



Faculty of Sciences and Technology
Department of Mechanical Engineering

كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم المهندسة الميكانيكية

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Construction Mécanique

Thème

ETUDE DE LA COQUE D'UN GLISSEUR RENFORCEE PAR UN PATCH EN COMPOSITE

Présenté par :

- ❖ LALOUT Anis Ahmed Ibrahim
- ❖ MARANGA Takudzwa



❖ *Soutenu le 13 /07/ 2022 devant le jury composé de :*



Président	Pr OUINAS DJAMEL	Université de Mostaganem UMAB
Examineur	Dr ZAOUI FATIMA	Université de Mostaganem UMAB
Encadrant	Mme CHENINE HALIMA	Université de Mostaganem UMAB

Année Universitaire : 2021 / 2022

Dédicaces

A ma mère

A ma raison de vivre. A ma mère. Je dédie ce modeste travail. Maman, tu es le soleil qui illumine mes jours, la lune qui éclaire mes nuits, je ne te remercierai jamais assez pour ta présence, ta tendresse, ton amour, ton support et tes sacrifices. Merci de croire en moi et en mes rêves, sans toi rien de tout ce que j'ai pu accomplir n'aurait été faisable. A toi maman un

Grand merci.

A mon père

A mon mentor, mon protecteur, celui qui me soutient, qui me pousse à donner le meilleur de Moi-même. A mon père, je dédie ce modeste travail, je ne te remercierai jamais assez pour tes Sacrifices, merci de croire en moi, j'espère te rendre fier, et que je sois digne de toi.

A mes sœurs

Je vous remercie, pour les rires, les pleurs, les disputes, les réconciliations, et votre soutient En ces temps difficiles, je suis très fier d'être votre frère.

A mon oncle

*Qui a eu la gentillesse, d'avoir partagé son savoir avec moi, et de m'avoir
Soutenu*

A mon binôme MARANGA Takudzwa

Pour ces 5 excellentes années passé ensemble, pour s'être entraîné pour réaliser ce travail. Et Pour tes efforts.

Et un grand merci à tous ceux qui mon aidé, soutenu et encouragé

LALOUT Anis

Dédicaces

Je dédie ce projet à Dieu

Tout-Puissant mon créateur, mon pilier fort, ma source d'inspiration, de sagesse, de connaissance et de compréhension. Un sentiment particulier de gratitude envers

Mes parents aimants,

Rudo et Justice Maranga,

Dont les mots d'encouragement et de ténacité résonnent dans mes oreilles.

Mes frères et sœurs

Ruvimbo, Melody et Simbarashe

Et

Ma grand-mère Tracy

Qui ne m'ont jamais quitté et sont très spéciaux.

A mes amis

Leon, Kelvin, Ezekiel, Jubilee, Tanaka et Nicholas

Et à

Ma famille de l'église

Qui m'ont soutenu tout au long du processus.

A mon binôme Lalout Anis

Pour son travail acharné et ses efforts dévoués,

J'apprécierai toujours tout ce qu'ils ont fait, en particulier Frère Bernard pour m'avoir aidé à développer mes compétences en lecture du français.

A M. Chimutungwiza et M. Meki pour leur bon cœur et leur aide en cours de ce succès

Je vous remercie tous de faire partie de ma vie.

QUE DIEU VOUS BENISSE TOUS

Takudzwa Maranga

Remerciements

*Avant tout nous remercions **ALLAH***

Le tout puissant Qui nous a inspiré, donné le courage, la volonté et la patience en ces temps troubles. Nous vous devons ce que nous sommes devenus.

Louanges et remerciements pour votre Clémence et miséricorde

*À notre encadrant Mme. **CHENINE***

Cher Maîtresse, nous sommes sensibles à l'honneur que vous nous faites en acceptant de Diriger ce travail. Vous nous avez appris ce qu'est l'amour du travail et le plus important le Dévouement. Vous nous avez toujours inspiré, et vous ne cessera de nous inspirer.

Nous vous en serons à jamais reconnaissants.

Veillez accepter nos sincères remerciements.

*Au professeur **Djamel OUIINAS***

Qui nous a fait l'honneur en acceptant d'être Président du jury de cette soutenance.

Nous avons eu le privilège de votre enseignement, et nous espérons être dignes de votre Confiance.

*A Melle. **ZAOUI Fatima***

Votre présence parmi le jury de cette soutenance nous a honoré, nous vous remercions pour votre gentillesse.

Nous voudrions également exprimer notre gratitude à nos Enseignants du département de Génie Mécanique qui par leurs expériences, savoir et leurs enthousiasmes nous ont beaucoup aidé à nous développer autant que personnes et à connaître à vrais notre chemin professionnel

RÉSUMÉ

Que les bateaux soient en composite, en bois, en acier ou en aluminium, qu'ils soient propulsés par des voiles ou des moteurs, leur exploitation les expose souvent à des accidents mineurs. Dans la plupart des cas, ces dommages peuvent être réparés par un non professionnel, Poncez la surface à réparer, remplir les trous avec du mastic, et enfin poncez à nouveau pour restaurer la forme d'origine. Le travail à réaliser consiste à comparer différents matériaux et déterminer celui qui résiste le mieux. L'étude se fera avec Abaqus et après avoir simulé une fissure, évaluer la possibilité de réparer durablement l'endommagement en utilisant un patch en composite. L'analyse des contraintes et déplacements a été effectuée sur la coque en composite à l'état neuf, fissuré et réparé avec un patch de carbone/époxy en ayant recours à la simulation numérique à l'aide du code Abaqus. La coque stratifiée comporte plusieurs couches alternées de la manière suivante $[\theta/-\theta]_s$. La magnitude de contrainte et déplacements est mise en évidence en fonction de l'orientation des fibres. Les résultats montrent que la plus grande valeur de contraintes et des déplacements se trouve précisément dans les orientations 0° en revanche la valeur la plus petite est obtenue sur les orientations $[90^\circ /-90^\circ]_s$.

Mots clés : Concentrations de contraintes, Déplacements, Coque en composite, Fissure et l'épaisseur de coque, Angle d'orientation, Analyse par éléments finis

ABSTRACT

Whether the boats are made of composite, wood, steel or aluminium, whether they are propelled by sails or motors, their operation often exposes them to minor accidents. In most cases, this damage can be repaired by a non-professional, sand the surface to be repaired, fill the holes with putty, and finally sand again to restore the original shape. The work to be done consists of comparing different materials and determining the one that resists the best. The study will be done with Abaqus and after simulating a crack, evaluate the possibility of permanently repairing the damage using a composite patch. The stress and displacement analysis were carried out on the composite hull in new condition, cracked and repaired with a carbon/epoxy patch using numerical simulation using the Abaqus code. The laminated shell has several alternating layers in the following manner $[\theta/-\theta]$ s. The magnitude of stress and displacement is highlighted as a function of fiber orientation. The results show that the greatest value of stress and displacements is found precisely in the 0° orientations, on the other hand the smallest value is obtained on orientation $[90^\circ /-90^\circ]$.

Keywords: Stress concentration, Displacement, Composite shell, Crack and shell thickness, Orientation angle, Finite element analysis

ملخص

وسواء كانت القوارب مصنوعة من مواد مركبة أو خشبية أو فولاذية أو ألومنيوم، سواء كانت مدفوعة بأشعة أو محركات، فإن تشغيلها غالباً ما يعرضها لحوادث طفيفة. في معظم الحالات، يمكن إصلاح هذا الضرر بواسطة شخص غير محترف، قم برمل السطح المراد إصلاحه، وملء الثقوب بالحشو، وأخيراً الرمل مرة أخرى لاستعادة الشكل الأصلي. يتكون العمل الذي يتعين القيام به من مقارنة المواد المختلفة وتحديد المادة التي تقاوم الأفضل. سيتم إجراء الدراسة باستخدام Abaqus وبعد محاكاة الكسر، يتم تقييم إمكانية إصلاح الضرر بشكل دائم باستخدام رقعة مركبة. تم إجراء تحليل الإجهاد والإزاحة على الهيكل المركب في حالة جديدة، وتم تصدعه وإصلاحه باستخدام رقعة كربون / إيبوكسي باستخدام المحاكاة الرقمية باستخدام برنامج Abaqus. يتكون الغلاف المصفح من عدة طبقات متناوبة بالطريقة التالية $[-\theta/\theta]$. يتم تمييز حجم الإجهاد والإزاحة بدلالة اتجاه الألياف. تظهر النتائج أن أكبر قيمة للإجهادات والتهجير توجد على وجه التحديد في اتجاهات 0° ، ومن ناحية أخرى يتم الحصول على أصغر قيمة على الاتجاهات $[90^\circ / -90^\circ]$.

الكلمات الرئيسية: تركيزات الإجهاد، الانتقال، الغلاف المركب، سمك الشق والصدفة، زاوية الاتجاه، تحليل العناصر

المحدودة

SOMMAIRE

<i>Introduction Générale</i>	
<i>Chapitre I</i>	
<i>Généralités sur les bateaux et les Composites</i>	
I.1. Définition	1
I.2. Les Propriétés de la structure des bateaux	1
I.3. Les éléments de bateaux	2
I.4. Les matériaux utilisés pour la fabrication de bateaux	3
I.4.1. Bateaux en bois	3
I.4.2. Bateaux en acier	4
I.4.3. Bateaux en aluminium	4
I.4.4. Bateaux en Cupronickel	4
I.4.5. Bateaux en ferrociment	5
I.4.6. Bateaux en plastique	5
I.4.6.1. Le polyester	6
I.4.6.2. Les fibres de verre	6
I.4.7. Bateaux en mousse	6
I.4.8. Bateaux en contreplaqué	7
I.5. Quelques techniques de fabrication de coques	7
I.5.1. L'infusion	7
I.5.2. Roto moulée et thermoformée	8
I.6. Les types de coques	9
I.6.1. Coques à fond plat	9
I.6.2. Coques rondes	9
I.6.3. Coques en V	9
I.6.4. Multicoques	9
I.7. Les matériaux composites	9
I.7.1. Les renforts	10
I.7.2. Les matrices	11
I.8. Avantage des matériaux composites	11
I.9. Architecture des renforts	12
I.9.1. Les unidirectionnels (UD)	12
I.9.2. Toile ou taffetas	12
I.9.3. Serge	12

I.9.4. Satin	13
I.10. L'orientation des fibres.....	13
<i>Chapitre II</i>	
<i>Étude numérique</i>	
II.1. Introduction.....	15
II.2. Model en fibres de verre.....	16
II.2.1. angle d'orientation à 0°	17
II.2.1.1. Contrainte de Von Mises	17
II.2.1.2. Déplacement	18
II.2.2. Effets de la variation de l'épaisseur de la fibre de verre.....	19
II.3. Model en fibre de carbone/ époxy.....	20
II.3.1. Effets de la variation de l'épaisseur de la fibre de carbone	21
II.4. Effet de fissure longitudinale sur les paramètres de contrainte et déplacement pour le cas de la fibre de carbone/époxy.....	22
II.5. Effet de la fissure longitudinale sur le paramètre de contrainte et déplacement pour le cas de la fibre de verre	25
II.6. Réparation d'une fissure par patch en composite.....	26
II.6.1. Réparation de la fissure du glisseur par patch en carbone époxy	27
II.6.2. Réparation de la fissure du glisseur par patch en verre époxy	28
II.7. Comparaison des trois états de la coque du glisseur (neuf, fissuré puis réparé).....	29
II.7.1. Fibres de carbone.....	29
II.7.2. Fibres de verre	31
<i>Conclusion Générale</i>	

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I. 1. Yacht	1
Figure I. 2. Les éléments de bateaux	2
Figure I. 3. Bateau de Pêche en Bois.....	3
Figure I. 4. Bateau en coque d'acier	4
Figure I. 5. Bateau en coque d'aluminium.....	4
Figure I. 6. Voilier en coque de cupronickel.....	5
Figure I. 7. Coque en ferrociment	5
Figure I. 8. Kayak en plastique.....	5
Figure I. 9. Plaque en mousse.....	6
Figure I. 10. Barque en contreplaqué.....	7
Figure I. 11. Procédé d'infusion d'une coque d'un navire	8
Figure I. 12. Procédé de Roto Moulage.....	8
Figure I. 13. Procédé de Thermoformage	8
Figure I. 14. Types de renfort	10
Figure I. 15. Types de matrices.....	11
Figure I. 16. Tissus	12
Figure I. 17. Toile	12
Figure I. 18. Serge 2/2	13
Figure I. 19. Satin.....	13

