355FP)	1,0
structure composite monolithique	0,60
structure composite sandwich	0,55

\* : Masse relative = structure + isolation + protection électromagnétique

### 2.2.2 - Niveaux de contraintes faibles

Le faible module d'Young des matériaux composites, comparé à celui de l'acier de coque (15 GPa pour 210 GPa), fait travailler les superstructures en matériaux composites à un faible niveau de contrainte lors des déformations de coque du navire sur houle. Ceci permet de limiter les risques de rupture par fatigue.

### 2.2.3 - Facilité d'entretien

L'utilisation des matériaux composites permet de limiter les coûts d'entretien dans les superstructures. En effet, dans le cas de superstructures métalliques, des attaques par corrosion nécessitent un entretien permanent.

#### **2.2.4 - Isolation thermique améliorée**

Les matériaux composites étant très peu conducteur de chaleur, l'isolation thermique est améliorée et pratiquement intégrée à la structure dans le cas de structures sandwich. De plus, la signature infrarouge du navire est nettement réduite par l'utilisation des matériaux composites.

#### **2.2.5 - Possibilité d'adjonction de fonctions spécifiques**

Dans le procédé de fabrication des superstructures en matériaux composites, le matériau (la tôle pour les matériaux métalliques) est fabriqué en même temps que la structure. En cours de fabrication, il est donc possible d'inclure aux matériaux de base (fibre ou résine) des charges ou d'autres matériaux permettant ainsi d'améliorer certaines fonctions spécifiques. Il est alors possible de donner des propriétés d'absorption des ondes radar aux matériaux composites ou des caractéristiques de résistance aux éclats.

#### **2.2.6 - Bon comportement au feu**

Les composites à matière organique sont des matériaux combustibles. La nature et la texture du renforcement jouent un rôle déterminant sur la tenue au feu. Pour les matériaux retenus pour les superstructures, la combustion est relativement lente dans le sens de l'épaisseur, en raison de la fonction "barrière" constituée par le tissu de verre, ce qui conduit à une bonne étanchéité. L'atout majeur du composite réside dans son coefficient de conductivité thermique faible qui limite les risques de propagation de l'incendie par conduction. Différentes expériences et accidents montrent que, dans de telles conditions, le feu reste confiné au local où s'est déclaré l'incendie. Par ailleurs de nombreux tests montrent que la toxicité des gaz émis lors de la combustion des composites n'est pas supérieure à celle de matériaux d'emménagement.

#### **2.2.7 - Meilleure finition**

La fabrication sur table ou en moule des superstructures en matériaux composites permet d'obtenir un état de surface et une planéité sans commune mesure avec ceux obtenus dans le cas de superstructures en acier ou alliage d'aluminium.

#### **2.2.8 - Isolation thermique**

Le caractère isolant électrique des matériaux composites évite de craindre des problèmes de court-circuit ou de mise à la masse. Il faut toutefois s'assurer dans certaines configurations qu'il n'y a pas de risque d'accumulation d'électricité statique.

### **3 - TYPES DE STRUCTURES**

L'étude de faisabilité citée aux paragraphes 2.1.1 et 2.2.1 (coût et masse plus faibles) fait apparaître de légers avantages pour les superstructures sandwich raidies

devant les superstructures monolithiques raidies. D'une part, les structures sandwich ayant un raidissage moins serré que les structures monolithiques, elles se prêtent mieux à une fabrication mécanisée. D'autre part, l'isolation thermique intégrée et la barrière naturelle anti-conduction créées par le sandwich sont des avantages non négligeables. Pour ces raisons, DCN Lorient s'est orientée sur des superstructures sandwich fabriquées par stratification au contact. Les peaux sont constituées de fibre de verre et de résine polyester isophthalique, l'âme est en balsa bois debout. Le balsa a été retenu pour son comportement en température supérieur à celui des mousses de P.V.C. Le raidissage transversal a été privilégié en faisant toutefois participer l'ensemble du cloisonnement au renforcement.

