



République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
Scientifique
Université de KHEMIS MILIANA
Faculté des sciences et de la technologie
Département de : GENIE MECANIQUE

Projet de fin d'étude pour l'obtention de diplôme master
Option : CONSTRUCTION MECANIQUE

Thème : Etude dynamique d'une plaque en composite sous l'effort de choc

Réalisé par :



Boukratem Mohamed
Kerdjidj Youcef

*Encadre
par :*

✓ **Mr. Bekkar**

Promotion

2019/2020

Remerciements :

De prime abord nous rendons grâce à ALLAH le tout puissant qui nous a aidés à accomplir ce modeste de travail en paix.

Au terme de ce travail, il nous est agréable de nous adresser à toute personne qui a participé de près et de loin à son élaboration.

Nous tenons à remercier lieu, tous les enseignant les cadres du l'université de khemis Miliana Djilali bonamia qui ont eu à intervenir de près ou loin dans notre de près ou de loin dans notre formation et pour la quantité de l'enseignement dispensé.

Nos vifs remerciements sont adressés à notre encadreur Mr. A.BEKKAR, qui a fait preuve d'une grande patience et disponibilité à notre égard et qui nous a permis, grâce à ses conseils constructifs, de mener à bien notre projet.

On tient à remercier aussi le membre de juré, qui accepter de bien vouloir gérer ce travail.

Par ailleurs, la réalisation de travail n'aurait pas été possible sous le soutien moral et effectif de nos familles. On remercie donc nos parents pour leur appui et leur appui et leur soutien durant toutes nos années d'études. Toutes ces personnes et d'autre encore ont contribué au bon déroulement de la rédaction de ce mémoire.

Dédicace :

A ceux qui nous toujours encouragé pour que nous réussissions dans nos études

A ceux qui ont veillé pour nous bien être

A ceux que nous aime et nous et nous respectées infiniment

Le jour est venu pour leur dire Merci.....

A nous amis chacun avec son nom, et tous nos collègues de promotion (2019/2020)

Génie Mécanique, option Construction Mécanique

À nos très chères mères pour tous vos conseils qu'elle nous a prodigués, et très chers pères pour tout l'aide et les encouragements qu'il nous apporté durant tous nos études.

Nous dédions également à tous ceux qui nous aiment et spécialement à nos adorables Frères
ET Sœurs.

Signatures:

Boukratem Mohamed, Kardjidi Yousef

Résumé:

L'objectif principal de ce travail est d'étudier le comportement au choc des matériaux composites et plus précisément leurs comportements à l'impact. Les matériaux étudiés sont des stratifiés construits d'une matrice, renforcée par des fibres. Afin de connaître l'effet d'orientation des fibres. Une comparaison faite entre deux plaques sollicitées par la même force.

Mot clé : matériaux composite, choc, impact, stratifié, contrainte

Summary:

The main objective of this work is to study the impact behavior of composite materials and more precisely their impact behavior by statistical methods of planning experiments. The materials studied are laminates constructed from a matrix, reinforced with fibers. In order to know the orientation effect of the fibers. A comparison made between two plates stressed by the same force.

Keyword: composite materials; shock, impact, stratify.Stress

Sommaire :

Chapitre I : Introduction générale

I.1.Introduction générale.....08

Chapitre II : étude bibliographique

II.1. Introduction11

II.2. Généralités11

II.2.1. Constituants des matériaux composites.....11

II.2.2. Matrice11

II.2.3.Renfort..... 11

II.3. Les stratifiés12

II.4. Les travaux de recherche sur l'effort de choc appliquée sur une
Plaque en composite13

