



Comportement dynamique de panneaux raidis pour des superstructures de frégate

Mostapha Tarfaoui, Ghias Mohamad

► To cite this version:

Mostapha Tarfaoui, Ghias Mohamad. Comportement dynamique de panneaux raidis pour des superstructures de frégate. 17èmes Journées Nationales sur les Composites (JNC17), Jun 2011, Poitiers-Futuroscope, France. pp.12. hal-00597876

HAL Id: hal-00597876

<https://hal.science/hal-00597876>

Submitted on 2 Jun 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Comportement dynamique de panneaux raidis pour des superstructures de frégate

Dynamic behavior of stiffened plate for frigate superstructures

Mostapha Tarfaoui¹, Ghias Mohamad¹

1 : ENSIETA / MSN - LBMS
2 rue F. Verny, 29806 Brest Cedex 9, France
e-mail : mostapha.tarfaoui@ensta-bretagne.fr, ghiasmo@ensta-bretagne.fr

Résumé

Les matériaux composites ont connu un grand succès dans le domaine de la construction surtout dans les structures avancées. Toutes les structures en question exigent le maximum de satisfaction au niveau des propriétés des matériaux utilisés. Dans les navires et les avions, la possibilité d'avoir des explosions ne peut pas être mise à l'écart au moment de la conception d'une telle structure. Il est donc très important d'étudier et de tester les structures sous des chargements dynamiques. Un des objectifs est le développement des structures raidies améliorées pour les superstructures de navires à base de composites à renforts fibreux. Parmi les différents types de panneaux raidis dans une superstructure nous nous intéressons à des panneaux sandwichs avec des raidisseurs de type oméga. La structure raidie se compose d'un panneau sandwich à âme balsa joints par le remplisseur formant une transition douce (rayon de 25 millimètres), et au-dessus un raidisseur oméga stratifié de la même épaisseur que la peau du sandwich. Ces structures ont été testées sous trois vitesses d'impact : 5, 10 et 15 m/s. Pour réaliser ces essais, une machine de choc hydraulique dont dispose l'ENSTA Bretagne a été employée. Les réponses dynamiques d'un raidisseur type Ω collé, par un adhésif, sur un panneau composite de type sandwich ont été étudiées dans ce travail, sous différentes vitesses d'impact dans l'objectif d'avoir le maximum d'informations en ce qui concerne les effets de la vitesse d'impact sur de telles structures. L'analyse des résultats pour les trois vitesses d'impact appliquées aux structures, nous permet d'énoncer des conclusions sur l'évolution de la raideur dynamique, de l'effort maximal et de la cinétique de l'endommagement avec la vitesse d'impact.

Abstract

Actually, composite materials have a great success in the advanced structures. All this structures need the satisfaction of the above properties of materials to the maximum extent. In the naval vessels and speed aircraft, explosion might be happened at any time, so it is very important to study the materials and the structure under dynamic loadings. The aim of this work is the development of the stiffened structures improved for the superstructures of ships containing composites with fibrous reinforcements. Among the various types of panels stiffened in a superstructure we are interested in sandwich panels with stiffeners of type omega. The stiffened structure is composed of a sandwich panel to heart balsa joined by the filler forming a soft transition (radius of 25 mm), and above a tightening omega laminated the same thickness as the skin of the sandwich. These structures were tested under three impact speeds: 5, 10 and 15 m/s. To carry out these tests, a hydraulic shock generator machine of available to the ENSTA Brittany was used. The dynamic responses of a standard stiffener Ω stuck, by an adhesive, on a sandwich composite panel were studied in this work, under various impact speeds in the objective to have the maximum of information with regard to the effects the impact speed on such structures. The analysis of the results for the three impact speeds applied to the structures enables us to state conclusions on the evolution of the dynamic stiffness, the maximum load and the damage kinetics with the impact speed.

Mots Clés : plaque raidie, composites, comportement dynamique, endommagement

Keywords : stiffened plate, composites, dynamic behaviour, damage

1. Introduction

Les panneaux composites raidis sont employés couramment dans les structures navales avancées car ils ont beaucoup d'avantages. Plusieurs études analytiques, numériques et expérimentales ont été réalisées pour étudier ces assemblages, analyser leurs modes de défaillance et pour améliorer leur efficacité structurale [1-4]. Chaitali et al. [5] ont réalisé une étude sur des plaques raidies en composite en employant une approche numérique basée sur la méthode des éléments finis. Ils ont aussi établi des formulations analytiques pour le calcul du champ de déplacement, de déformations