Ce choix architectural étant arrêté, il a été nécessaire de résoudre un certain nombre de difficultés avant de passer à la phase de réalisation industrielle.

## 4 - PROBLEMES A RESOUDRE

### 4.1 - LIAISON SUPERSTRUCTURES/COQUE MÉTALLIQUE

Si le problème des assemblages métal/composite a souvent été résolu, il s'est rarement posé à l'échelle de liaison entre une coque métallique de frégate et des blocs de superstructures en matériaux composites représentant près de 80 tonnes de composites (dimensions 38 x 15 x 8,5 m). Deux types d'assemblages sont envisagés. D'une part, une solution simple à réaliser pour l'assemblage des structures secondaires à la coque. Ce type de liaison est faiblement sollicité. Il a été décidé de retenir une solution existante à base de boulonnage (fig.2a). D'autre part, une solution structurale pour la partie externe des superstructures. Cet assemblage fortement sollicité est à développer. Les principales contraintes sont d'ordres divers:

- *mécaniques* : la liaison doit être suffisamment résistante pour assurer sa fonction durant la vie du bateau. La tenue en fatigue doit être examinée avec particulièrement d'acuité. En outre, un bâtiment militaire comporte un certain nombre de caractéristiques spécifiques dans son cahier des charges et notamment la tenue aux explosions sous-marines.
- *fonctionnelles* : afin de ne pas nuire à la furtivité du bâtiment, la liaison ne doit pas présenter d'aspérité importante (minimiser la surface équivalente radar).
- *industrielles* : le procédé retenu doit permettre la réalisation de la liaison en chantier en prenant en compte le fait que l'acier dans cette zone est un acier à blindage (Mars 190). En outre, les considérations exprimées plus haut sur la "culture métallique" des chantiers navals, nous ont conduits à orienter le choix vers une solution où le montage à bord des blocs de superstructures se ferait par soudage.
- *financières* : le coût de la liaison doit évidemment être aussi bas que possible.

## 4.2 - BLINDAGE ÉLECTROMAGNÉTIQUE

L'utilisation massive de composants et de systèmes électroniques dans les locaux situés dans les superstructures conduit à l'apparition de phénomènes d'interférences électromagnétiques et/ou de décharges électrostatiques nuisibles au bon fonctionnement de ces matériels. Les matériaux composites n'étant pas des conducteurs électriques, il est donc nécessaire, pour certains locaux, de créer des cages de Faraday. Parmi les solutions existantes (matériaux composites rendus conducteurs, revêtements conducteurs), plusieurs devront être évaluées en prenant en considération tant les critères de mise en oeuvre que de performances techniques.

## 4.3 - SER

La furtivité est l'une des composantes majeures de l'efficacité d'un navire de combat. Au même titre que dans l'aéronautique, les développements menés ces dernières années ont révolutionné les règles de conception des bâtiments militaires : formes optimisées, suppressions ou protection des appendices, matériaux structuraux absorbants, peintures absorbantes ou revêtements collés... Si les matériaux composites à matrice organique employés pour la fabrication des superstructures présentent l'avantage d'être moins réflecteurs que les métaux, ce qui est favorable à la réduction de la signature radar, ils présentent en revanche l'inconvénient d'être beaucoup plus transparents aux rayonnements électromagnétiques. Il est donc nécessaire de les opacifier pour éviter tous les points lumineux constitués par les matériels abrités dans les superstructures. Il est évident que pour des raisons de confidentialité, nous ne pouvons donner le détail des développements menés dans le domaine de la SER.

# 5 - SOLUTIONS RETENUES ET QUALIFICATION

## 5.1 - LIAISON SUPERSTRUCTURES/COQUES

Les développements présentés ici concernent essentiellement la liaison de la paroi externe des superstructures avec la coque.