Chapitre III : Etude dynamique

III.1 Introduction.....18

III.2 Présentation du modèle18

III.3 Présentation des Résultats.....19

Chapitre IV : Conclusion générale

IV.1. Introduction.....25

Liste des figures

Figure (II.1) : Constituants des matériaux composites	11
Figure (II.2) : Différents types de fibres de verre (documentation Ahlstrom)	12
Figure (II.3) : Constitution d'un stratifié	13
Figure (II.4) : Délaminage causé par impact	15
Figure (II.5) Evolution de la taille des dommages en fonction de la force d'impact pour des plaques d'épaisseurs différentes:	15
Figure (II.6) Utilisation du modèle par éléments finis (FE77) pour prédire les dommages dans les grandes plaques. (a) Prévu carte dégâts vs force à l'aide du calibre. (b) Carte des dommages prévus par rapport à l'énergie à l'aide du calibre.....	16
Figure (II.7): Modes de défaillance dans la plaque impactée	17
Figure (II.8) :Séquence vidéo ultra-rapide d'un impact 120 J d'une sphère en acier de 12,7 mm contre une épaisseur de 4 mm plaque CFRP monolithique.....	17
Figure (II.9) Séquence vidéo ultra-rapide d'un impact 120 J d'une sphère en acier de 12,7 mm contre une épaisseur de 4 mm plaque CFRP monolithique.	17
Figure (II.10) : Charge d'impact et variation de l'énergie d'impact avec le temps d'une éprouvette unidirectionnelle a + 20 ° C. - 20 ° C.....	18
Figure (II.11) : Le modèle de simulation par éléments finis : plaque Composite / impacter hémisphérique.	19
Figure (II.12) : Répartition de l'endommagement dans les plaques ;a)- plaque v/PP, b)- plaque a/PP	19
Figure (II.13) :a) Principe de création d'onde de choc à l'aide d'un laser. b) Diagramme de marche d'un choc simple.....	19
Figure (III.1) : condition aux limites pour la plaque.....	19
Figure (III.2) : mode de chargement.....	20
Figure (III.3) : représenter le maillage.....	21
Figure (III.4) : résultat des contraintes de la plaque-1.....	21
Figure (III.5) : résultat des déplacements de la plaque-1.....	22
Figure (III.6) : résultat des déplacements et contrainte de la plaque-1	23
Figure (III.7) : résultat des contraintes de la plaque avec des angles différents [0, 45,90],[45,0,90],[45,90,0].....	23
Figure(III.8) : résultat des déplacements et de la plaque avec des angles différents [0, 45,90], [45, 0,90], [45, 90,0].....	23

Liste des tableaux :

Tableau (III.1) : présentation de géométrie des plaques19

Tableau (III.1) : présentation de géométrie des plaques19

Chapitre I :
Introduction général

I.1. Introduction générale :

Les matériaux composites présentent un avantage économique très important bien que leur mise en œuvre est très maîtrisée. L'industrie (aérospatiale, aéronautique) utilise les matériaux composites ils ont donc pris une place importante dans certaines pièces de structure.

L'analyse numérique des problèmes des plaques et coques est un domaine qui a et connu une très forte concentration d'efforts de recherche et spécialement depuis l'avènement de l'outil informatique qui a donné un grand essor et a permis de nouveaux horizons. En effet de nombreux problèmes et difficultés apparaissent lors d'une étude expérimentale notamment l'utilisation de modèles réduits de la structure et en particulier les dimensions et le matériau. À cela s'ajoute aussi le problème de complexité de chargement et parfois même absence de dispositif complet et fidèle de banc d'essais. Dans ce contexte va se développer notre problématique d'étude dynamique de l'influence du sur un matériau composite.

Cette idée nous conduisait à appliquer l'étude numérique et de choisir par comparaison parmi les deux structures en composites

Chapitre II:
Etude bibliographique

II.1. Introduction :

Le matériau composite sujet de notre étude est un matériau qui connaît une large utilisation. De nombreux travaux réalisés dans la littérature touchent ce domaine et explicitent ces utilisations. A travers ce chapitre nous allons entamer notre étude par une brève étude bibliographique.

II.2. Généralités :

II.2.1. Constituants des matériaux composites :

Les matériaux composites sont un ensemble au moins de différents matériaux, on appelle maintenant de façon courante matériau composite tous arrangements des fibres continues ou non d'un matériau résistant (les renforts) qui sont noyées dans une matrice figure II.1 dont la résistance est plus faible les fibres transmettent les sollicitations et la matrice conserve la disposition géométrique des fibres.

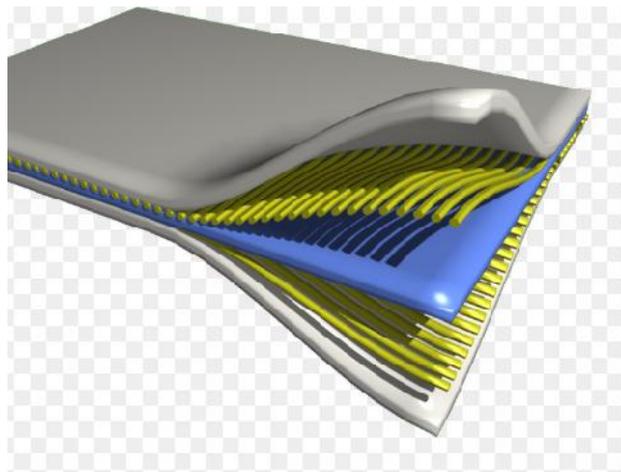


Figure II.1 : Constituants des matériaux composites [1]

II.2.2. Matrice :

Généralement elle est souple, peu résistante et lie les fibres de renforts, transmet les forces de certaines fibres à d'autres fibres, assure la protection chimique. ...