et de contraintes. Les comparaisons entre les résultats analytiques, numériques, et les travaux analytiques des autres chercheurs étaient satisfaisants. Un autre travail a été mené par Eksik et al. [6]. Une première partie expérimentale a été faite sur deux différents types de raidisseur type sous un chargement de 4 points de flexion. Ils ont trouvé que suivant la composition du stratifié, la rupture initiale se produit dans la matrice au niveau du chapeau et la rupture final a lieu soit en forme de rupture au niveau des fibres et de la matrice, soit en forme d'une rupture de cisaillement brutal au niveau des supports. Dans la deuxième partie de leur travail, un code de simulation numérique ANSYS a été utilisé pour modéliser les résultats expérimentaux. Ils ont obtenu des résultats numériques proches des résultats expérimentaux. Phillips et al. [7] ont essayé de quantifier l'endommagement entre le raidisseur en et la plaque de base dans une structure navale FRP. Dans cet article, des essais d'impact sur des plaques raidies avec un raidisseur type Ω assemblé par un adhésif (Epr-R-C), à un panneau composite de type sandwich est présenté ainsi que ses effets sur l'endommagement. Une étude phénoménologique et quantitative est présentée. On commencera tout d'abord par présenter la machine de choc utilisée pour réaliser les différents essais, les moyens d'acquisition et l'instrumentation des éprouvettes. Ensuite, nous discuterons les réponses dynamiques des différentes structures testées sous trois vitesses d'impact : 5, 10 et 15 m/s ainsi que l'endommagement associé.

1.1 Dispositif expérimental : machine de choc

La machine de choc hydraulique utilisée pour réaliser les essais dynamiques, dont dispose l'ENSTA Bretagne, possède deux points de fonctionnement (100 kN / 20 ms-1 / course 150 mm et 200 kN / 10 ms-1/ course 300 mm) et permet de conserver une vitesse constante (avec une erreur maximale de 10%). Cette machine haute vitesse d'impact, réalisée par Servovalves, a été employée. C'est une machine puissante avec 5 servovalves (4 pour la haute vitesse et le cinquième est pour la basse vitesse), Fig 1. Cette machine a été mise dans une cage de protection et est pilotée par un ordinateur qui se trouve à proximité dans une cabine. Le groupe hydraulique qui supporte le vérin de la machine est porté par quatre cylindres en acier fixés sur la table de la machine.



Fig. 1. Machine haute vitesse d'impact Servotest.

La machine est équipée par quelques dispositifs pour prendre les mesures de base : déplacement du piston (capteur tempo sonique Servotest), une cellule de force Servotest et une cellule d'effort ENSTA Bretagne avec des jauges en pont complet en bout de vérin. La machine dispose aussi d'un grand bassin de 3 m (L) $\times$ 2 m (P) $\times$ 1,1 m pour des essais d'impact sur eau, Fig 1. Un projectile avec un nez demi cylindrique de diamètre 160 mm et de longueur 250 mm est accroché au piston

par une pièce intermédiaire qu'est l'araignée. L'impacteur est en aluminium (ZICRAL 775). La masse totale de l'ensemble de l'araignée, le cylindrique plus les vis est égale à 12.75 kg.

1.2 Moyens pour suivre l'essai

Pour un suivi détaillé du comportement de la plaque raidie lors des essais, nous avons utilisé plusieurs techniques :

- un capteur de déplacement placé sur la partie haute de la tige du vérin,
- un accéléromètre placé sur la base de l'impacteur,
- des jauges pour mesurer l'effort, placées à 50 mm de l'extrémité basse du piston, derrière le soufflet. L'ensemble des quatre jauges de marque KYOWA (modèle FFG-2-1K-C1-11) constitue un pont de Wheatstone,
- l'acquisition est réalisée à l'aide d'une baie d'acquisition modèle Genesis,
- une camera rapide, d'une capacité maximale de 100000 images par seconde, pour suivre la cinétique de l'endommagement des éprouvettes,
- des jauges de déformation placées sur les éprouvettes, Fig 2.

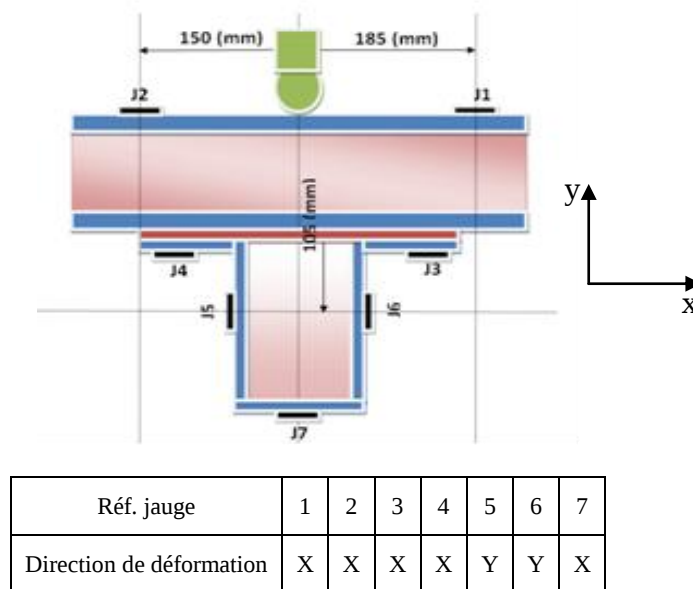


Fig. 2. Jauges de déformation.