Chapitre II

Figure II. 1. Design Solid Works de la coque	15
Figure II. 2. Représentation de la coque étudiée	17
Figure II. 3. Représentation du maillage de la coque, et des 28 plis du stratifié à 0° d'orientation	17
Figure II. 4. Illustration de la distribution des contraintes de Von Mises de la coque.....	18
Figure II. 5. Illustration du déplacement de la coque pour une épaisseur de 28m.....	19
Figure II. 6. Influence de la variation des épaisseurs de la coque sur des déplacements en fonction d'orientation θ° pour la fibre de verre	20

Figure II. 7. Influence de la variation des épaisseurs de la coque sur l'amplitude de contrainte en fonction d'orientation θ° pour la fibre de verre.....	20
Figure II. 8. Influence de la variation des épaisseurs de la coque sur l'amplitude de contrainte en fonction d'orientation θ° pour la fibre de carbone.....	21
Figure II. 9. Influence de la variation des épaisseurs de la coque sur l'amplitude de contrainte en fonction d'orientation θ° pour la fibre de carbone.....	22
Figure II. 10. L'effet de fissure sur Contrainte de Von Mise	23
Figure II. 11. L'effet de fissure sur déplacement.....	23
Figure II. 12. Propagation et éclatement de la fissure	23
Figure II. 13. Influence de la variation des fissures sur la contrainte en fonction de l'orientation des fibres, pour le carbone époxy	24
Figure II. 14. Influence de la taille des fissures sur le déplacement en fonction de l'orientation des fibres pour le cas du Carbone époxy.....	24
Figure II. 15. Influence de la variation des fissures sur la magnitude de contrainte en fonction de l'orientation des fibres, pour la fibre de verre.....	25
Figure II. 16. Influence de la variation des fissures sur le déplacement en fonction de l'orientation des fibres pour la fibre de verre.....	26
Figure II. 17. Réparation du Glisseur par un patch en carbone époxy	26
Figure II. 18. Variation de la contrainte de von mises en fonction de l'orientation des fibres pour différentes longueurs de fissures réparées par patch en carbone époxy	27
Figure II. 19. Variation des déplacements en fonction de l'orientation des fibres pour différentes longueurs de fissures réparées par patch en carbone époxy	27
Figure II. 20. Variation de la contrainte de von mises en fonction de l'orientation des fibres pour différentes longueurs de fissures réparées par patch en verre époxy.....	28
Figure II. 21. Variation des déplacements en fonction de l'orientation des fibres pour différentes longueurs de fissures réparées par patch en verre époxy.....	29
Figure II. 22. Comparaison entre les trois états de la coque en fibre de carbone pour la contrainte en fonction de l'orientation des fibres.....	29
Figure II. 23. Comparaison entre les trois états de la coque en fibre de carbone pour le déplacement en fonction de l'orientation des fibres.....	30
Figure II. 24. Comparaison entre les trois états de la coque en fibre de verre pour la contrainte en fonction de l'orientation des fibres	31
Figure II. 25. Comparaison entre les trois états de la coque en fibre de verre pour le déplacement en fonction de l'orientation des fibres.....	31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II. 1. Propriétés mécaniques du composite verre/époxy	16
Tableau II. 2. Propriétés mécaniques du composite Carbon/époxy	21

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Dans les industries de la construction navale, la coque est la partie de tout navire maritime qui nécessite le plus de considération, et une sélection rigoureuse des matériaux présentant des propriétés spécifiques est cruciale pour atteindre les performances structurelles prévues. De plus, cela affecte le coût et la résistance du navire. Par conséquent, il doit être conçu de manière à lui permettre de résister aux conditions environnementales et météorologiques difficiles et à réduire les effets des différentes forces et charges qui agissent sur le navire pendant la navigation. La conception de la coque dépend du type de navire dans lequel elle est destinée à être utilisée ; en d'autres termes, les architectes navals utilisent différentes méthodes de construction de coque, en gardant à l'esprit le but et le type de navire. De tels matériaux ont récemment été utilisés dans l'industrie de la construction navale en raison de leur résistance spécifique élevée. La coque étant en contact permanent avec l'eau, elle est soumise à différents types de forces agissant simultanément. Par la suite, la sélection des matériaux est très importante dans la conception de la structure de la coque car elle affecte la résistance et la durabilité du navire et augmente la résistance, ce qui évite les dommages structurels en cas de collision ou d'échouement. Dans la conception de la structure de la coque, la valeur de la force appliquée et les matériaux utilisés sont les deux facteurs qui doivent être pris en compte pour assurer la sécurité et la fiabilité de la coque.

La recherche a été conduite en vue d'analyser le comportement d'une coque de glisseur fissurée et réparée par patch en composite. Plusieurs tailles de fissures ont été prédites et ont été mises en évidence à savoir les propriétés mécaniques de la coque et du patch utilisé. Dans cette étude nous considérons le modèle géométrique de la coque, les propriétés mécaniques et géométriques du patch. Le comportement (contrainte-déformation), l'influence des propriétés mécaniques du Patch, et de la coque, de même, la taille de la fissure sont mis en évidence pour une éventuelle réparation par patch.

Pour atteindre cet objectif, nous avons structuré notre mémoire en deux chapitres. Au premier, nous avons présenté une recherche bibliographique sur les différents modèles de bateaux et quelques notions sur les composites stratifiés.

Au deuxième et dernier chapitre, des applications ont été effectuées afin d'évaluer la résistance d'un Patch en composite à travers l'évolution de la longueur des fissures sur la concentration de contraintes et les déplacements, en utilisant différents matériaux pour la coque et pour le patch en composite.

Enfin, nous avons clôturé notre mémoire par une conclusion générale qui résume les principaux résultats et les futures recommandations.

Chapitre I

Généralités sur les bateaux et les Composites

I.1. Définition

Un bateau est une structure qui peut flotter sur l'eau et est gérée par ses occupants. Il sert au transport maritime ou fluvial et permet diverses activités telles que le transport de personnes ou de marchandises, la pêche ou d'autres services tels que la sécurité d'autres bateaux [1].

Mais avec l'avancée technologique des temps modernes, et la diminution de la quantité de ressources et de matières premières, il est maintenant nécessaire de trouver de nouvelles conceptions de navires et de nouveaux matériaux avec des caractéristiques mieux adapté dans les conditions maritimes, et répondant aux exigences et aux nécessités actuelles. Comme construire un navire d'une capacité de stockage supérieure, offrant une excellente résistance aux conditions extrêmes, qui vieillit bien au fil du temps, et qui requiert un entretien simple et efficace au plus faible coût possible.



Figure I. 1. Yacht [2]

I.2. Les Propriétés de la structure des bateaux

Le bordage doit résister à la pression statique de l'eau et aux contraintes exercées directement ou indirectement sur celle-ci par la cargaison.

Il doit aussi résister à la pression dynamique due à la vitesse du navire à la d'impact des vagues et aux mouvements verticaux de la coque ce dernier effet est considéré en général équivalent à celui d'une colonne d'eau d'une hauteur égale à la longueur de la coque [3].

I.3. Les éléments de bateaux

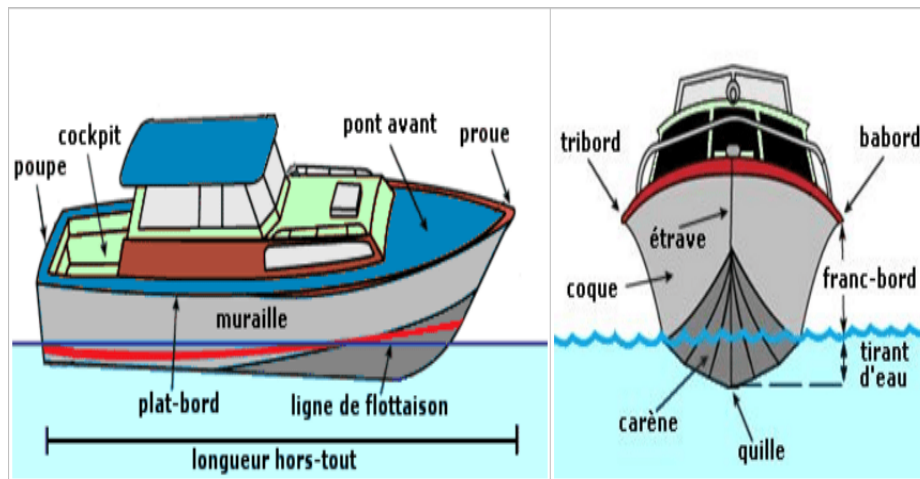


Figure I. 2. Les éléments de bateaux [4]

La proue d'un bateau : La proue est la partie avant du bateau [5].

La poupe d'un bateau : La poupe est la partie arrière du bateau [5].

Cote Tribord d'un bateau : Tribord est la cote droite du bateau en regardant vers l'avant [5].

Cote bâbord d'un bateau : Bâbord est la cote gauche bateau en regardant vers l'avant [5].

Tirant d'eau : Le tirant d'eau est la profondeur d'eau nécessaire à la flottaison normale du bateau [5].

Ligne de flottaison : La ligne de flottaison désigne la ligne qui sépare la partie immergée de coque d'un navire de celle qui est émergée [5].

La ligne de flottaison d'une embarcation de plaisance a la capacité de la charge maximale recommandée [5].

Sillage : Le sillage est la masse d'eau agitée autour et en arrière du bateau et mise en mouvement par son passage [5]. Le sillage est la trace que laisse derrière lui un bateau à la surface de l'eau.

Coque : La coque est le corps de l'embarcation excluant le gréement [5]. Le mat, les voiles, le moteur et l'armement [5].

Plat-bord : Pièce longitudinale, posée à plat cerclant le pont du bateau [5].

Franc – bord : Le Franc-bord du bateau est la distance verticale minimale entre le plat-bord et la ligne de flottaison [5].

I.4. Les matériaux utilisés pour la fabrication de bateaux

Afin de répondre aux besoins des utilisateurs, les différents chantiers navals utilisent différents matériaux qui présentent chacun des avantages et des inconvénients selon le type et la fonction du navire.

Historiquement, les bateaux étaient construits en bois massif jusqu'à l'avènement du plastique dans les années 1960 et la montée de chantiers comme Jeanneau et Bénéteau.

Dans sa forme massive, Le bois a une flottabilité élevée, mais un poids considérable et surtout une résistance aux chocs limitée. Le stratifié collé - produit à partir de fines lamelles de bois croisées saturées de résines collées de type polyuréthane ou époxy, en revanche, présente une résistance beaucoup plus élevée, aucun risque de putréfaction grâce à la saturation en résine de tous les pores du bois et moins de poids que bois massif.

Il était principalement utilisé pour la construction de voiliers et n'est pas très adapté aux bateaux de pêche de plaisance. C'est également le cas du contreplaqué, que l'on retrouve encore dans la structure squelette de nombreux bateaux, mais qui est peu utilisé pour la construction de coques pour les unités de pêche [6].

I.4.1. Bateaux en bois



Figure I. 3. Bateau de Pêche en Bois [7]

Les coques en bois moulé plus résistante que les stratifiés polyesters classiques, et ne demandent qu'un entretien très limité, il n'y a pas de risque d'osmose, pas de risque de pourrissement, pas de fissures. Durabilité plutôt moyenne

I.4.2. Bateaux en acier



Figure I. 4. Bateau en coque d'acier [8]

Il est également plus durable et solide avec notamment une énorme résistance aux chocs, nous utilisons également de l'acier inoxydable, peu utilisé car il est cher [9].

I.4.3. Bateaux en aluminium



Figure I. 5. Bateau en coque d'aluminium [10]

Résistant à la corrosion et léger, adapté pour la course. Permet une structure simple, très haute résistance, rigidité et grande résistance aux chocs.

Ce matériau est très sensible à l'oxydation et sa protection doit être très soignée [9].

I.4.4. Bateaux en Cupronickel

Le Cupronickel est l'alliage de Cuivre proche du bronze est parfois utilisé pour sa résistance à la corrosion et son effet antisalissure naturel, mais c'est cher [9].