II.2.3. Renfort:

Les renforts assurent à améliorer la résistance mécanique à la traction et la rigidité des matériaux composites et sont souvent sous forme filamentaire (des fibres organiques ou inorganiques). [2]

II.3. Les stratifiés :

Les stratifiés sont composés de couches successives (parfois appelées plis) de renforcement. Et orientée de façon quelconque figure II.3 les unes par rapport aux autres. [2]

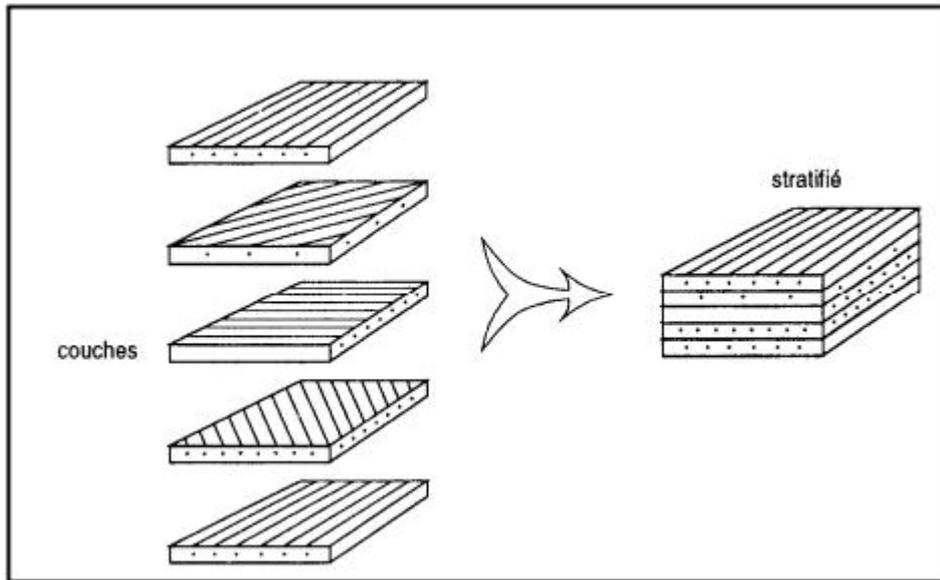


Figure (II.3) : Constitution d'un stratifié [2]

II.4. Les travaux de recherche sur l'effort de choc appliquée sur une plaque en composite :

Notre étude rentre dans un domaine d'actualité qui a fait couler beaucoup d'encre, dans ce qui suit on va citer quelques travaux en relation avec notre étude

Il s'agit d'une étude de l'effet des dommages dans les matériaux composites.

L'endommagement des structures composites dû à des événements d'impact est l'un des comportements les plus importants empêchant l'application plus répandue des composites. Il est important d'étudier et de comprendre le mécanisme des dommages pour produire des conceptions efficaces pour les structures composites. Une défaillance due à l'impact des dommages contribuera à des scénarios imprévus. Traitement des dommages composites, impact composite, classification d'impact, réponse aux chocs et aux chocs, haute vitesse, absorption d'énergie, résistance aux chocs des véhicules et modes de défaillance. Il couvre les dommages dans les matériaux composites, les chocs dans les composites, la classification des chocs, la réponse aux chocs et aux chocs, la vitesse élevée, l'absorption d'énergie, la résistance aux chocs des composites et les modes de défaillance. [3]

On voit sa dans la figure ci-dessus :

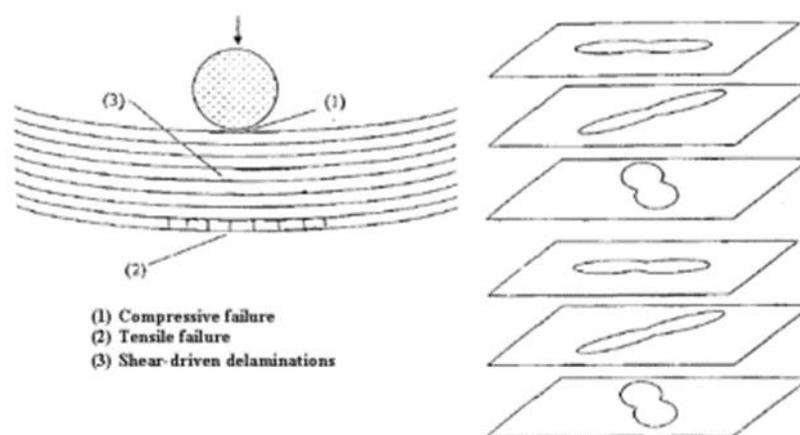
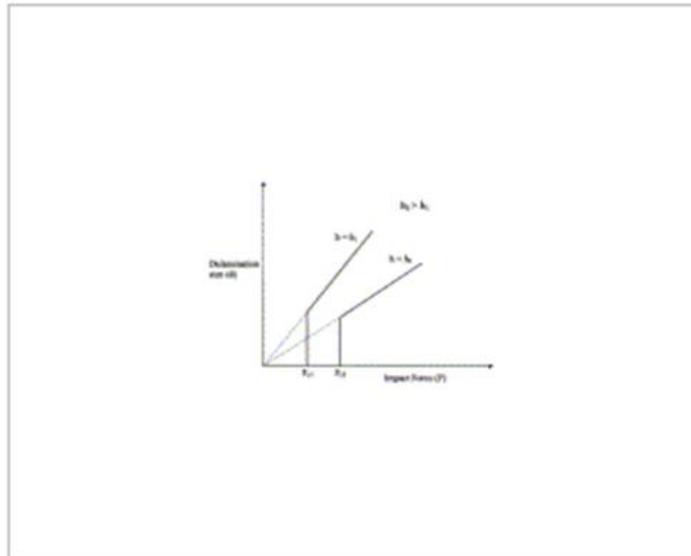