2 Essais dynamique sur plaque raidie avec un raidisseur collé (Epr-R-C)

Dans le domaine naval, les structures sont généralement fabriquées à partir de matériaux composites verre/polyester assemblés par la technique de reprise de stratification qui est relativement simple à exécuter et peu traumatisante pour le matériau. Dans ce travail, nous avons utilisé une autre technique d'assemblage qui est le collage. Le point faible des deux modes d'assemblage est leur sensibilité aux sollicitations mécaniques hors-plan qui peuvent causer la ruine de la liaison par délaminage/décohésion. Ce mode d'endommagement est en particulier observé lorsque les structures subissent des chargements dynamiques : houle importante, explosion sous-marine ou aérienne, transmission d'un choc à la structure lors d'une sollicitation,...etc. Dans la première partie de cette section, nous allons présenter les résultats du comportement dynamique des plaques raidies collées sous trois vitesses d'impact : 5, 10 et 15 m/s.

2.1 Vitesse de 5 m/s

Dans un premier temps, les courbes de l'effort en fonction du déplacement pour les différentes pièces collées testées sont présentées. La figure 4, présente les courbes dynamiques (efforts – déplacement). Les deux courbes montrent un pic d'effort d'environ 30kN au moment du contact impacteur/épreuve suivi par une chute jusqu'à environ -5kN. Cette chute d'effort traduit un décollement entre l'impacteur et la pièce et/ou un endommagement dans la structure. Ce dernier a été suivi par d'autres modes de défaillance dans plusieurs zones de l'éprouvette. La cinétique de l'endommagement va être discutée dans la section 4.

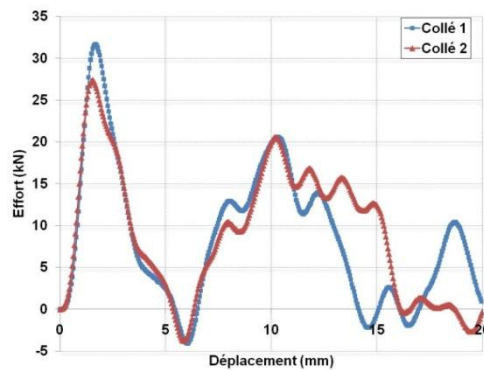


Fig. 3. Effort en fonction du déplacement, éprouvette collée - $V= 5\text{m/s}$.

A partir d'une comparaison entre le comportement des deux raidisseurs collés testés sous une vitesse d'impact de 5 m/s, nous pouvons constater une bonne reproductibilité au niveau de l'essai, Fig 3. L'effort dynamique maximal dépasse 30 kN.