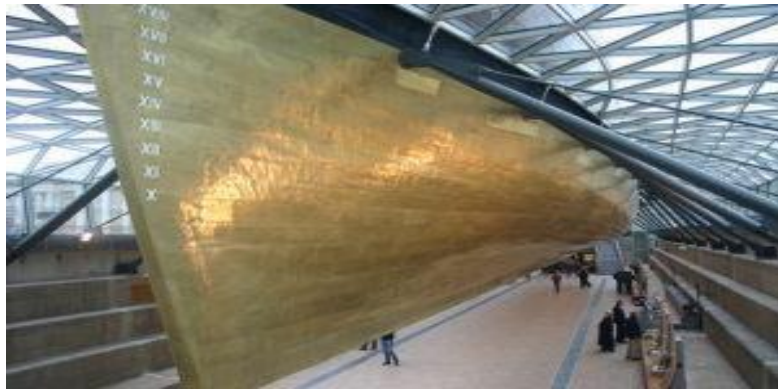


Figure I. 6. Voilier en coque de cupronickel [11]

I.4.5. Bateaux en ferrociment



Figure I. 7. Coque en ferrociment [12]

Le ferrociment est solide et durables sous moule.

I.4.6. Bateaux en plastique



Figure I. 8. Kayak en plastique [13]

Le matériau le plus courant est le plastique ou ses dérivés sous forme de composite. La construction d'une coque avec ces matériaux nécessite l'utilisation d'un moule dans lequel une couche de gel Coat est appliquée, puis à la main, des couches successives de fibre de verre et de résine, souvent en polyester, se superposent. Des renforts en bois, comme du balsa ou du contreplaqué ou même de la mousse, sont placés aux endroits où le bateau subit les plus grandes forces [6].

I.4.6.1. Le polyester

Le polyester stratifié est un matériau inaltérable, doté d'une composition chimique neutre, résistant et léger à la fois.

I.4.6.2. Les fibres de verre

Les fibres de verre sont aujourd'hui parmi les matériaux industriels les plus polyvalents et les plus connus. Ils sont facilement fabriqués à partir de matières premières, disponibles en grande quantité. Ils ont des propriétés utiles telles que la dureté, la résistance aux attaques chimiques et la stabilité. Ainsi, ils ont de bonnes propriétés telles que la résistance, la flexibilité et la rigidité. [14].

I.4.7. Bateaux en mousse



Figure I. 9. Plaque en mousse [15]

La résistance de la structure et son insubmersibilité sont obtenues en dilatant de la mousse à cellules fermées, Alors qu'ils sont encore dans le moule, ils sont injectés sous pression entre la coque et le pont, occupant ainsi tout l'espace disponible entre la coque et le fond du cockpit. Cette technique de construction offre une grande rigidité à l'ensemble, en particulier une résistance élevée aux chocs et une flottabilité permanente même lorsque la coque est coupée en deux [6].

I.4.8. Bateaux en contreplaqué

C'est un produit industriel, prêt à l'emploi et disponible partout en différentes normes de feuilles et de dimensions. Le principe est toujours le même : fabriqué en déroulant le tronc d'arbres, les feuilles de contreplaqué sont assemblées par collage de plusieurs plis croisés à 90° dans de grandes presses. Une coque en contreplaqué sera assemblée par panneaux

On dit à, terme qui désigne l'angle formé par deux panneaux. Côté rapport performances / poids, le contreplaqué a beaucoup à dire, il se situe entre le plastique et l'aluminium. Il faut aussi parler de la structure. Dans un bateau en contreplaqué, la plupart des éléments qui sont des cloisons et des cabines. Duplication moins systématique sur un bateau en plastique ou en aluminium. En conséquence, le gain de poids de l'ensemble du bateau est souvent supérieur à ce que la comparaison des poids des planches suggérerait. Mais le contreplaqué est un matériau assez cher et l'époxy avec laquelle il se combine est la plus chère des résines [16].



Figure I. 10. Barque en contreplaqué [17]

I.5. Quelques techniques de fabrication de coques

I.5.1. L'infusion

De nombreux sites ont choisi la technique d'infusion qui permet, par aspiration sous vide, de faire circuler la résine uniformément à travers les différentes couches de fibre de verre, voire en sandwich avec du balsa ou une structure en nid d'abeille qui a l'avantage de renforcer la coque sans générer une augmentation du poids. Dans ce cas, l'âme du panneau est constituée d'une structure en nid d'abeille en polypropylène et d'un revêtement de surface en polyester non tissé permettant de stratifier ou de coller tout type de matériau [6].

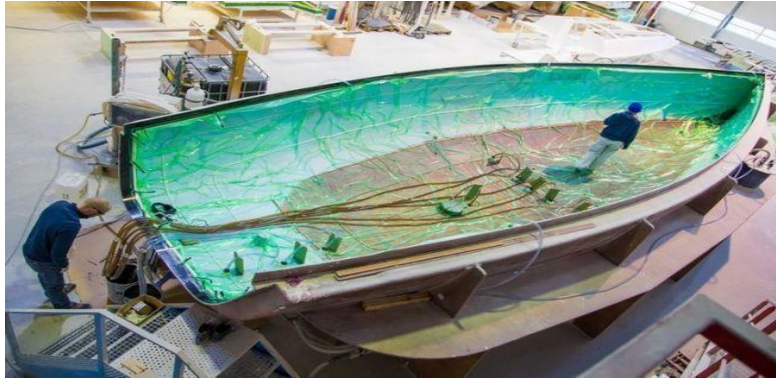


Figure I. 11. Procédé d'infusion d'une coque d'un navire [18]

I.5.2. Roto moulée et thermoformée



Figure I. 12. Procédé de Roto Moulage [18]



Figure I. 13. Procédé de Thermoformage [18]

Les deux techniques utilisées pour la construction de coques de bateaux en plastique sont le roto moulage de polyéthylène pratiqué par de nombreux constructeurs de kayaks, et aussi par le constructeur de bateaux américains Triumph boat, et le thermoformage de plaques d'ABS (Acrylonitrile Butadiène Styrene), technique utilisée par le constructeur finlandais Terhi. Ces deux techniques limitent les tailles des bateaux à environ 5 mètres. Dans le cas du polyéthylène

roto moulé, cela est dû au risque de déformation de la structure sous les variations de température et pour l'ABS Thermoformé à cause de la taille des plaques et du moule. Mais, ces matériaux montrent une grande résistance aux chocs et un tarif compétitif [6].

I.6. Les types de coques

I.6.1. Coques à fond plat

Les coques à fond plat sont généralement de petits bateaux, tels que des bateaux de pêche, qui peuvent facilement glisser sur l'eau à grande vitesse. Ils sont généralement conçus pour être utilisés sur les lacs et les rivières car ils ne sont pas capables de bien naviguer dans les eaux agitées, en particulier à grande vitesse. Les bateaux à fond plat ne sont pas très stables et doivent être utilisés avec une grande prudence [19].

I.6.2. Coques rondes

Les bateaux à coque ronde se déplacent très bien dans l'eau, ils glissent presque sur l'eau, la majorité des bateaux de croisière et à moteur ont une coque arrondie. Les bateaux à coque ronde se déplacent à faible vitesse, ils ne peuvent pas déjauger. Comme la forme arrondie roule avec les vagues [19].

I.6.3. Coques en V

Sont conçues pour fonctionner à des grandes vitesses et à couper les vagues. Ces coques nécessitent de gros moteurs pour se déplacer à des vitesses similaires et consomment donc plus de carburant [19].

I.6.4. Multicoques

Les catamarans, trimarans et pontons sont des multicoques. Ils ont une coque en forme de V, reliés par une plate-forme. Ces coques deviennent de plus en plus populaires, car elles offrent beaucoup d'avantages tels que la stabilité et la vitesse, mais nécessitent beaucoup d'espace pour naviguer et tourner. Les multicoques glissent mieux que les bateaux à simple coque [19].

I.7. Les matériaux composites

Un matériau composite est constitué de différentes phases nommées renforts et matrice, non miscibles on obtient un matériau hétérogène, Le renfort contient des fibres de natures différentes. Il offre au matériau composite des performances mécaniques très améliorées d'une

part. D'autre part, la matrice a pour fonction la transmission de sollicitations mécaniques aux fibres et protéger les fibres des agressions extérieurs.

I.7.1. Les renforts

- **Fibres courtes** : quelques centimètres ou millimètres, ce sont les feutres et les mats utilisés en moulage
- **Fibres longues** : coupées au moment de la fabrication des matériaux composites utilisés telles quelles ou bien tissées

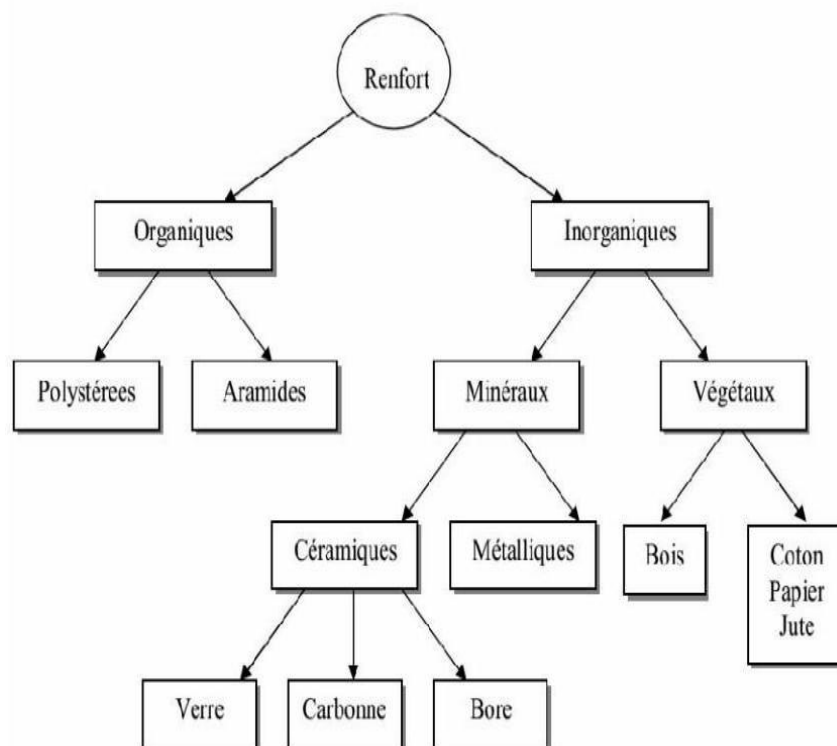


Figure I. 14. Types de renfort

I.7.2. Les matrices

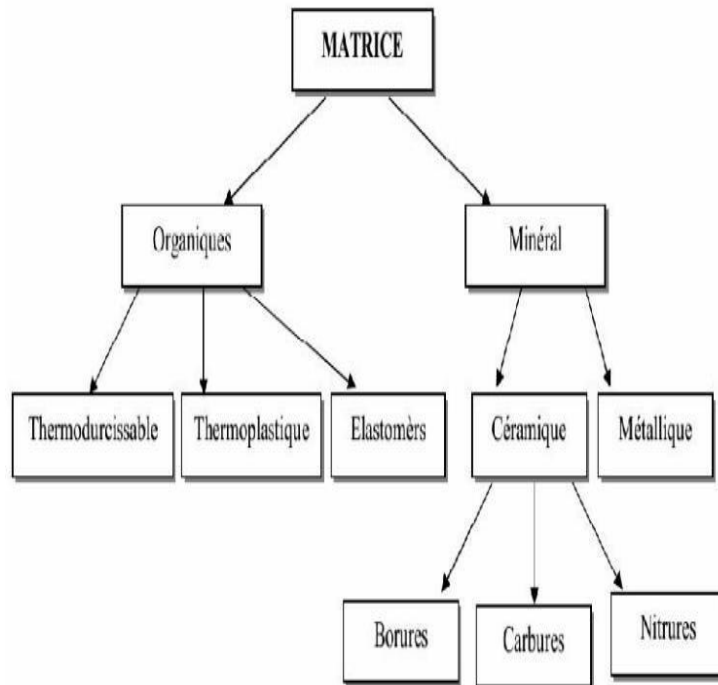


Figure I. 15. Types de matrices

La matrice lie les fibres renfort, repartit les efforts, donne la forme voulue et apporte la tenue chimique de la structure. Les différents types de matrices utilisées pour la réalisation d'un patch composite sont donnés par la figure 1.15

I.8. Avantages des matériaux composites

Actuellement les matériaux composites sont largement utilisés dans différentes structures. Ils présentent de meilleures propriétés mécaniques par rapport aux matériaux métalliques. Les principaux avantages des matériaux composites se résument ci-dessous :

- Grande résistance à la fatigue et au vieillissement sous l'effet de l'humidité et la chaleur.
- Résistance à la corrosion. Absence des effets néfastes des produits chimiques comme les graisses, les huiles, les liquides hydrauliques, les peintures et les produits pétroliers.