Figure (II.4) : Délaminage causé par impact [3]

- Une méthodologie pour évaluer la résistance à l'usure et l'endurance des structures installées sous l'influence de la faible vitesse a été présentée. Il repose sur une connaissance préalable de la réponse aux chocs, qui varie en fonction de ses propriétés, de la structure affectant le type de dommage et de l'ampleur de la dégradation des dommages. Cela indique que la résistance

est également un paramètre clé dans l'évaluation des dommages causés par les chocs. Ces résultats ont conduit à la conception de modèles de test qui conduisent à des structures composites résistantes à l'usure. [4]

Figure (II.5) : Evolution de la taille des dommages en fonction de la force d'impact pour des plaques d'épaisseurs différentes [4]



Ceci décrit une stratégie pour prédire les dommages internes d'une vulnérabilité, Corps

composite laminé en fibre de carbone, lorsqu'il est exposé à un impact à faible vitesse par un seul bloc. Les prévisions sont validées, les analyses 3D coûteuses sont évitées Testé pour une large gamme de structures, du petit rigide au grand flexible sous pression. Cette force résiduelle est davantage affectée par la distorsion interne que par la tension.

Les structures montrent que le modèle numérique doit intégrer le comportement non linéaire dû à Déformations grossières et dégradation du matériau plan. [5]

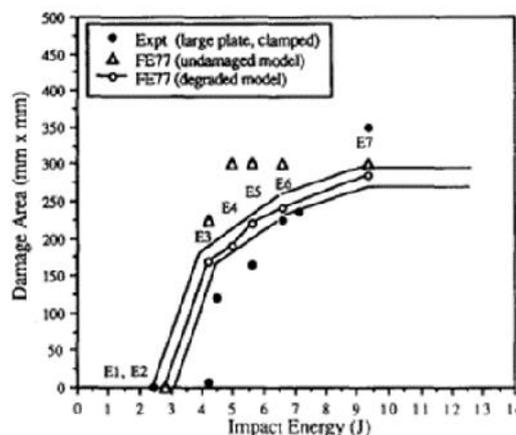


Figure (II.6) : Utilisation du modèle par éléments finis (FE77) pour prédire les dommages dans les grandes plaques [5]

(a) Prévu carte dégâts vs force à l'aide du calibreur.

(b) Carte des dommages prévus par rapport à l'énergie à l'aide du calibre [5]

La question qui se pose naturellement est de savoir comment améliorer la viabilité cellulaire en termes d'effets à faible impact et à haute vitesse. Comme c'est la défaillance structurelle qui est responsable de la défaillance, une compréhension de base des mécanismes est l'une des étapes les plus importantes nécessaires pour résoudre le problème.

En cas de collision à grande vitesse, la fracture se produit souvent dans une zone touchée où la pression est prédominante. Les fissures sont souvent invisibles mais les mécanismes de dégradation doivent être connus pour concevoir une structure efficace et résiliente. [6]

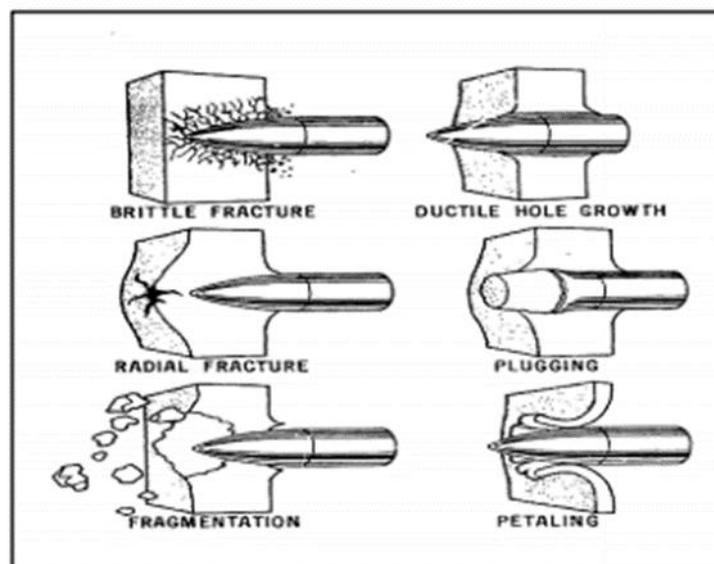


Figure (II.7) : Modes de défaillance dans la plaque impactée [6]

Il existe des études expérimentales pour étudier les niveaux faibles, moyens et élevés Réponse à la vitesse d'impact de 4 mm d'épaisseur, coupons CFRP. Des tests ont été effectués Utilisation d'une tour de ballast et d'un canon à gaz d'un poids de 4,75 kg, 16,41 g et 8,44 g de masse de pare-chocs pour obtenir trois niveaux de puissance pour chaque système de vitesse. Les effets sont à 10 J, 40 J ET 120 J Il en résulte une légère fissuration et une plus grande fragmentation avec fracture et perforation des fibres. [7]