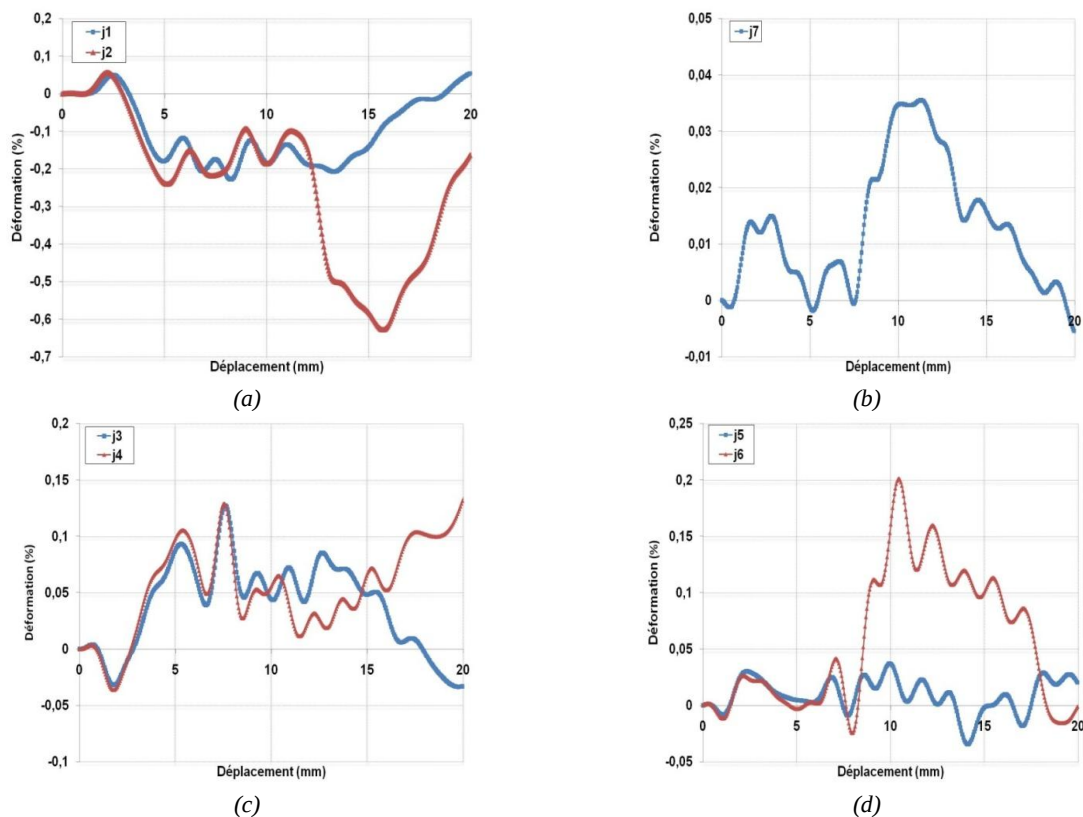


Fig. 4. Déformation de l'éprouvette collée 1 - $V= 5\text{m/s}$.

Dans un deuxième temps, les différents signaux issus des jauges sont discutés pour les différentes structures. On notera que les jauges de déformations ont parfaitement fonctionné durant les deux

essais. Pour la pièce 1, nous remarquons que nous avons validé le positionnement symétrique des pièces d'après la figure 4c-d. Les jauges 3 et 4 présentent des signaux quasiment identiques de même que les jauges 5 et 6. Les deux couples des jauges donnent des indications sur le positionnement des pièces et du système de chargement par rapport au bâti. Les jauges 1 et 2 montrent une déformation positive au départ suivi par une déformation négative. La peau de la plaque de base en contact avec l'impacteur a tendance à flamber localement et exercer des contraintes d'arrachement sur l'interface peau/âme.

2.1 Vitesse de 10 m/s

Deux éprouvettes Epr-R-C ont été impactées à une vitesse de 10 m/s. Nous avons suivi la même démarche utilisée pour une vitesse de 5 m/s pour présenter les réponses dynamiques des pièces. Commenant par présenter les courbes dynamiques efforts/déplacement, Fig 5. En augmentant la vitesse d'impact, nous notons une augmentation d'environ 10 kN au niveau du premier pic de l'effort enregistré par rapport à celui enregistré sous une vitesse de 5 m/s. L'effort maximal enregistré est d'environ 37 kN. La courbe montre une bonne reproductibilité des réponses dynamiques pour la vitesse d'impact de 10 m/s.

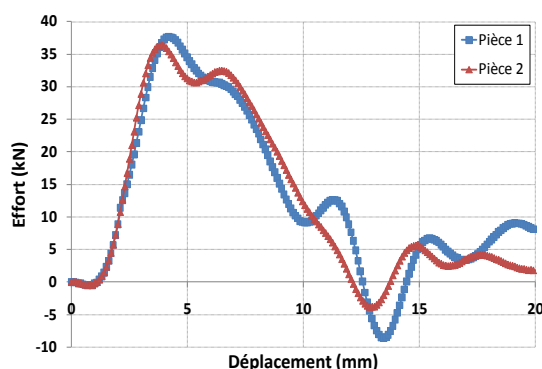


Fig. 5. Courbes effort - déplacement, éprouvette collée - $V = 10 \text{ m/s}$.