### 5.1.1 - Sélection

Au moment de la décision de doter la frégate de superstructures en matériaux composites, l'étude de la coque acier était déjà bien avancée et les éléments suivants se sont transformés en contrainte pour la conception de la liaison :

- existence d'un surbau métallique de prolongement de bordé.
- absence de renforcements longitudinaux sous pont permettant la reprise des efforts.
- nécessité pour des raisons de furtivité du navire d'avoir le moins de discontinuité possible entre surface de bordé coque et surface de bordé superstructure.

Compte tenu de ces contraintes, et du souci d'apporter pas ou peu de modifications à l'étude coque acier, une solution de boulonnage au travers du pont

ou au travers d'une pièce rapportée s'avérait peu commode. Il est venu assez facilement à l'esprit que de prolonger le surbau acier de la coque par une sorte "d'insert" acier incorporé dans les superstructures, et qui serait assemblé par soudage, présenterait nombre d'avantages :

- continuité des formes pour aller dans le sens de la furtivité,
- continuité du flux de contraintes passant bien de la paroi roof à la paroi coque,
- commodité de l'assemblage par soudage entre les deux parties, les constructeurs coque acier assemblant ces blocs en CVR en pouvant presque ignorer leur nature (avantage psychologique non négligeable),
- étanchéité assurée parfaitement à la jonction des deux ensembles.

Trois types de solutions ont été envisagées :

- bandeau métallique uniquement collé au composite,
- bandeau collé et boulonné au composite,
- bandeau uniquement boulonné.

Une première campagne expérimentale a permis de mettre en oeuvre ces différentes solutions et de les éprouver mécaniquement sous la forme d'essais de traction et de flexion. D'une façon générale, on remarque que les meilleurs résultats sont obtenus avec des assemblages collés et boulonnés, mais que ce type de liaison est également le plus complexe et le plus coûteux à réaliser. En revanche, les assemblages seulement boulonnés semblent les moins performants. Il n'y a pas de règle quant au mode de rupture qui se produit soit par cisaillement du composite au niveau des boulons, soit par délaminage au niveau des différentes interfaces. Les assemblages simplement collés constituent un bon compromis avec des performances mécaniques intéressantes associées à une mise en oeuvre aisée. La rupture débute le plus fréquemment par décohésion entre la peau inférieure en composite et l'insert métallique. Ces éléments nous ont conduit à retenir pour les essais de qualification, l'assemblage représenté sur la figure 2b.

### **5.1.2 - Qualification du principe d'assemblage retenu**

L'assemblage retenu a fait l'objet de tests de qualification afin, d'une part, de vérifier son aptitude à supporter les sollicitations dynamiques et, d'autre part, à optimiser la taille du bandeau acier.

Dans un premier temps ont été effectués des tests de fatigue mécanique. Des éprouvettes de traction ont été chargées à 10 % de la contrainte à rupture déterminée lors d'essais statiques. Les chargements ont été effectués avec une fréquence de 5 Hz pendant  $2.10^6$  cycles. Après essai, aucun endommagement visible n'a été décelé au niveau de la jonction. Ces observations sont confirmées par les essais à rupture réalisés en vue de déterminer les performances résiduelles des assemblages : aucune dégradation des performances mécaniques n'est enregistrée. Des éprouvettes ont ensuite été soumises à un vieillissement en cyclage thermique entre + 50 et - 30° C. Des échantillons prélevés à intervalles réguliers ont permis de montrer que dans les conditions opératoires retenues, il n'apparaît pas de modifications des performances de l'assemblage.

Enfin, des essais de tenue aux explosions sous-marines ont été menés sur un tronçon expérimental à coque métallique doté d'éléments de superstructures en matériaux composites. Le principe de liaison décrit dans le paragraphe 5.1.1 a été sensiblement amélioré. De façon à compenser l'épaisseur de la paroi, et pour compléter l'isolation du local, le bandeau métallique a été "habillé" d'une âme en balsa et d'une peau en composite verre/polyester. Les pieds de raidisseurs sont reconstitués. L'ensemble de la structure a été soumis à une explosion sous-marine correspondant à un coefficient  $K=0,9$ . Aucun défaut n'est à signaler sur la partie structurale de l'assemblage.