I.9. Architecture des renforts

Les structures composites sont anisotropes. La plupart des renforts travaillent bien en traction, mais offrent de moins bonnes performances en compression et cisaillement. Il est donc impératif de jouer sur la texture et la géométrie des renforts pour créer une architecture adaptée.

Il existe différentes géométries et textures de renforts :

I.9.1. Les unidirectionnels (UD)

Dans une nappe UD, les fibres sont assemblées parallèlement les unes par rapport aux autres à l'aide d'une trame très légère. Taux de déséquilibre très grand.

Les tissus se composent de fils de chaîne et de trame perpendiculaires entre eux. Le mode d'entrecroisement ou armure les caractérise [20].



Figure I. 16. Tissus [20]

I.9.2. Toile ou taffetas

Chaque fil de chaîne passe dessus puis dessous chaque fil de trame, et réciproquement. Le tissu présente une bonne planéité et une relative rigidité, mais est peu déformable pour la mise en œuvre. Les nombreux entrecroisements successifs génèrent un embuvage important et réduisent les propriétés mécaniques.

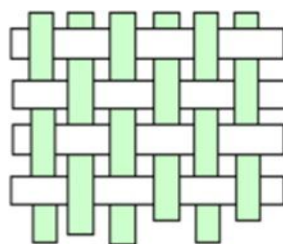


Figure I. 17. Toile [20]

I.9.3. Serge

Chaque fil de chaîne flotte au-dessus de plusieurs (n) fils de trame et chaque fil de trame flotte au-dessus de (m) fils de chaîne. Armure de plus grande souplesse que le taffetas ayant une bonne densité de fils. Ci-dessous, un sergé 2/2.

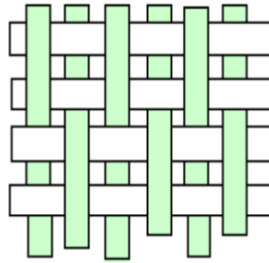


Figure I. 18. Serge 2/2 [20]

I.9.4. Satin

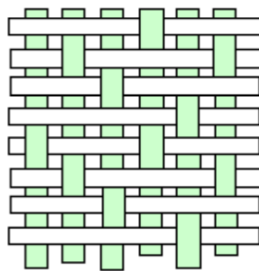


Figure I. 19. Satin [20]

Chaque fil de chaîne flotte au-dessus de plusieurs (n-1) fils de trame et réciproquement. Ces tissus ont des aspects différents de chaque côté. Ces tissus sont assez souples et adaptés à la mise en forme de pièces à surfaces complexes. Ce type de tissus présente une forte masse spécifique. Comme un tissu est difficilement déformable sur une surface gauche, on réalise également pour des utilisations spécifiques de l'armure bi ou tridimensionnelle [20].

I.10. L'orientation des fibres

Un stratifié est constitué de l'empilement de deux ou plusieurs couches (appelées également plis) entreposés successivement, et se comportent comme une seule entité structurale. Chaque couche est formée de fibres de faible section imprégnées de résine, elle est désignée par son orientation, qui est l'angle que fait la direction des fibres avec la direction de référence (qui est généralement la direction des fibres unidirectionnelles orientées à 0°). La séquence d'empilement du stratifié, désigne le nombre et l'orientation des couches successives en

parcourant le stratifié d'une face à l'autre. Ainsi, un stratifié est dit unidirectionnel si, l'angle entre deux couches consécutives est nul, c'est-à-dire, toutes les fibres sont alignées selon une seule direction. Cependant, un stratifié est multidirectionnel si les couches successives, sont orientées les unes par rapport aux autres à des angles autres que 0° tel, les multidirectionnels $[0/ +45/ -45/ 90/ 90/ +45/ -45/ 0]$. Le choix de l'empilement, et plus particulièrement des orientations, permettra d'avoir des propriétés mécaniques spécifiques. On pourra avoir des stratifiés de type :

- Équilibré : stratifié comportant autant de couches orientées suivant la direction $+\theta$ que de couches orientées suivant la direction $-\theta$.
- Symétrique : stratifié comportant des couches disposées symétriquement par rapport à un plan moyen, ayant la même orientation des fibres
- Antisymétrique : stratifié comportant des couches ayant des orientations de fibres opposées
- Orthogonal : stratifié comportant autant de couches à 0° que de couches à 90° .

Chapitre II

Étude numérique

II.1. Introduction

Pour ce chapitre, la coque qu'on va étudier est celui d'un glisseur dont sa forme est quasi-plate spécialement pour les eaux peu profondes comme les rivières, les fleuves, les marécages et la cote.

Les dimensions de la coque sont les suivantes :

Longueur= 5.50m Largeur= 2.40m Hauteur= 1.12m

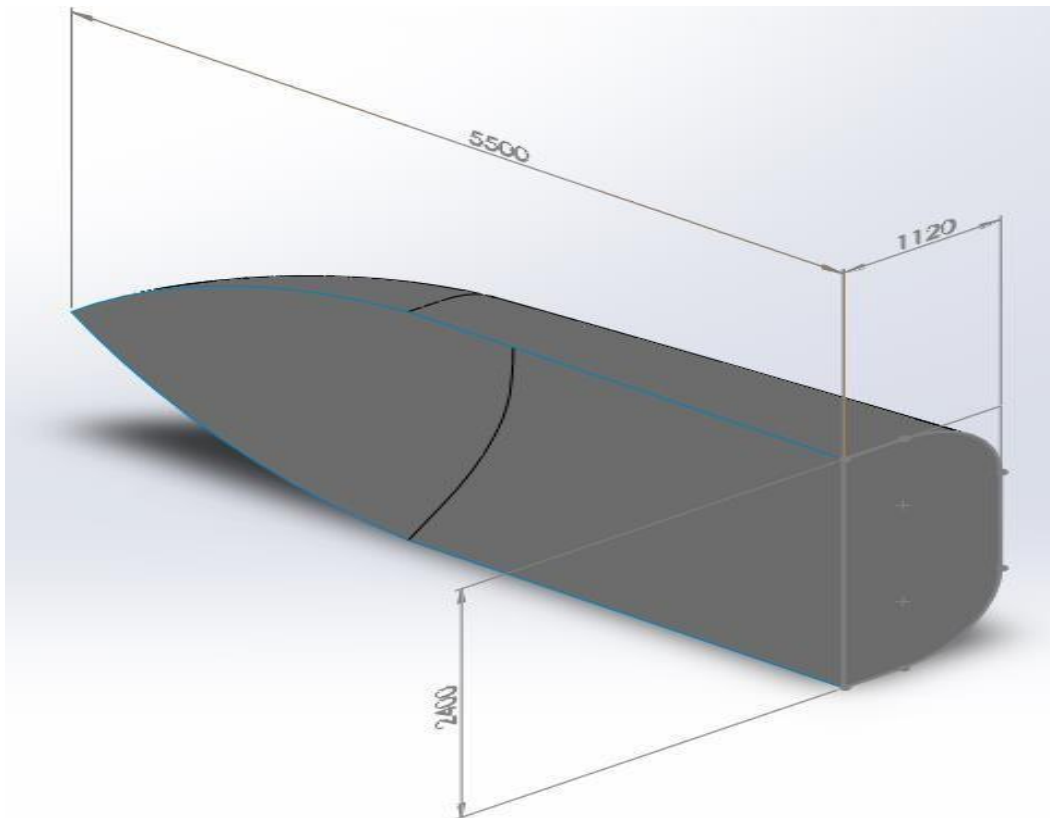


Figure II. 1. Design SolidWorks de la coque

Quant aux matériaux, nous allons faire une étude comparative entre la fibre de carbone et la fibre de verre selon la variation d'épaisseurs de la plaque et l'orientation des fibres. Nous avons choisi une plaque en composite stratifié d'épaisseur $e = 12 \text{ mm}$, $e = 15 \text{ mm}$, $e = 18 \text{ mm}$, $e = 21 \text{ mm}$ et d'une stratification de pli variée, la séquence d'empilement est $[0/-\theta]_f$, dans les panneaux de section de canal est considérée (θ comme variable de conception), et chaque couche a une épaisseur de 0.75 mm .

II.2. Model en fibres de verre

Le composite en fibres de verre est un type de composites polymères renforcés de fibres. Il possède de bonnes propriétés telles qu'une faible densité, une résistance élevée, une résistance à la corrosion et à l'oxydation. Son traitement est facile, et il est léger [21].

Les fibres de verre sont utilisées comme renfort de polymères dans divers domaines tels que l'aéronautique, l'automobile, la marine, les articles de sport et de loisirs, la construction et le génie civil. L'un des principaux avantages de l'utilisation des fibres de verre pour le renforcement des polymères est leur rapport performance/coût élevé [22].

Pour notre cas, nous allons changer quatre fois les épaisseurs totales de la coque et cinq fois l'orientation des fibres, afin d'obtenir et de comparer différents résultats, et de déterminer quelle configuration est la plus efficace pour éviter l'endommagement de la coque de fibre de verre (Tableau II.1).

Le bateau subira la pression de l'eau du côté externe de sa coque, et une force uniformément répartie du côté interne

Tableau II. 1. Propriétés mécaniques du composite verre/époxy

Propriétés	Fibre de verre
E_1 (MPa)	48000
E_2 (MPa)	12000
ν_{12}	0.19
G_{12} (MPa)	6000
G_{13} (MPa)	6000
G_{23} (MPa)	5000

II.2.1. Angle d'orientation à 0°

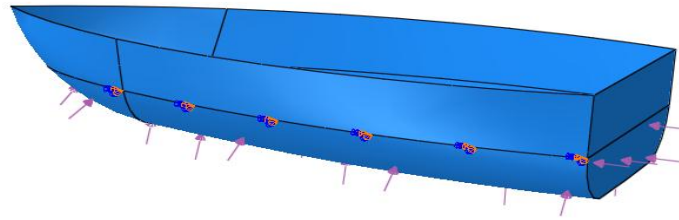


Figure II. 2. Représentation de la coque étudiée

En définissant la taille d'une maille, on obtient un nombre précis de ces éléments sur la coque, plus la taille de la maille est petite plus elles sont nombreuses et par conséquent le calcul des contraintes sera précis et la position de la contrainte maximale aussi.