2.2 Vitesse de 15 m/s

Trois éprouvettes Epr-R-C ont été testées cette fois pour une vitesse d'impact de 15 m/s. Les réponses dynamiques sont présentées sur la figure 6. Nous constatons que les courbes obtenues pour les pièces 1, 2 et 3 donnent un comportement différent avec un effort maximal de 35 kN pour la pièce 1 et 2, alors qu'il est de 65 kN pour la pièce 3. Vu les différents problèmes liés à la machine de choc, nous étions incapable de réaliser d'autres essais avec une vitesse de 15 m/s. La fréquence d'acquisition pour l'essai 2 était de 50 kHz, alors qu'elle était de 100 kHz pour les essais 1 et 3. Ce changement de fréquence peut affecter l'allure des courbes représentant la réponse de la structure. En effet, le choix de cette fréquence d'acquisition de 50 kHz pour l'essai 2 a entraîné une perte d'information qui nous pousse à éliminer les résultats concernant cet essai. De la même façon, on élimine l'essai sur l'éprouvette 1 car les résultats paraissent en contradiction avec la tendance générale et les prévisions du modèle numérique. En augmentant la vitesse d'impact, nous avons noté une augmentation d'environ 25 kN au niveau du premier pic d'effort enregistré sur l'éprouvette 3 par la machine par rapport à l'effort enregistré pour une vitesse de 10 m/s.

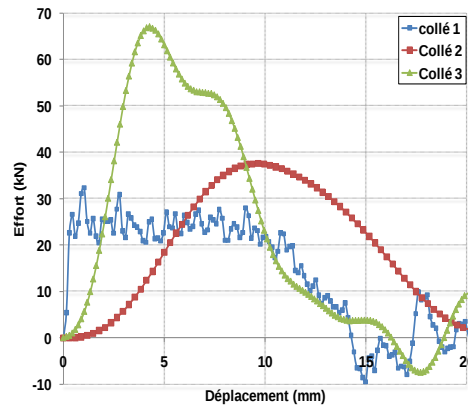


Fig. 6. Effort en fonction du déplacement, raidisseur collé - $V = 15 \text{ m/s}$.

Dans cette partie de travail plusieurs raidisseurs collés type oméga ont été testés sous trois vitesses d'impact : 5, 10 et 15 m/s. Les courbes traduisant la réponse dynamique de la structure ont la même allure avec une augmentation du niveau de l'effort en fonction de la vitesse d'impact. Les déformations enregistrées par les jauges ont des tendances similaires. Le niveau de déformation d'une pièce par rapport à l'autre peut varier légèrement, ce qui traduit la complexité de la réalisation et l'analyse des essais dynamiques.

3 Résultat et discussion

Avant de présenter les résultats des essais sur les raidisseurs stratifiés, nous avons étudié l'effet de la vitesse d'impact sur la réponse dynamique de la structure.

3.1 Évolution des courbes effort-déplacement en fonction de la vitesse d'impact

Pour essayer de comprendre l'effet de la vitesse d'impact sur la réponse d'un raidisseur collé, nous avons tracé les courbes effort – déplacement sur le même graphique en fonction de la vitesse, Fig 7. L'effort maximal a tendance à croître quand la vitesse d'impact augmente. L'évolution de l'effort après le premier pic n'a pas la même allure pour les trois vitesses. Ces différences entre les courbes peuvent être expliquées par le fait que la cinétique de l'endommagement n'est pas la même pour les trois vitesses. Nous avons noté aussi une rupture plus brutale en augmentant la vitesse d'impact, surtout dans le balsa qui peut influencer les réponses de la structure après le premier endommagement.

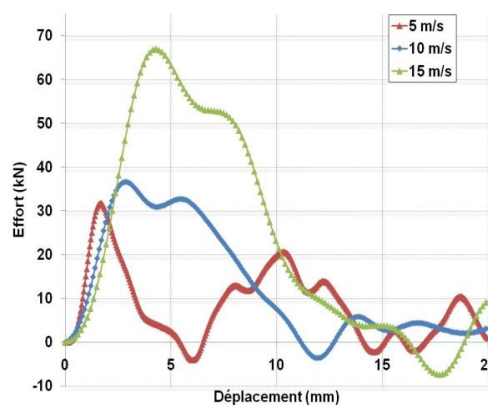


Fig. 7. Évolution de l'effort en fonction de la vitesse d'impact, éprouvette collée.

Le tableau 1 donne un résumé des essais réalisés sur des plaques raidies avec un raidisseur collé pour les vitesses de 5, 10 et 15 m/s. A partir de ces résultats, on peut voir que nous avons une raideur moyenne variable selon la vitesse de sollicitation.

	Essais	Vitesse (m/s)		
		5	10	15
Effort max (kN)	1	31.70	37.67	--
	2	27.42	36.38	--
	3	--	--	67.03
	moyenne	29.56	36.48	67.03
Raideur (kN/m)	1	33233	20010	--
	2	29493	19004	--
	3	--	--	20855
	moyenne	31363	19507	20855
Energie d'impact (kN.mm)		65,34	232,39	466

Tab. 1. Effort maximal et raideur en fonction de la vitesse d'impact.