Une partie importante de la phase de qualification a conduit à optimiser la taille du bandeau métallique incorporé dans la structure composite. Il est en effet capital de ne pas dégrader le collage acier/composite lors de phases de soudage ou de découpe du bandeau.

L'expérimentation a comporté :

- la mesure du gradient de température sur le bandeau lors d'opérations de découpe et de soudage,
- des essais mécaniques sur éprouvette, avec bandeaux de différentes longueurs.

Ces essais ont montré que l'assemblage atteint ses performances optimales pour un bandeau de 150 mm. Lors de la présente campagne de qualification, on n'a pas réalisé de tests de vieillissement en milieu humide de la liaison acier/composite. En revanche, des essais menés lors de programmes précédents ont montré l'excellent comportement de ce type de liaison dans des conditions d'immersion/emersion sur de longues durées (18 mois), et même dans des conditions très sévères de brouillard salin.

## 5.2 - BLINDAGE ELECTRO-MAGNÉTIQUE

Dans la réalisation de coques de chasseurs de mines en matériaux composites, la solution retenue pour protéger certains locaux des perturbations électromagnétiques était de rapporter, sur la structure interne des locaux, un grillage en laiton collé par plots. Cette solution est assez contraignante à mettre en oeuvre : difficulté de pose sur des singularités telles que des raidisseurs, nombreux raccords afin d'assurer la continuité électrique. La réalisation de revêtements métalliques par schoopage est une méthode beaucoup plus souple et dont l'efficacité a été prouvée lors d'essais d'atténuation au champ électromagnétique : atténuation supérieure à celle du grillage laiton en champ magnétique, atténuation équivalente ou légèrement supérieure en champ électrique. La métallisation par l'intermédiaire d'un pistolet oxyacétylénique a l'inconvénient d'engendrer des montées en température importantes et donc une dégradation de la résine sur la couche externe. Une optimisation des couches externes du composite permet de limiter cette dégradation et d'obtenir un accrochage tout à fait satisfaisant entre le substrat composite et le revêtement métallique.

Le revêtement offrant la meilleure tenue dans le temps est un schoopage Zn/AL 85/15. Un compromis doit être trouvé au niveau de l'épaisseur du revêtement

: une épaisseur minimale est nécessaire afin de remplir la fonction blindage électromagnétique, alors que la tenue dans le temps est d'autant meilleure que l'épaisseur est faible. Afin de protéger le revêtement métallique contre les agressions extérieures, une couche de résine renforcée ou non est rapportée.

### 5.3 - SIGNATURE RADAR

Un effort tout particulier a été accompli afin d'intégrer l'aspect furtivité dès la conception des bâtiments. La figure montre que les formes ont été particulièrement optimisée : suppression ou capotage des appendices, suppression des angles vifs. En particulier, les panneaux extérieurs des superstructures sont inclinés afin de limiter la signature. Concernant l'aspect "matériaux", différents développements ont été menés comprenant :

- essais de mise en oeuvre, puis de contrôle de l'efficacité de revêtements sur des panneaux de plus ou moins grandes dimensions,
- essais de mise en oeuvre sur des bâtiments de petite taille de type remorqueurs: ces essais ont permis de juger des difficultés de collage sur un bâtiment et également, de mesurer la tenue au vieillissement du matériau lui-même et du collage,
- fabrication d'un démonstrateur représentatif des formes et des matériaux de superstructures.

## 6 - REALISATION

### 6.1 - PRÉSENTATION

Les superstructures des frégates type "La Fayette" sont divisées en quatre blocs destinés à être pré-armés avant d'être montés sur le flotteur acier (fig 3). Le bloc avant (bloc n° 4) est une partie regroupant l'abri navigation, le central opérations, le PC télécommunications... Pour des considérations de protection balistique, ce bloc est réalisé en acier avec des blindages. Les trois blocs arrières (blocs n° 1, 2, 3) sont en matériaux composites. Les caractéristiques sont les suivantes :

Longueur :	38 m	Hauteur :	6,5 à 8,5 m
Largeur :	15 m	Masse :	83 tonnes

Le montage des blocs 1 et 2 sur le flotteur se fait par soudage des bandeaux métalliques incorporés dans les bordés des blocs et par boulonnage des pieds de cloisons (fig 4). Le montage du bloc 3 se fait par boulonnage des pieds de cloisons uniquement. Les blocs 1 et 2 sont liés entre eux par stratification tandis que des joints glissants sont montés entre les blocs 2, 3 et 4.