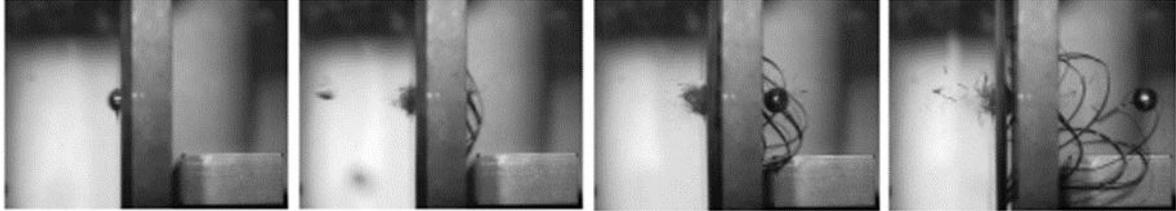


Figure (II.8): Séquence vidéo ultra-rapide d'un impact 120 J d'une sphère en acier de 12,7 mm contre une épaisseur de 4 mm plaque CFRP monolithique.[7]

L'exposition de poutres composites renforcées de fibre de verre unidirectionnelle et réticulée à un essai de choc de pression, un essai à basse température à basse vitesse et un essai de contrainte post-impact (CAI) a été étudiée. Un total de cinquante échantillons de poutres stratifiées efficaces de 152,4 mm x 50,8 mm x 3,2 mm ont été préparés.

Des tests d'effet à faible vitesse ont été effectués sur des échantillons préparés avec un instrument de percussion à tour de chute à des températures congelées de 0 ° C, -10 ° C et -20 ° C, et des températures à 20 ° C et 10 ° C ont été utilisées pour les comparaisons. Des tests CAI ont été réalisés avec une machine servi-hydraulique MTS pour déterminer la capacité de charge résiduelle des échantillons affectés par le choc. Le contrôle des dommages a été mis en œuvre pour aider à comprendre le mécanisme des dommages. L'effet des températures environnementales sur les dommages causés par l'impact, la résistance à la compression résiduelle et le module d'élasticité a été évalué sur la base des résultats. [8]

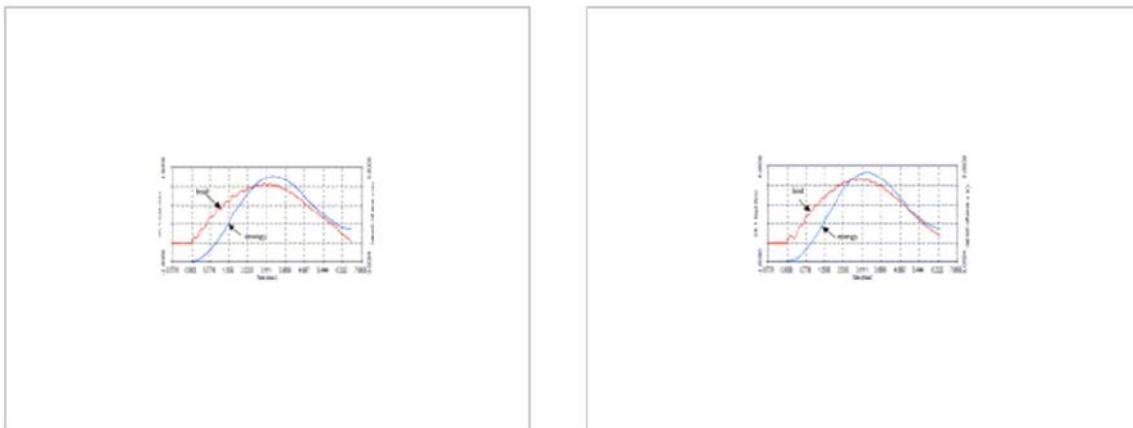


Figure (II.9) : Charge d'impact et variation de l'énergie d'impact avec le temps d'une éprouvette unidirectionnelle a + 20 ° C. - 20 ° C [8]

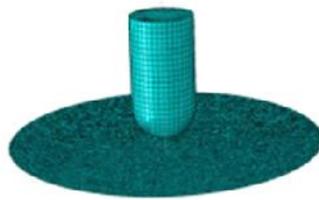
Une étude empirique a été découverte pour évaluer la réponse des chocs indentés quasi-statiques. La faible vitesse est mise en œuvre dans les voitures en bois. Une étude pilote de la machine a été menée pour tester et réaliser deux types de transigés

Tranches Les feuilles réalisées à partir de fibres de matrice, de polypropylène, d'acier et de verre électronique sont réalisées sous des essais d'espacement statique.