4 Histoire de l'endommagement

La durée des essais dynamiques est de quelques millisecondes. Une caméra rapide a donc été utilisée pour suivre les endommagements dans la structure. Les photos et les vidéos qui ont été prises durant l'impact nous ont permis d'identifier les différents modes d'endommagement et de la rupture obtenus pour les trois vitesses d'impact.

4.1 Vitesse de 5 m/s

Pour cette vitesse, un problème technique a été signalé au niveau de l'enregistrement de la camera rapide. A cause de ce problème, nous n'avons pas pu suivre la cinétique de l'endommagement des pièces testées. Les photos prises pour analyser, et illustrer le mode de rupture ont été réalisées par une analyse post-impact. Comme nous pouvons le voir sur la figure 8, les modes d'endommagements observés dans la structure sont comme suit :

1. fissuration du balsa de l'oméga parallèlement à la direction de l'effort.
2. décollement entre le balsa et le joint de colle.
3. décollement entre le joint de colle et la peau de la plaque de base d'un seul côté de la structure si la symétrie n'est pas vérifiée et des deux côtés si elle est vérifiée.
4. rupture au niveau de l'interface peau – âme dans la plaque de base suivi par une rupture par cisaillement dans le balsa.
5. décollement au niveau des deux facettes de la colle

Il faut aussi noter un changement de couleur au niveau des deux arrondis de l'oméga qui est caractéristique du développement du délaminage et/ou rupture du remplisseur.

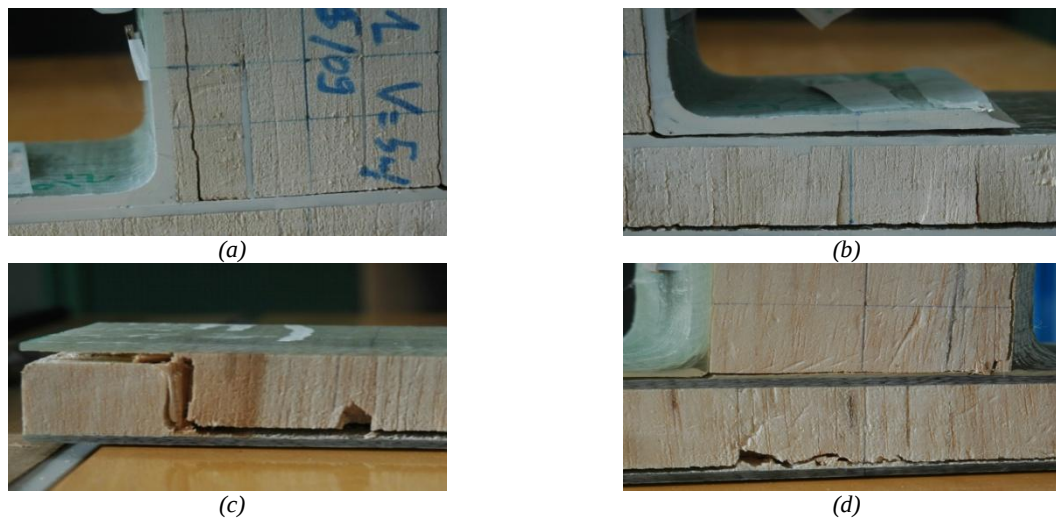


Fig. 8. Modes d'endommagement, plaque raidie collée – $V=5\text{m/s}$.

4.2 Vitesse de 10 m/s

Sur les figures 9 et 10, on peut voir un exemple des endommagements dans un raidisseur collé sous une vitesse d'impact de 10 m/s.