### 6.2 - MÉTHODES DE CONSTRUCTION

La fabrication des blocs s'effectue par assemblage d'éléments préfabriqués. Dans le but de réduire les coûts de fabrication, la fabrication des blocs 1 et 2 se fait à l'envers dans un outillage constitué de couples espacés tous les 2 mètres. Cet

outillage permet le réglage de la pente de 1 % du toit du roof, l'inclinaison des bordés et le réglage des demi-ouvertures. A l'issue, l'assemblage des ponts et cloisons s'effectue par corniérage *in situ*. Après retournement et montage des blocs à bord, la structure sandwich des bordés est reconstituée ainsi que les raidisseurs telle que décrit dans le paragraphe 5.1.2. Les cloisons positionnées dans des U soudés sur le pont acier sont boulonnées après avoir coulé un compound qui assure l'étanchéité et la reprise du jeu de montage.

### 6.3 - PREFABRICATION

Les panneaux constituant les blocs sont confectionnés sur une table plane de 370 m<sup>2</sup> (23 m x 16 m) ou sur une table à bouge de 180 m<sup>2</sup> (15 m x 12 m). Ils sont définis par les caractéristiques suivantes : structure sandwich-raisseurs, dimensions, position des inserts, position des feuillures pour assemblage par corniérage, position des dégradés pour jonction.

Les panneaux sont réalisés par stratification de la première peau au contact. L'âme, le bandeau métallique et les inserts en mousse syntactique sont ensuite collés sous vide lors de la même opération. Ensuite, la deuxième peau est stratifiée au contact. L'usinage des panneaux se fait après traçage et stratification des raidisseurs. Du fait du principe de fabrication, il est important pour le bureau d'études de définir le positionnement des inserts avant le démarrage des travaux.

### 6.4 - ASSEMBLAGE DES BLOCS

Le bloc 1 est le premier bloc à être assemblé. L'outillage utilisé permet de régler les demi-ouvertures (tolérances +/- 5 mm), l'inclinaison des bordés et la pente à 1 % du toit.

Une attention particulière doit être apportée pour le traçage des éléments préfabriqués: épaisseur importante des panneaux (60 mm) à ne pas négliger, et prise en compte des angles réels entre panneaux pour maîtriser les jeux.

En particulier pour la frégate, la manutention du bloc n° 1 a nécessité la mise en place de cloisons de raidissage dans le hangar hélicoptère, de la brèche d'embarquement machine et de la façade arrière. Le bloc est boulonné sur un cadre métallique qui permet le retournement réalisé par trois grues mobiles de 150<sup>T</sup> et 40<sup>T</sup>. Les difficultés de manutention et des risques encourus par la structure, remettent en cause le choix initial d'assemblage à l'envers. Il est donc décidé de fabriquer les blocs suivants par niveau avec assemblage des bordés et réglage des demi-ouvertures en final.

### 6.5 - MONTAGE A BORD

Les blocs sont montés après sablage sur le flotteur suivant les opérations ci-après :

- soudage des bandeaux métalliques,
- reconstitution de la structure sandwich par collage au compound de l'âme balsa,

- reconstitution des raidisseurs,
- boulonnage des pieds de cloisons dans des U soudés sur le pont acier,
- coulée du compound dans les U.