Dans notre cas on obtient 5249 éléments de mailles, avec un nombre total de 28 plies dans le stratifié à 0

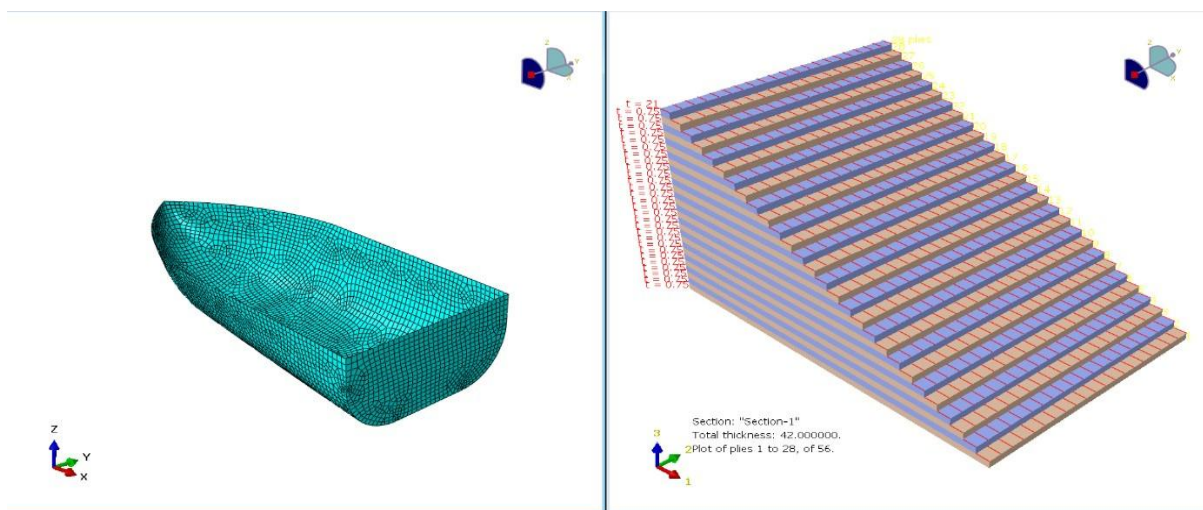


Figure II. 3. Représentation du maillage de la coque, et des 28 plies du stratifié à 0° d'orientation

II.2.1.1. Contrainte de Von Mises

Les critères de Von Mises d'une seule sécurité ont été utilisés pour l'analyse des contraintes de la structure. Dans les diagrammes ci-dessous, nous montrerons les résultats obtenus à partir de la simulation de la plaque de fibre de verre (Tableau II.1), les résultats montrent l'amplitude de la contrainte

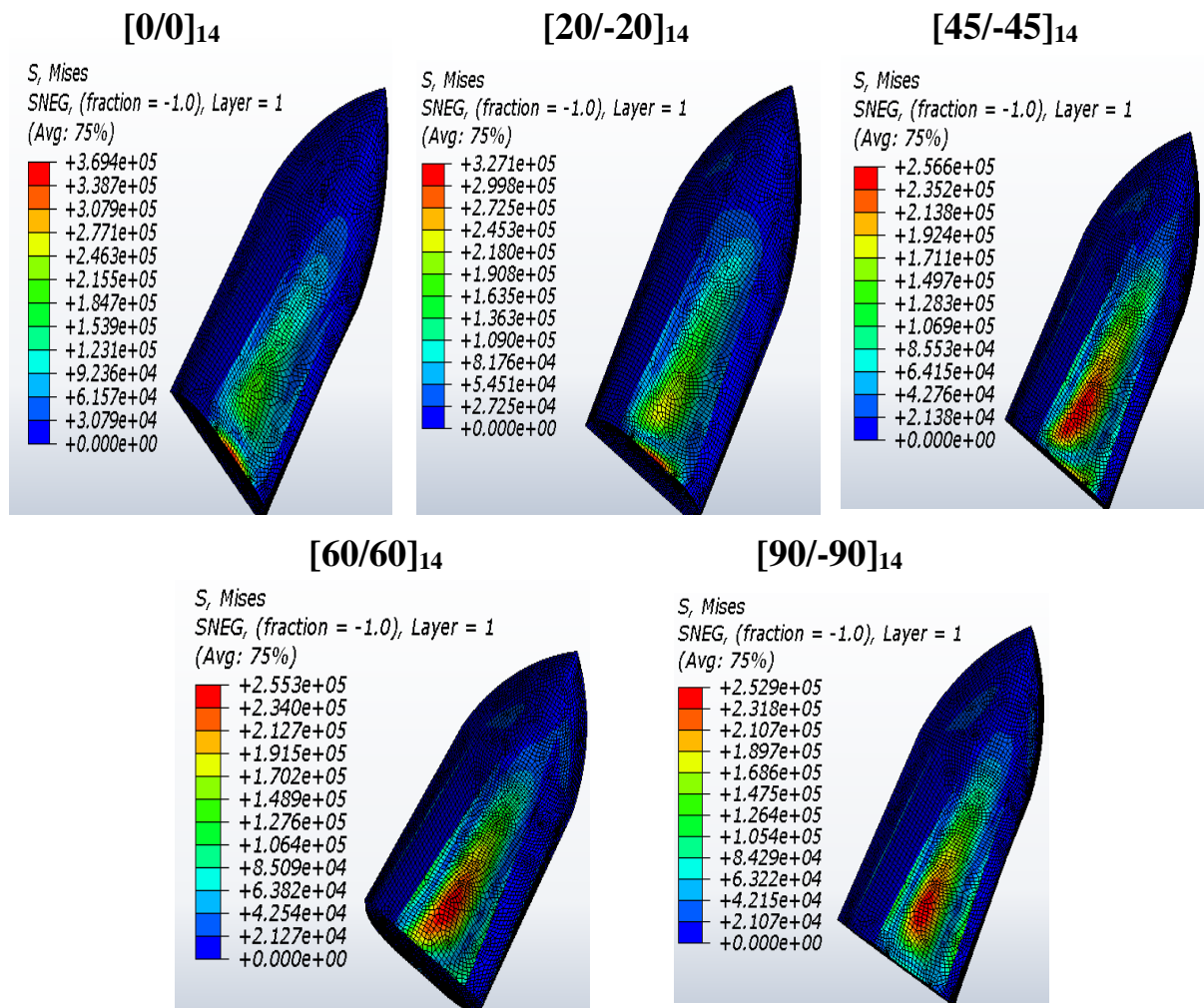


Figure II. 4. Illustration de la distribution des contraintes de Von Mises de la coque pour une épaisseur de 21mm

II.2.1.2. Déplacement

Dans cette section la simulation permet d'identifier et d'indiquer un ensemble de déformations modales de la coque pour déterminer les modes propres de la plaque de fibre de verre

Amplitude de déplacement de fibre de verre l'amplitude a été déterminée par rapport à l'orientation du pli et l'épaisseur de la plaque a été maintenue constante à $e = 21$ mm pour chaque orientation comme indiqué sur la figure II.5.

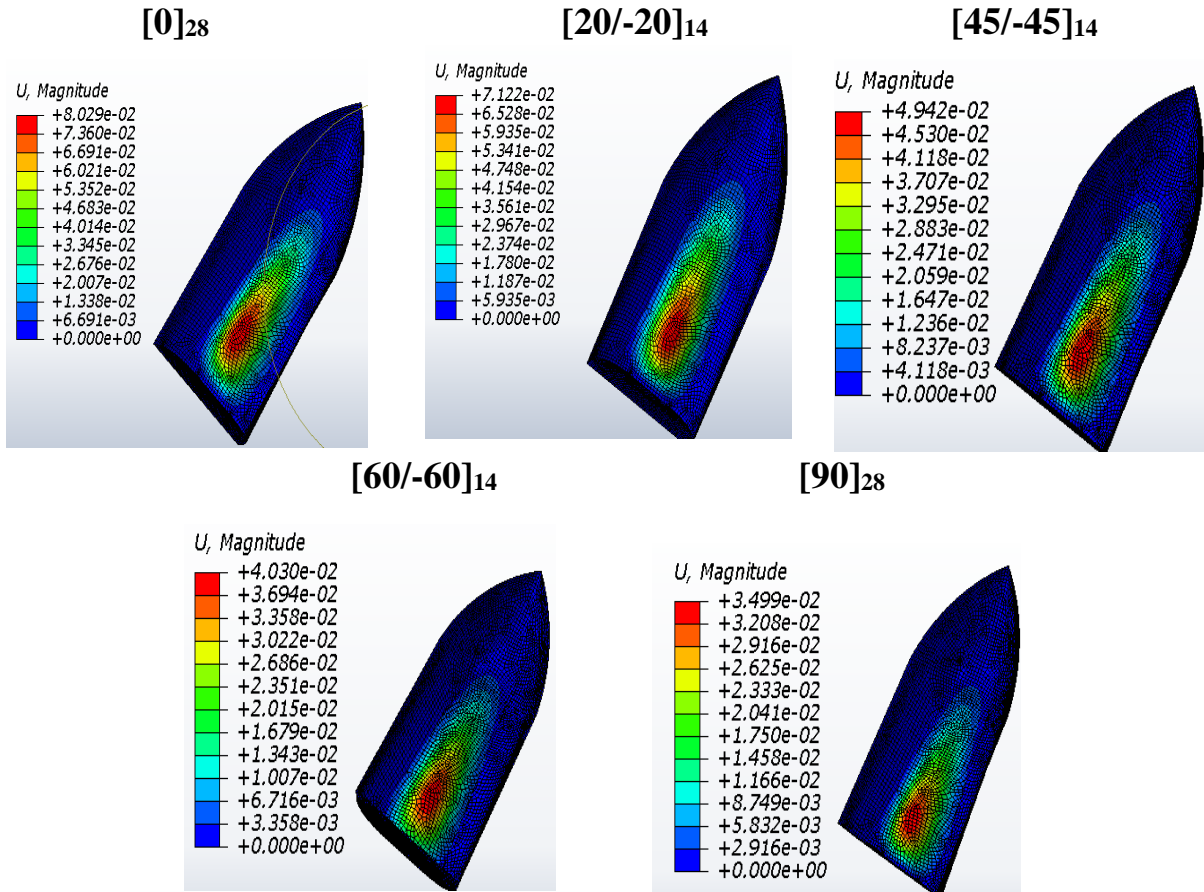


Figure II. 5. Illustration du déplacement de la coque pour une épaisseur de 21 mm

II.2.2. Effets de la variation de l'épaisseur de la fibre de verre

Les figures II.6 et II.7 montrent la variation de contraintes et des déplacements en fonction de l'orientation des fibres pour différentes valeurs de l'épaisseur de la coque en composite. La représentation est faite pour quatre épaisseurs différentes, $e = 12\text{mm}$, 15mm , 18mm et 21mm . Les résultats obtenus ont été traduits comme suit.

Dans l'interface $0-20^\circ$ la variation de contraintes est fortement plus élevée par rapport aux contraintes de l'interface entre 45° et 90° . Les plaques composites avec une grande épaisseur possèdent une petite valeur de contrainte et son amplitude de déplacement est très faible. Pour le cas de la figure II.7, on voit bien que la coque pour la plus petite épaisseur, dans l'intervalle de 0° à 20° , a une grande valeur de contrainte, mais à partir de l'orientation 45° , on obtient des petites valeurs de contrainte par rapport aux angles précédents. Par conséquent on note qu'en plus de l'épaisseur totale, l'orientation des fibres a aussi un effet sur la résistance et l'intégrité de la structure de la coque.

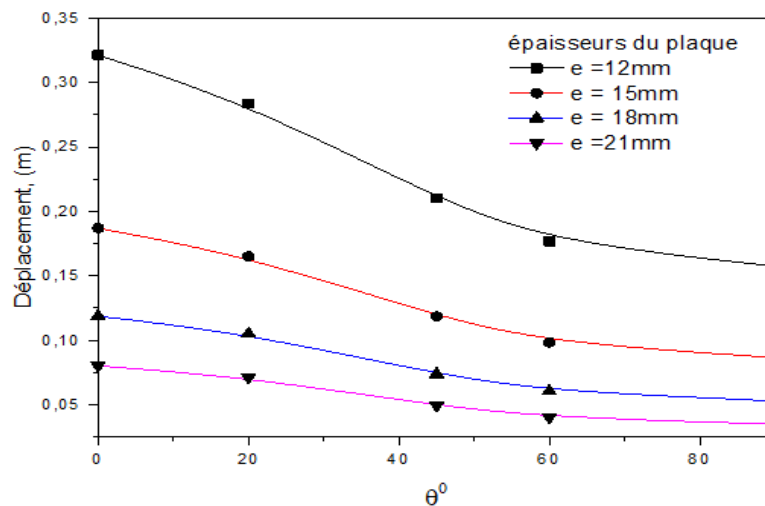


Figure II. 6. Influence de la variation des épaisseurs de la coque sur des déplacements en fonction d'orientation θ° pour la fibre de verre

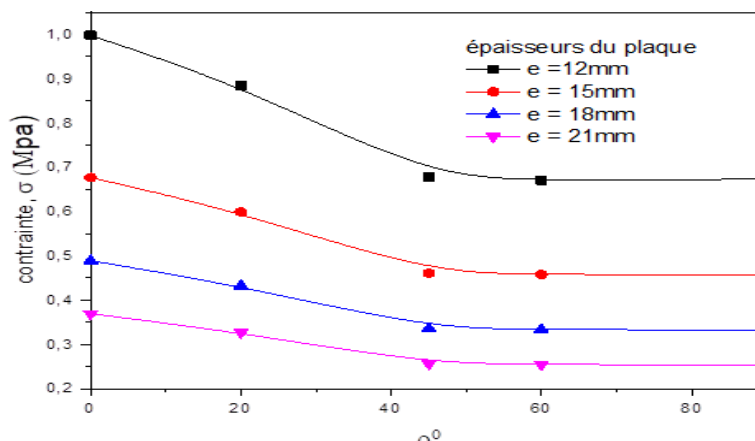


Figure II. 7. Influence de la variation des épaisseurs de la coque sur l'amplitude de contrainte en fonction d'orientation θ° pour la fibre de verre

II.3. Model en fibre de carbone/ époxy

La fibre de carbone est un matériau constitué de filaments de carbone cristallins minces et résistants. La fibre de carbone offre une variété d'avantages, notamment :

- Une rigidité élevée
- Haute résistance à la traction
- Faible rapport poids/résistance
- Tolérance aux hautes températures
- Faible dilatation thermique
- Haute résistance chimique

La fibre de carbone est composée d'atomes de carbone liés entre eux pour former une longue chaîne. Les fibres sont extrêmement rigides, solides et légères et sont utilisées dans de nombreux processus pour créer d'excellents matériaux de construction. Le matériau en fibre de carbone est disponible dans une variété de blocs de construction bruts, y compris les fils, unidirectionnels, les tissages, les tresses et plusieurs autres, qui sont à leur tour utilisés pour créer des pièces composites en fibre de carbone.