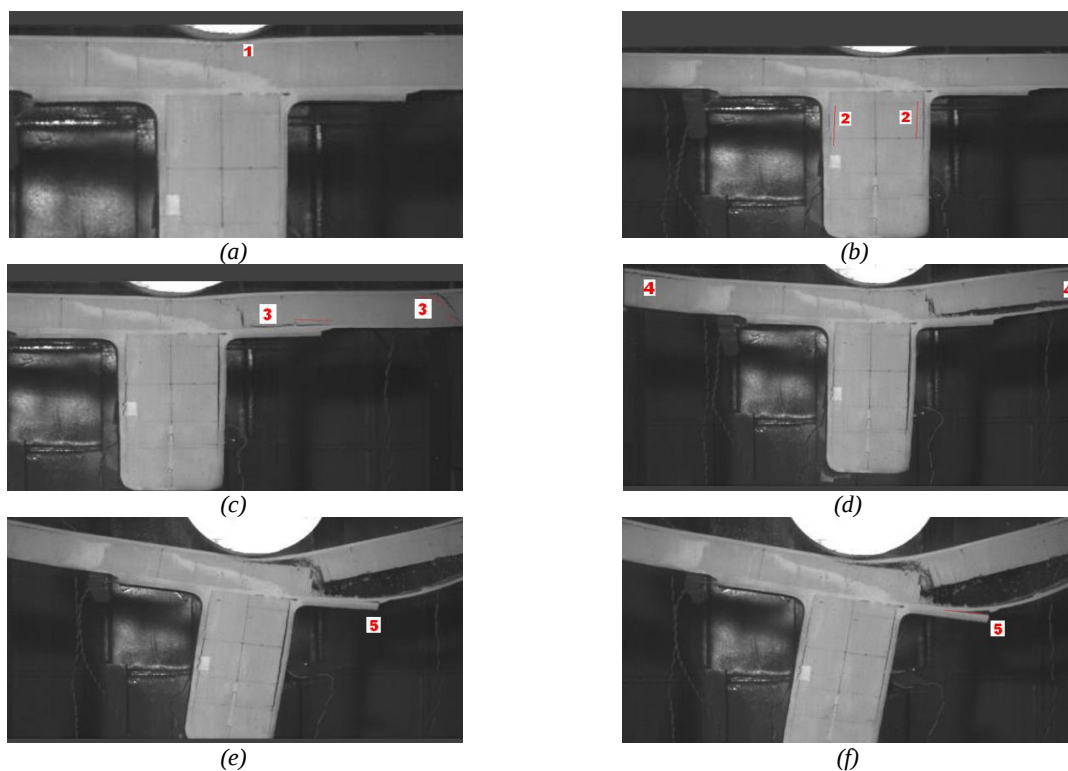


Fig. 9. Cinétique de l'endommagement, éprouvette collée $V=10\text{m/s}$.

L'initiation et l'évolution de l'endommagement de cette structure peuvent être résumées par les points suivants :

1. Écrasement de l'âme de la plaque de base en dessous de l'impacteur,
2. Fissuration du balsa du raidisseur parallèlement avec l'interface balsa/raidisseur,
3. Décollement entre la peau et l'âme de la plaque de base de part et de l'autre de la zone d'impact : le premier est à côté de la zone d'impact et le deuxième est à côté de l'appui.

Cette séparation a été suivie par une rupture dans le balsa. Avec ces premiers clichés, on remarque que l'essai présente une certaine dissymétrie.

4. Propagation de la fissuration entre la peau et le balsa jusqu'à la séparation totale. Cette séparation est plus amplifiée d'un côté de la structure par rapport à l'autre.
5. Lors de cette propagation, un décollement entre le joint de colle et la peau de la plaque de base s'opère du même côté de la structure.

L'analyse des clichés donnés par la caméra rapide et de la structure après l'impact montre une dissymétrie au niveau de la rupture finale de certaines pièces testées. Il faut aussi noter que le joint de colle présente des défauts sous forme de vides et aussi des défauts dans le balsa comme on peut le voir dans la figure 10.



Fig. 10. Endommagement post-impact, $V=10\text{m/s}$.

4.3 Vitesse de 15 m/s

Les photos et vidéos prises par la caméra rapide pour les essais réalisés sous une vitesse de 15 m/s ont montré que l'augmentation de la vitesse d'impact a un grand effet sur la cinétique de l'endommagement comme nous allons le voir dans cette partie. Cet effet est clairement visible sur les pièces après l'essai, Fig 11.



Fig. 11. Endommagements post-impact, $V=15\text{m/s}$.

La cinétique de l'endommagement peut être résumée comme suit, Fig 12 :

1. Écrasement puis explosion du balsa de la plaque de base en dessous de l'impacteur,
2. Développement de fissures dans le balsa du raidisseur parallèlement à l'interface balsa/raidisseur au niveau de deux côtés de l'oméga et d'une manière symétrique,
3. Rupture symétrique qui démarre au niveau de la zone endommagée du balsa dans la plaque de base, ensuite elle se propage des deux côtés dans le balsa jusqu'à l'interface supérieure balsa-peau,
4. Séparation symétrique entre la peau supérieure et l'âme,
5. Décollement entre le joint de colle et la peau de la plaque de base dans les deux côtés mais sans symétrie,
6. Rupture du balsa de plaque de base en plusieurs endroits.