Réalisé avec des puces à faible vitesse. De faveur, l'appareil de rupture par déformation de la plaque plastique prévaut, méthode de pénétration

La sortie est très démarquée, ce qui séduit alors dans les fibres et provoque des lacérations / décollements, notamment dans les zones plaque de rupture / plaque de liaison. L'initiation de fissure était plus formulée dans les sections de configuration V / PP par rapport aux courroies A / PP. Un modèle de plasticité MLT a été proposé,

Implémenté dans Abaqus / ID de compte explicite [9]



Figure(II.10): Le modèle de simulation par éléments finis : plaque Composite / impacter hémisphérique. [9]

Les résultats de la simulation avec le modèle MLT :

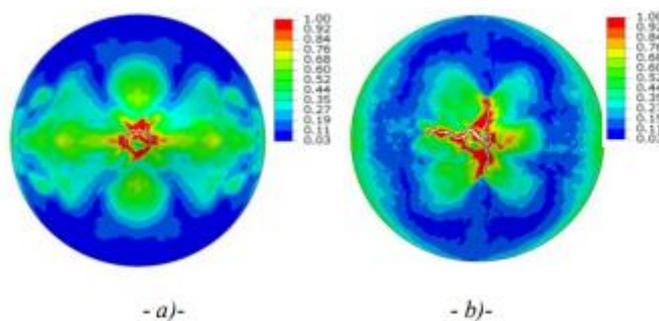


Figure (II.11) : Répartition de l'endommagement dans les plaques :

a)- plaque v/PP,

b)- plaque a/PP [9]

Cette étude expose l'évolution d'un modèle analytique de la réponse dynamique d'une structure soumise à un effet de faible vitesse pour égaliser les dommages. Le modèle est basé sur la théorie des plaques d'épaissement anisotropes qui prend en compte l'épaisseur de cisaillement. La loi d'Hertz est utilisée pour modéliser la réponse locale sous influence. L'intégration temporelle numérique permet de calculer à tout moment la résistance de contact, le déplacement et les déformations en combinant l'indentation locale avec la réponse dynamique globale de la structure... [10]

Cette étude fait partie du projet européen Combinat est Kit (ENDT) pour évaluer la qualité des liaisons CFRP. Il vise à développer une extension non destructive dont le point de vol le plus sensible est de réduire la consommation de carburant. En réduisant le poids de l'avion en utilisant de la colle au lieu de clous, cet article présente les résultats du collage laser. Cette étude est basée sur les ondes de choc générées par le laser des deux côtés de l'échantillon. Les propriétés d'adhérence des liaisons saines et faibles ont été comparées. La comparaison dépend de deux techniques après la mort : l'échographie et la microscopie. Les deux activent la validation sans endommager la structure composite. [11]

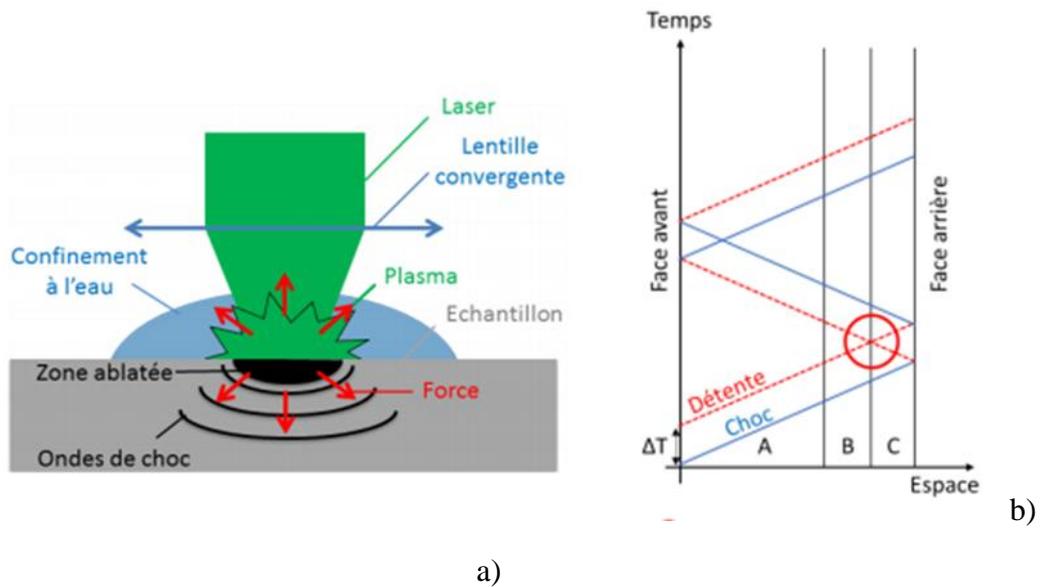


Figure (II.12) : a) Principe de création d'onde de choc à l'aide d'un laser. b) Diagramme de marche d'un choc simple. [11]

Chapitre III :
Etude dynamique

III.1 Introduction

L'analyse par simulation numérique représente un calcul basé sur l'analyse par éléments finis, qui tient compte des hypothèses mécaniques de l'endommagement et de la rupture en élasticité, plasticité et dynamique. C'est une solution moins coûteuse possible et plus proche des expérimentales.