Tableau II. 2. Propriétés mécaniques du composite Carbone/époxy

Propriétés	Carbon/époxy
E_1 (MPa)	143120
E_2 (MPa)	6672
ν_{12}	0.26
G_{12} (MPa)	3390
G_{13} (MPa)	3990
G_{23} (MPa)	1914

II.3.1. Effets de la variation de l'épaisseur de la fibre de carbone

La représentation est faite pour quatre épaisseurs différentes, $e = 12\text{mm}$, 15mm , 18mm et 21mm

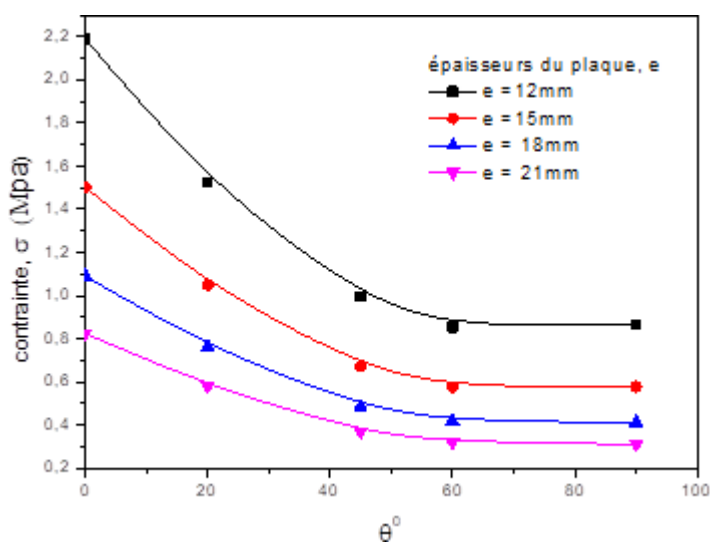


Figure II. 8. Influence de la variation des épaisseurs de la coque sur l'amplitude de contrainte en fonction d'orientation θ° pour la fibre de carbone

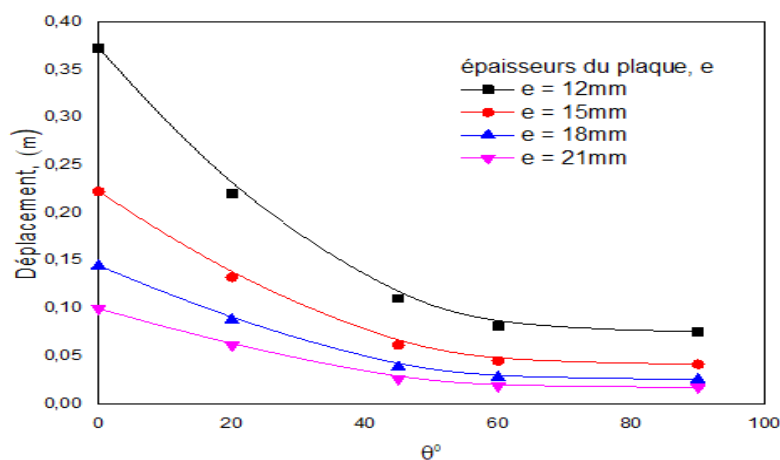


Figure II. 9. Influence de la variation des épaisseurs de la coque sur l'amplitude de contrainte en fonction d'orientation θ° pour la fibre de carbone

Pour notre étude, nous avons vu que le carbone/époxy a une plus grande amplitude en termes de contrainte de Von mises et aussi la valeur du déplacement U , est plus grande que celle de la fibre de verre, le pli l'orientation a un effet beaucoup plus important à partir de l'intervalle d'angle de 0° à 45° degrés, et de 60° à 90° , les graphiques sont presque constants, ce qui nous montre que la variation d'angle de 60° à 90° un très petit effet sur le changement des propriétés mécaniques d'un composite, Pour avoir une plaque plus résistante une orientation de pli de 0° à 20° est une meilleure option

II.4. Effet de fissure longitudinale sur les paramètres de contrainte et déplacement pour le cas de la fibre de carbone/époxy

Dans cette expérience on va étudier l'effet que peut causer une fissure longitudinale, une étude a été menée. Pour cela, deux plaques de carbone/époxy pour une épaisseur de 21mm ou 28 pli et l'épaisseur de chaque pli a été maintenu constant à $e = 0.75\text{mm}$, ont fait l'objet de notre recherche. La taille de la fissure a été variée, comme suit : $f = 400\text{ mm}$, $f = 300\text{ mm}$, $f = 200\text{ mm}$ et $f = 100\text{ mm}$

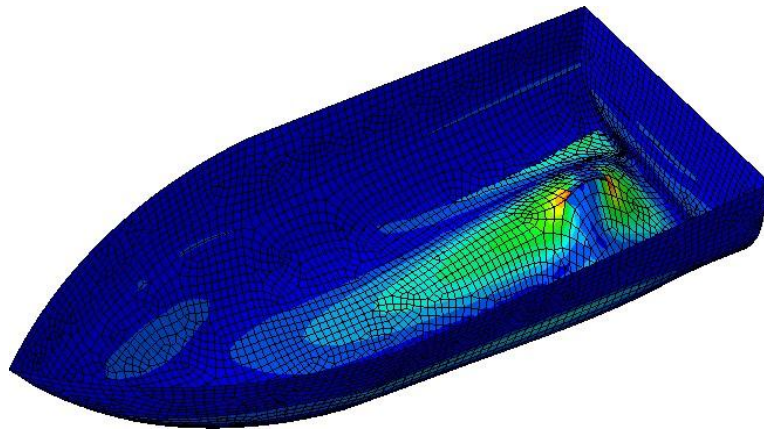


Figure II. 10. L'effet de fissure sur Contrainte de Von Mises

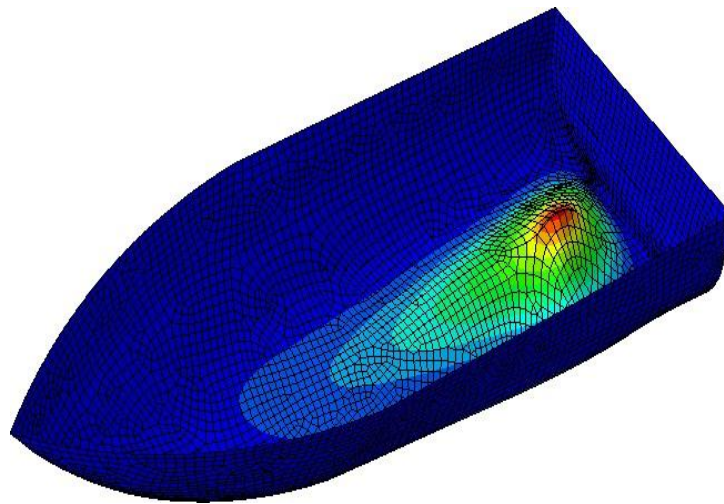


Figure II. 11. L'effet de fissure sur déplacement

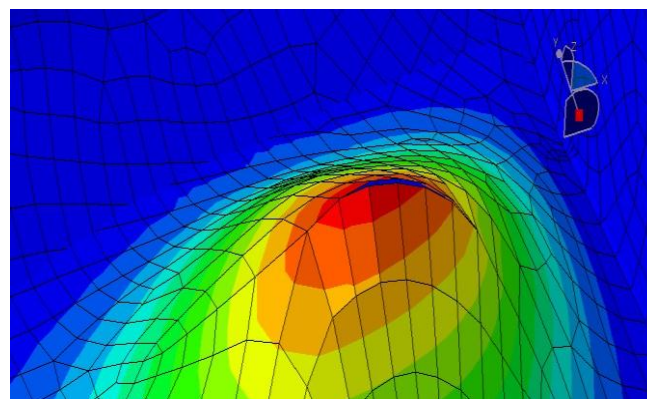


Figure II. 12. Propagation et éclatement de la fissure

Selon le graphe des contraintes ci-dessous (cas de la fibre de carbone), on remarque que les contraintes max a l'orientation de 0 degré est quasiment identique entre les différentes tailles de fissures, la différence la plus visible entre eux est la contrainte à 90 degrés de la fissure de 300 mm qui est supérieur à celle de la fissure de 400mm, on note que la longueur de fissure a grande effet dans la fourchette 60 - 90 degrés sur la contrainte.

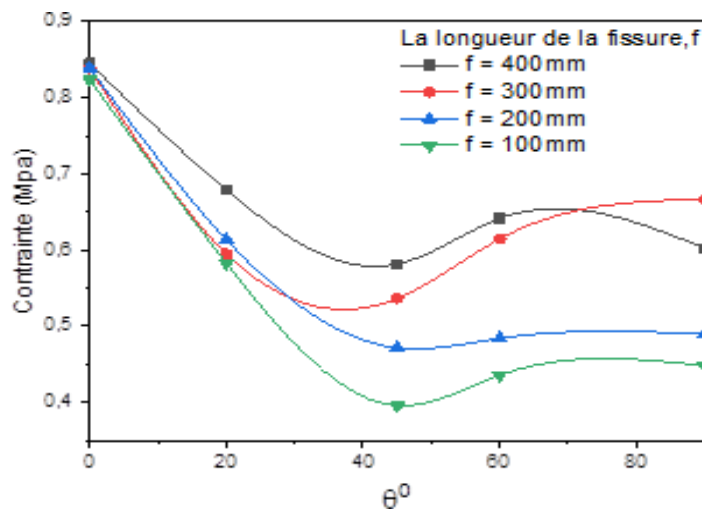


Figure II. 13. Influence de la variation des fissures sur la contrainte en fonction de l'orientation des fibres, pour le carbone époxy

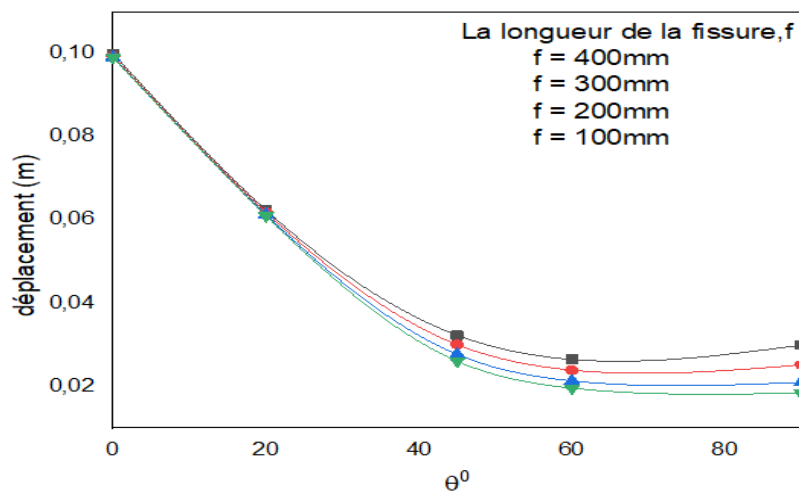


Figure II. 14. Influence de la taille des fissures sur le déplacement en fonction de l'orientation des fibres pour le cas du Carbone époxy

Pour le graphe de déplacement (Figure II.14), on remarque que les déplacements sont aussi quasiment identiques à partir de 0 degré jusqu'à 20 degrés, puis ils commencent à diverger jusqu'à 90 degrés, de plus on remarque que la taille de la fissure, n'a pas un très grand effet sur les déplacements par rapport à l'orientation des fibres

II.5. Effet de la fissure longitudinale sur le paramètre de contrainte et déplacement pour le cas de la fibre de verre

Pour ce cas (Figure II.15), on trouve qu'à l'orientation de 10 degrés on obtient des contraintes identiques entre les différentes tailles de fissures, et aussi on remarque la plus grande contrainte enregistrée pour l'orientation de 60 degrés avec la fissure de 300mm.