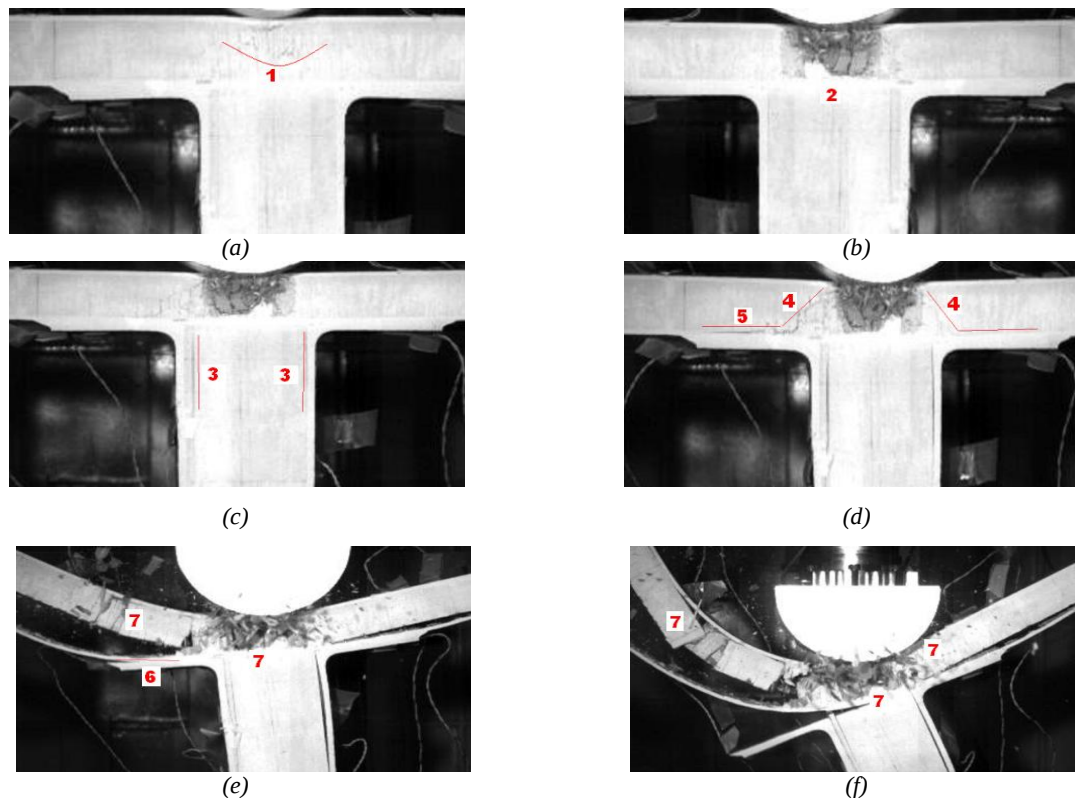


Fig. 12. Cinétique de l'endommagement pour une vitesse d'impact de 15m/s.

5 Conclusions

Dans ce papier, le comportement dynamique et la cinétique de l'endommagement des plaques raidies collées testées sous les trois vitesses d'impacts : 5, 10 et 15 m/s ont été présentés. Il faut dire que nous avons eu une certaine variété des résultats pour chaque vitesse d'impact qui exige, à notre avis, plus d'essais pour confirmer nos résultats. Les structures en question ont été sollicitées par un chargement dynamique de type impact. L'analyse des résultats des essais dynamiques, et en considérant la moyenne de la raideur et de l'effort maximal sous les trois vitesses d'impact (5, 10 et 15 m/s), nous pouvons dire que la raideur a une tendance générale à légèrement diminuer en augmentant la vitesse d'impact alors que l'effort maximal enregistré augmente. Concernant l'endommagement, nous pouvons dire que la rupture dans la plupart des pièces n'était pas symétrique à cause des défauts présents et que la résistance à l'endommagement est conditionnée par le comportement du balsa dans la plaque de base et la raidisseur.

Références

- [1] J.Y.LE LAN , P.PARNEIX et P.L.GUEGUEN , La Construction Navale en Composites. IFREMER Paris, 7-9 Décembre 1992.
- [2] PASCAL, C.C .CHAMIS, progressive fracture of fibre composite build- up structures, journal of reinforced and composite, vol 16 No2, 1997.
- [3] P. COGNARD, Collage des composite, Secteur de la construction navale, paris, BM 7 630.
- [4] J.I.BLACK, R. A.SHENOI et AL, Strength modelling in stiffened FRP structures with viscoelastic inserts for ocean structures, university of Southampton, 2001, SO17 IBJ, UK.
- [5] Chaitali .R , S. K. SATSANGI, Department of Ocean Engineering , Indian Institute of Technology, Kharagpur, 721302, India.
- [6] O.Eksik, R.A. Sheno, J.I.R. Blake and H.K. Jeong, School of Engineering Sciences, University of Southampton, Highfield, Southampton SO17 1BJ,UK.
- [7] H.J. Phillips, R.A. Sheno, C.E. Moss , Damage mechanics of top-hat stiffeners used in FRP ship construction Marine Structures 12 (1999) 1-19.