La mise en oeuvre des matériaux composites sur un chantier extérieur nécessite la prise en compte de plusieurs contraintes :

- problèmes de coactivité avec les autres spécialités :
  - . interdiction de travaux à feu nu dans les locaux avoisinant les travaux de stratification,
  - . disponibilité de moyens mobiles d'aspiration des poussières pour les travaux d'usinage,
- problèmes de température et d'hygrométrie :
  - les interventions en hiver imposent de chauffer les zones de travail pour obtenir une température ambiante supérieure à 10 °. Le système catalytique doit être adapté pour obtenir un temps de gel de la résine correct.
- une ventilation forcée des zones de travail est assurée par des moyens mobiles.

## 6.6 - ARMEMENT

Pendant cette phase, les opérations suivantes sont réalisées :

- protection des locaux sensibles aux ondes électromagnétiques,
- mise en place du réseau de masse,
- fixation des réseaux et des matériels,
- réalisation des finitions : peinture, revêtements.

## 7 -EXTENSIONS POSSIBLES

Le concept général peut être étendu à d'autres applications tant dans le domaine civil que dans le domaine militaire. En fonction des réglementations (OMI, SOLAS,...) certains points tels que la nature des matériaux, l'échantillonnage, les modes de liaison... devront être adaptés.

Pour les applications militaires, on peut envisager la réalisation de la totalité des superstructures des bâtiments de moyens tonnages (de 1 000 à 6 000 tonnes). Une protection ballistique peut être rapportée (blindages légers métalliques ou céramiques) tout en conservant la philosophie des superstructures composites. Une extension à des bâtiments de plus fort tonnage, porte-avions est réaliste, en particulier pour l'îlot. Ce type de solution n'a pas été conçu pour résister au souffle nucléaire; son comportement dans de telles sollicitations dynamiques reste à étudier et valider.

Pour des applications civiles (navires de pêche, de servitude, transports de passagers et de fret), l'utilisation de superstructures en matériaux composites offrirait un intérêt certain, principalement en raison de la maintenance réduite et des gain de masse. Le frein principal reste néanmoins le problème du coût d'achat supérieur à celui des technologies métalliques. Un effort est à mener dans ce sens :

optimisation du procédé, mécanisation de la fabrication, réduction des échantillonnages,... Des réflexions sont en cours pour l'utilisation de ce type de technologies sur les plateformes offshore.

## 8 - CONCLUSION

A ce jour deux superstructures complètes ont été réalisées, la troisième est en phase d'achèvement. Les essais à la mer des bâtiments devraient confirmer les avantages fonctionnels de la technologie composite. D'ores et déjà, certains enseignements peuvent être tirés de cette option.

Le coût de fabrication est supérieur à celui des superstructures métalliques, ce qui peut pénaliser l'extension vers d'autres applications, et en particulier les applications civiles. Cependant, si l'on considère le coût de possession, la solution composite est compétitive avec les solutions métalliques tout en apportant un plus technologique indéniable. Des études récentes dans le domaine des applications offshore confirment ce constat. Afin de limiter le coût des superstructures, il est important de figer la conception au plus tôt dans le projet : le coût des modifications est en effet plus important que pour des éléments métalliques. Une réduction substantielle des coûts de fabrication peut être envisagée par l'emploi de moyens mécanisés de stratification et par l'optimisation de certaines phases telles que les assemblages.

Fort de cette expérience, DCN Lorient proposera de doter de superstructures en composites, les futurs bâtiments de la Marine Nationale.