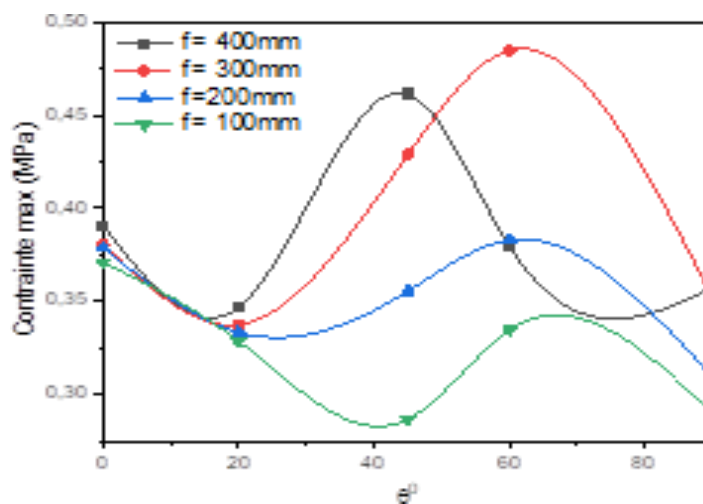


Figure II. 15. Influence de la variation des fissures sur la magnitude de contrainte en fonction de l'orientation des fibres, pour la fibre de verre

Le graphe de la Figure II.16, montre que la valeur du déplacement la plus importante se trouve sur orientation de 0 degré, puis de 0 degré jusqu'un 90 degré l'amplitude diminue, mais la fissure, $f = 400\text{mm}$ a toujours la plus grande magnitude de déplacement par rapport aux autres, aussi on note que la fissure, $f = 100\text{mm}$ a une plus petite magnitude de déplacement sur chaque orientation.

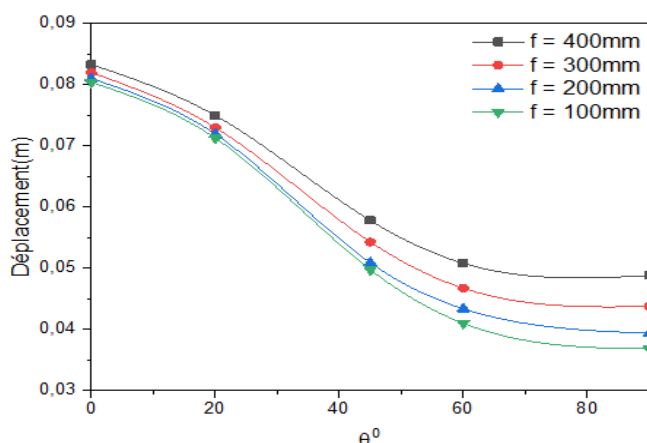


Figure II. 16. Influence de la variation des fissures sur le déplacement en fonction de l'orientation des fibres pour la fibre de verre

II.6. Réparation d'une fissure par patch en composite

Dans cette expérience on va étudier l'effet et observations faites après une réparation réussie d'un glisseur fissurée, deux matériaux ont fait l'objet de nos tests, à savoir le carbone-époxy et le verre-époxy. Pour cela, on a créé un patch en fibres de carbone de longueur et largeur respectifs $L=1200\text{mm}$ et $W=600\text{mm}$. La longueur et la largeur des patches ont été maintenues constantes pour toute l'étude, ainsi que l'épaisseur de chaque pli à $e = 0.75\text{mm}$.

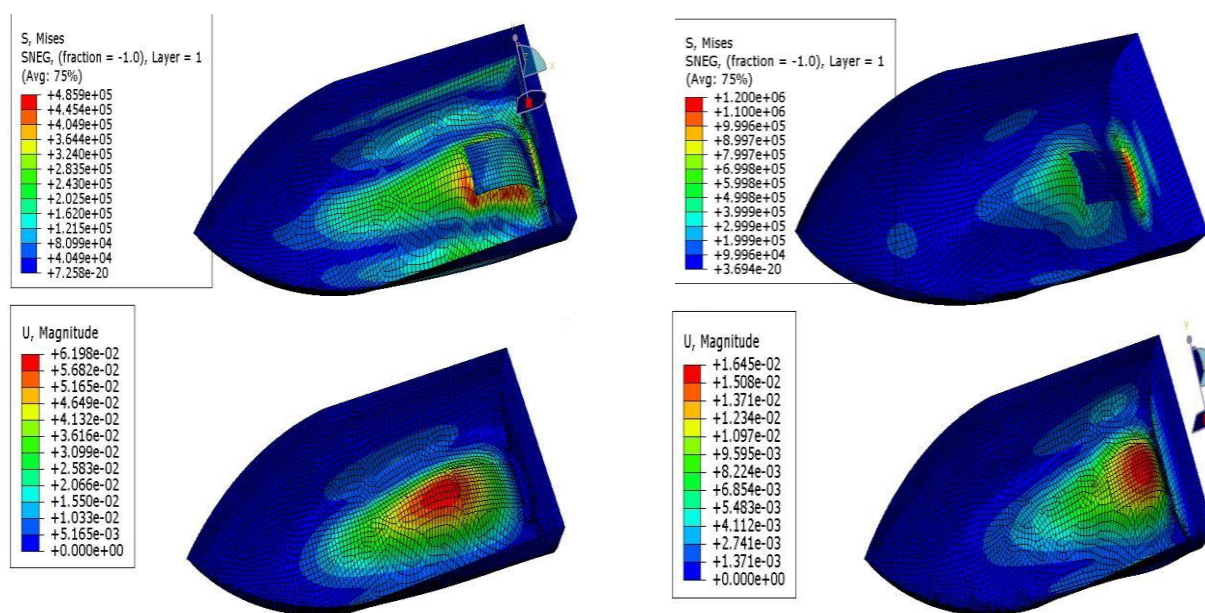


Figure II. 17. Réparation du Glisseur par un patch en carbone époxy

II.6.1. Réparation de la fissure du glisseur par patch en carbone époxy

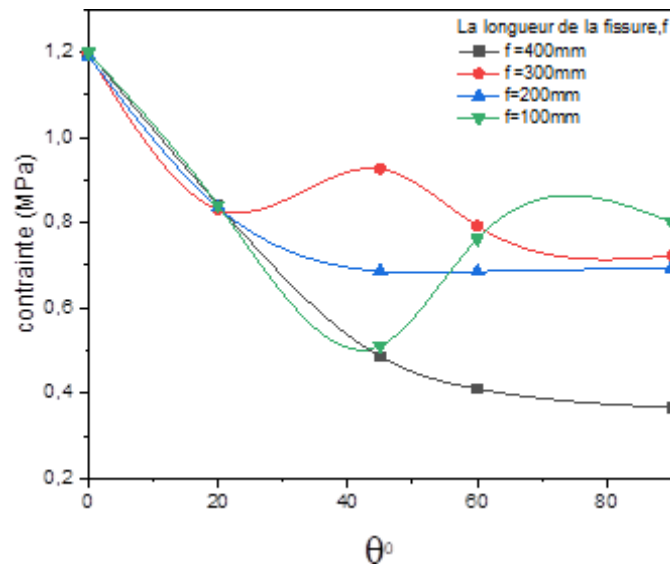


Figure II. 18. Variation de la contrainte de von mises en fonction de l'orientation des fibres pour différentes longueurs de fissures réparées par patch en carbone époxy

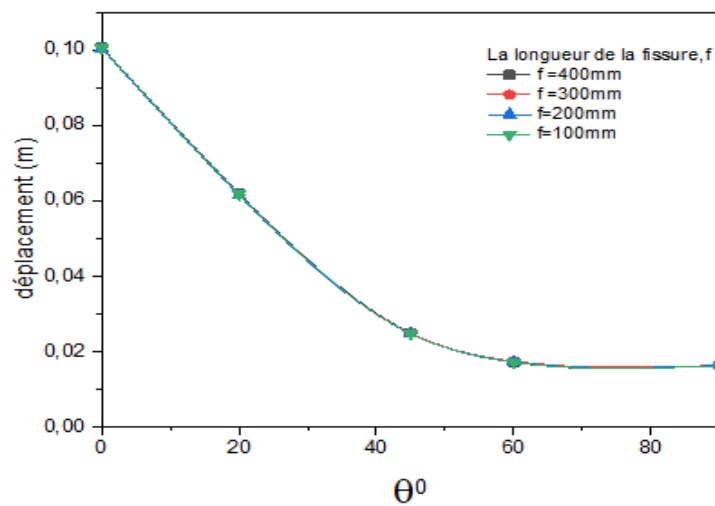


Figure II. 19. Variation des déplacements en fonction de l'orientation des fibres pour différentes longueurs de fissures réparées par patch en carbone époxy

La figure II.18 illustre la variation de la contrainte de Von Mises en fonction de l'orientation des fibres pour différentes longueurs de fissures. On note que la contrainte est maximale quand l'angle d'orientation est à 0° , puis on constate une légère augmentation de la contrainte pour la fissure de 300mm à partir de l'angle de 20° jusqu'à l'angle de 45° , puis diminue d'intensité. Ensuite on remarque une nette augmentation de la contrainte pour la fissure de 100mm à partir de l'angle de 40° jusqu'à l'angle de 75° .

Pour le graphe de la Figure II.19, on constate que le déplacement est maximal à l'angle de 0° , puis elle diminue jusqu'à sa valeur minimale à l'angle de 90° , et on remarque que les déplacements sont identiques entre les différentes longueurs de fissure, ce qui est due au patch qui a bien tenue et qui a empêché la propagation de la fissure.

II.6.2. Réparation de la fissure du glisseur par patch en carbone/époxy

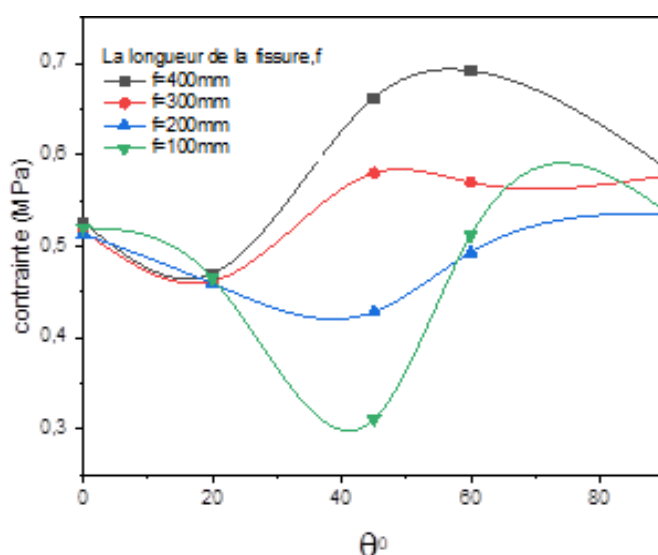


Figure II. 20. Variation de la contrainte de Von Mises en fonction de L'orientation des fibres pour différentes longueurs de fissures réparées par patch en carbone/époxy

D'après le graphe ci-dessus (Figure II.20), contrairement à celle de la fibre de carbone, la contrainte max n'est pas à l'angle de 0° , elle varie selon la longueur de fissure, par exemple, pour une fissure de 400mm, la contrainte max est à 55° , alors que pour une longueur de fissure de 100mm sa contrainte max est à l'angle de 70° . et on remarque que les contraintes sont presque équivalentes entre les différentes longueurs de fissures à l'angle de 0° et à 20° .