III.2 Présentation du modèle :

a- Caractéristique géométrique et mécanique

Dans le cadre de la modélisation numérique de plaque stratifiée, sont choisies et présentées dans le tableau (III.1) et les caractéristiques mécaniques des matériaux sont données dans le tableau (III.2)

Tableau (III.1) : présentation de géométrie des plaques :

Plaque	a	B	H	angles
Plaque -1	0,1	0,1	0,3	[0, 45,90]
Plaque-2	0,1	0,1	0,3	[45, 0,90]
Plaque-3	0,1	0,1	0,3	[45, 90,0]

Tableau (III.2) : Caractéristique mécanique du stratifié []

E1	E2	E3	GN1	GN2	GN3	μ_1	μ_2	μ_3
15E10Gpa	9E9Gpa	9E9Gpa	5E9Gpa	5E9Gpa	5E9Gpa	0.34	0.34	0.4

b- condition aux limites

Les conditions limites bloquent toutes les extrémités de la plaque et afin de simuler de l'impact et par analogie de l'expérimentale, l'impacteur coïncide avec la plaque. Figure 3.1 et figure 3.2 illustrent clairement le mode de chargement.

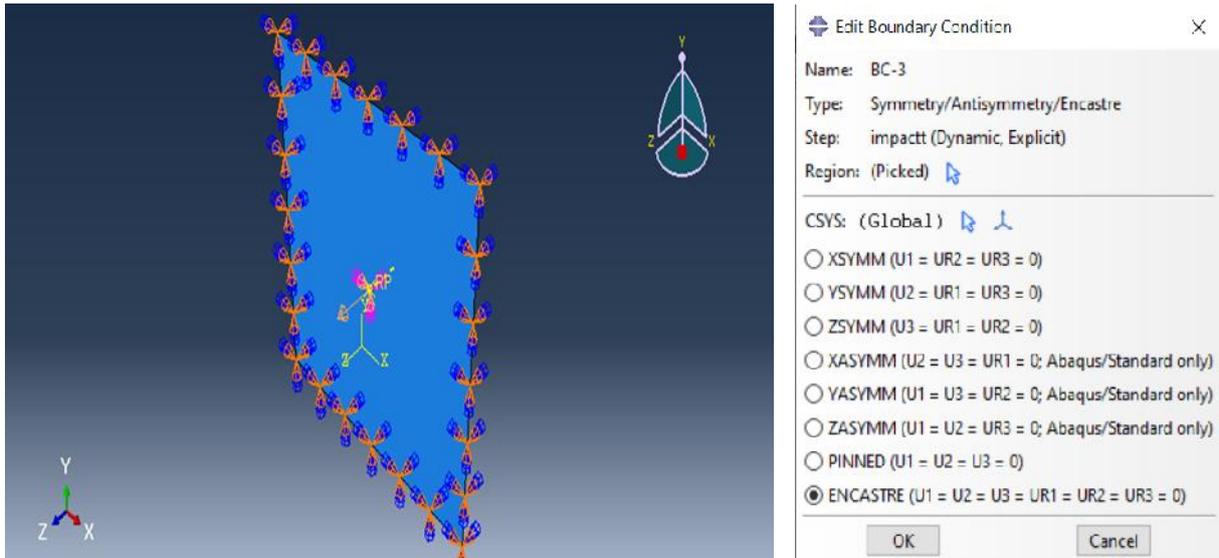
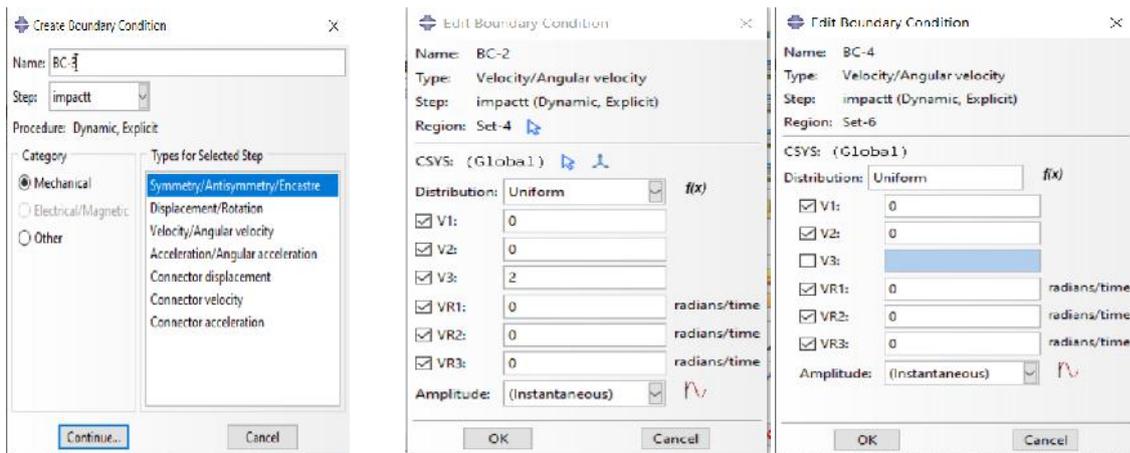
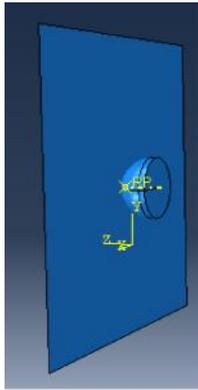