---

J.Y LE LAN - P. LIVORY - P. PARNEIX, Octobre 1991 LORIENT (FRANCE). Assemblages acier/composite ,Application à la liaison superstructures composites sur une coque métallique - Communication aux 6èmes journées d'Automne de L'INERN.  
J.Y LE LAN - P. LIVORY - P. PARNEIX, March 1992 GAINESVILLE (USA). Steel/composite bonding principle used in the connection of composite superstructures to a metal hull - Second International Conference on Sandwich Construction  
J.E. SLATER, July 1992 DRA, DUNFERMLINE (SCOTLAND). Selection of a Blast-Resistant GFRP composite Panel Design for Naval Ship Structures.  
DW. CHALMERS, July 1992 DRA, DUNFERMLINE (SCOTLAND). The potential for the use of composite materials in Marine structures.  
M.O. CRITCHFIELD - T.D. JUDY - A.D. KURZWEIC, July 1992 DRA, DUNFERMLINE (SCOTLAND). Low cost design and fabrication of composite ship structures.  
M. BERGMAN - L. SALOMONSSON - J. NICSON, June 1990 LONDON (UK). The Tetriss Vessel - A consequence of futuristic ideas - WARSHIP 190 RINA INTERNATIONAL SYMPOSIUM on the future for surface warships.  
J. GUTTIEREZ - P. PARNEIX - F. TERRAIL, Session 1991 ATMA. Comportement au feu de matériaux composites revêtus ou non de revêtements pare-flamme

FIG 1 :vue d'artiste des fregates type LAFAYETTE

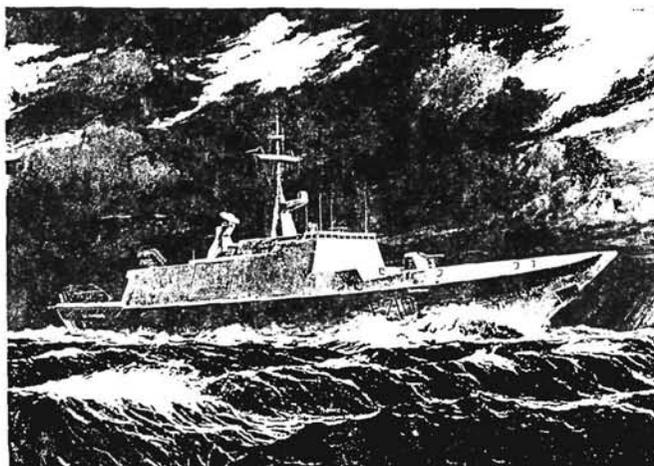


FIG 2 :principes d'assemblage

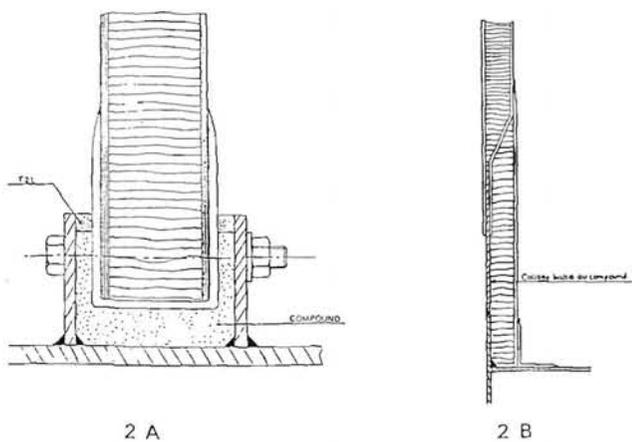
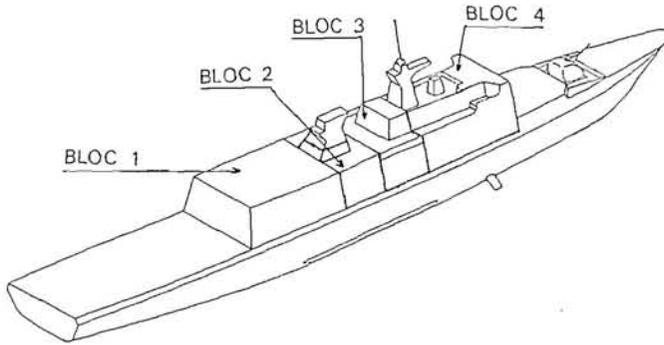


FIG 3 : blocs de superstructures



	FREGATE	BLOC 1	BLOC 2	BLOC 3
L (m)	125	19	8	11
l (m)	15.4	15	15	12
H (m)		6.5	6.5	8.5
M (T)	3500	35	22	26

FIG 4 : montage des superstructures sur la coque