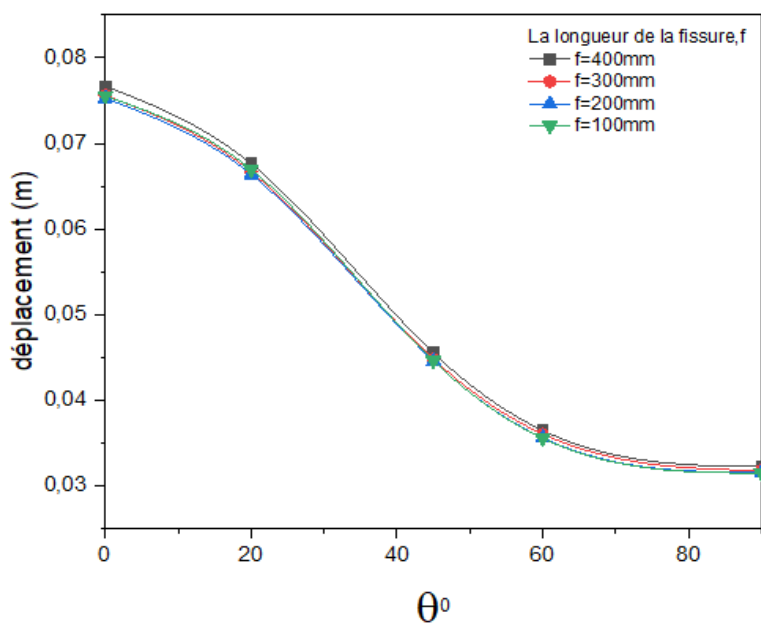


Figure II. 21. Variation des déplacements en fonction de l'orientation des fibres pour différentes longueurs de fissures réparées par patch en verre époxy

Pour le graph de la (Figure II.21), on constate que le déplacement est maximal à l'angle de 0°, puis elle diminue jusqu'à sa valeur minimale à l'angle de 90°, et on remarque que les déplacements sont presque identiques avec une très légère différence entre les différentes longueurs de fissure.

II.7. Comparaison des trois états de la coque du glisseur (neuf, fissuré puis réparé)

II.7.1. Fibres de carbone

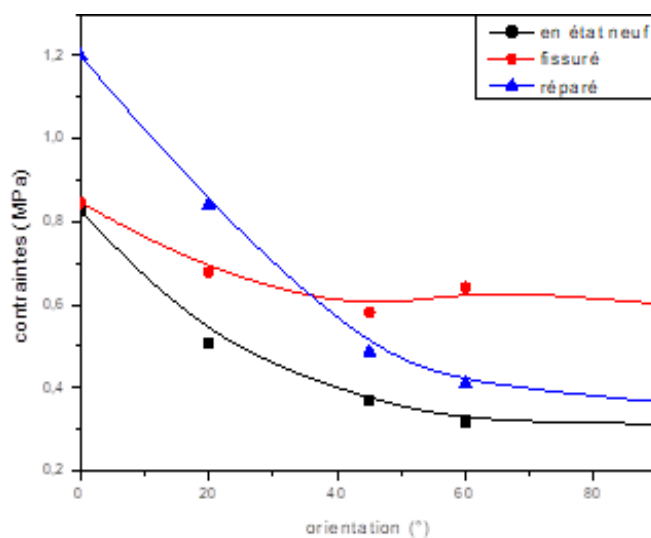


Figure II. 22. Comparaison entre les trois états de la coque en fibre de carbone pour la contrainte en fonction de l'orientation des fibres

Pour le graphe de la figure II.22, on note que la contrainte maximale se trouve à l'angle de 0° pour la coque en état réparé, cela est peut-être due à l'orientation des fibres du patch car si elles sont parallèles à la direction d'ouverture de la fissure alors le patch n'aura pas accompli sa tâche et empêché sa propagation. Puis on remarque que sa contrainte diminue jusqu'à arriver à des valeurs acceptables en dessous de celle de la coque fissurée.

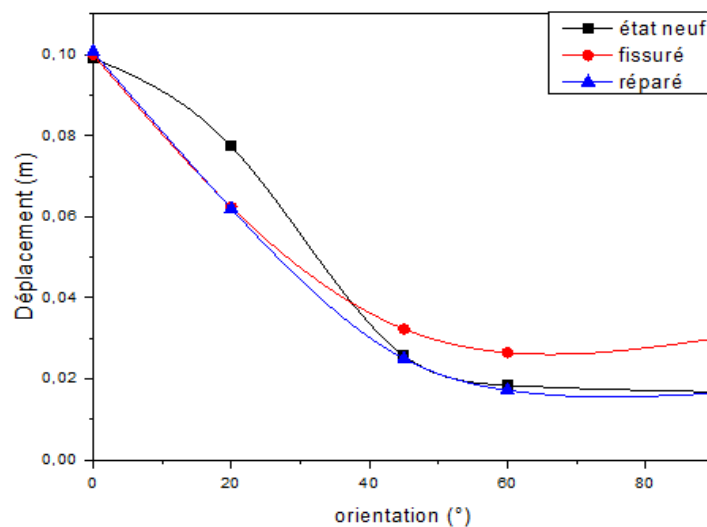


Figure II. 23. Comparaison entre les trois états de la coque en fibre de carbone pour le déplacement en fonction de l'orientation des fibres

Selon le graph ci-dessus, on constate aussi que le déplacement est maximal à l'angle de 0° et sont identiques pour les trois états de coque, puis à partir de 20° on remarque que les valeurs de déplacements pour l'état de coque fissuré sont supérieures à celles des états réparé.

II.7.2. Fibres de verre

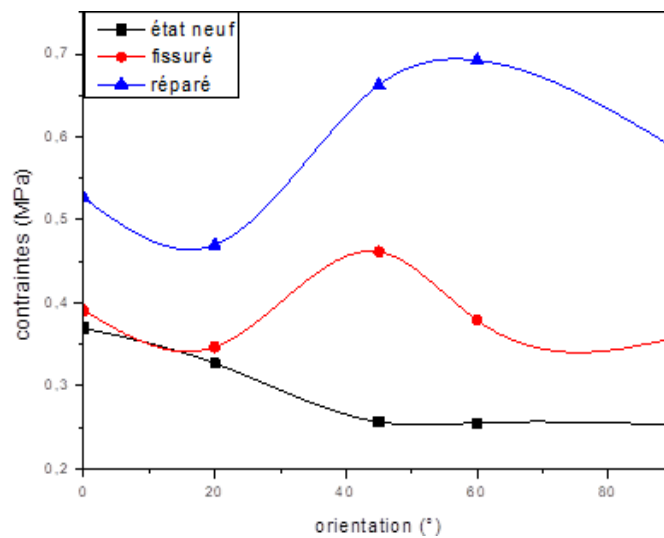


Figure II. 24. Comparaison entre les trois états de la coque en fibre de verre pour la contrainte en fonction de l'orientation des fibres

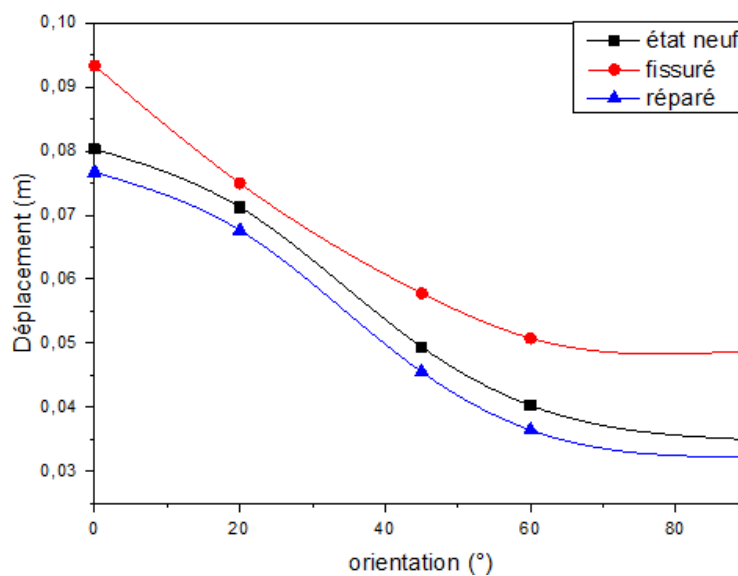


Figure II. 25. Comparaison entre les trois états de la coque en fibre de verre pour le déplacement en fonction de l'orientation des fibres

D'après le graph ci-dessus, on remarque que les valeurs de déplacements de l'état fissurée sont supérieures à celles des états réparée et neuf, et on constate aussi que les valeurs de déplacements de l'état réparée sont légèrement inférieures à celle de l'état neuf, cela est peut être due à la différence des propriétés mécanique entre le patch et la coque.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude traite le problème du comportement d'un glisseur ayant des fissures de différentes tailles. Afin d'augmenter sa durée de vie, cette structure a été réparée par un patch en composite en fibre de carbone.

Les résultats montrent que la coque pour la plus petite épaisseur, dans l'intervalle de 0° à 20° , a une grande valeur de contrainte, mais à partir de l'orientation 45° , on obtient des petites valeurs de contrainte par rapport aux angles précédents, en revanche la grande épaisseur possède une petite valeur de contrainte et son amplitude de déplacement est très faible

L'angle d'orientation des fibres a le plus grand impact sur la résistance, le déplacement et la déformation du matériau composite, les contraintes max à l'orientation de 0 degré sont quasiment identiques entre les différentes tailles de fissures, la différence la plus visible entre eux est la contrainte à 90 degrés

La valeur la plus importante du déplacement, se trouve sur orientation de 0 degré, puis de 0 degré jusqu'à 90 degré l'amplitude diminue, mais la fissure, $f = 400\text{mm}$ a toujours grande magnitude de déplacement par rapport aux autres.

L'étude comparative entre les différents matériaux indique que la coque en fibres de carbone a de meilleures statistiques que celle de la fibre de verre, mais du côté rapport qualité-prix c'est la fibre de verre qui est la plus choisie.

On note que la contrainte maximale se trouve à l'angle de 0° pour la coque en état réparé et le déplacement est maximal à l'angle de 0° , donc identiques pour les trois états de coque pour la coque de Carbone/époxy

Pour la fibre de verre les valeurs de déplacements de la barque fissurée sont supérieures à celles des barques réparées et neuves.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. <https://www.geocaching.com/track/details.aspx>
- [2]. https://images.boatsgroup.com/resize/1/21/61/8092161_20211105021729714_1_XLARGE.jpg
- [3]. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Coque_\(bateau\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Coque_(bateau))
- [4]. <https://i2.wp.com/vg-damgan.fr/site/wp-content/uploads/2017/01/coupe-bateau.png>
- [5]. <https://cartebateau.com/fr/terminologie-en-nautisme>
- [6]. <https://www.voileetmoteur.com/peche-en-mer/actualites-peche/coques-de-bateaux-levolution/30940>
- [7]. http://4.bp.blogspot.com/_B_BaV2yyRno/Rakjfc705hl/AAAAAAAAACA/9t_b1Xq_ocU/w1200-h630-p-k-no-nu/dory+%28%29resize.jpg
- [8]. https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRo_6c93GiaxvldQrA_ffi4Zoe1HVb8Z9hwgnCkWmRC1gZGvzsWJDp-MVKM0q8wsRv8bA4&usqp=CAU
- [9]. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Coque_\(bateau\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Coque_(bateau))
- [10]. <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTm5gGZHKOAswLEx-rUIKJoXxHejHMXoJMCuekWh-1rfr0hIFFCTY5xZdV5zWCga-1BpU&usqp=CAU>
- [11]. <https://oceanfootprint.co.uk/wp-content/uploads/2019/04/Image-showing-the-bottom-of-the-Cutty-Sark-300x200.jpg>
- [12]. <https://www.hisse-et-oh.com/store/medias/sailing/5dd/229/5f3/large/5dd2295f39819f3668e187e5.jpg>
- [13]. <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQdTXUyiyqWYKNmuglFMA9mKxhSBziyzSo0Gw&usqp=CAU>
- [14]. <https://cmm2017.sciencesconf.org/126275/document>
- [15]. https://img.archiexpo.fr/images_ae/photo-g/72614-3825891.jpg
- [16]. <https://voilesetvoiliers.ouest-france.fr/industrie-nautique/chantiers/contreplaque-l-elogue-de-la-difference-127c77d3-428a-d64b-a0e9-05ac6cd3a084>
- [17]. <https://p4.storage.canalblog.com/40/46/1324217/103338347.jpg>
- [18]. <https://media.bateaux.com/src/images/news/articles/ima-image-35580.jpg>
- [19]. <https://cartebateau.com/fr/types-de-coques>
- [20]. <https://docplayer.fr/6990808-Glossaire-des-materiaux-composites-carma-actualisation-octobre-2006-1.html>
- [21]. mechanical properties of glass fibre composites - Recherche Google
- [22]. Glass Fibre - an overview | ScienceDirect Topics