Figure (III.1) : condition aux limites pour la plaque

On clique sur « createboundary » condition, on choisit déplacement / rotation, continue voir dessin en bas et on clique sur ok

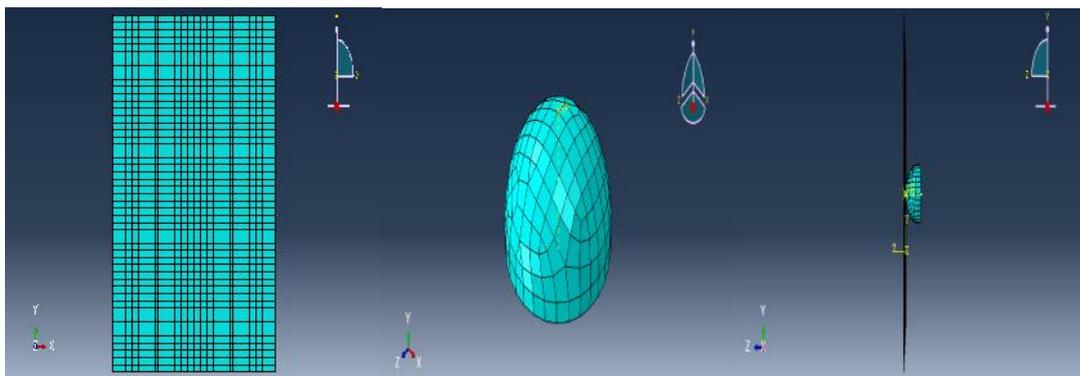




Figure(III.2) : mode de chargement

c- le maillage

Maintenant on doit passer par un maillage, pour la plaque peuvent être utilisés plusieurs types éléments dans cette études l'élément () et pour l'impacteur l'élément choisi est ()



Figure(III.3) : représenter le maillage

III.3 Présentation des Résultats

Les données ont été introduites dans le calcul, l'application nous a donné les résultats présentés dans ce qui suit :

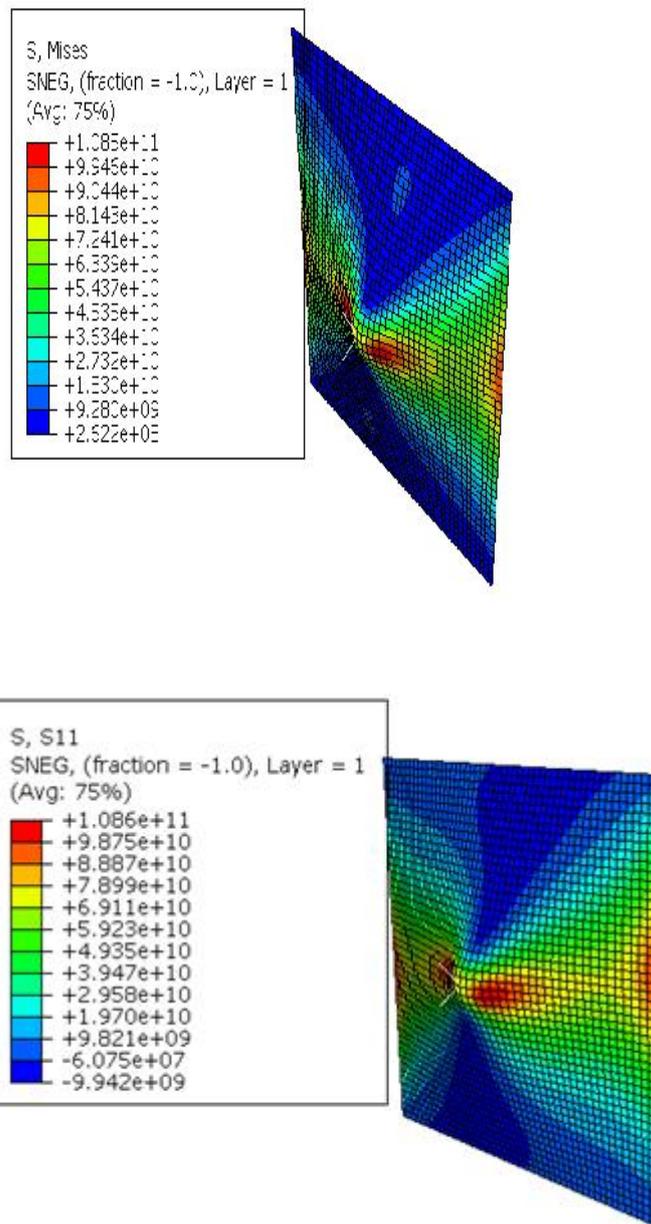
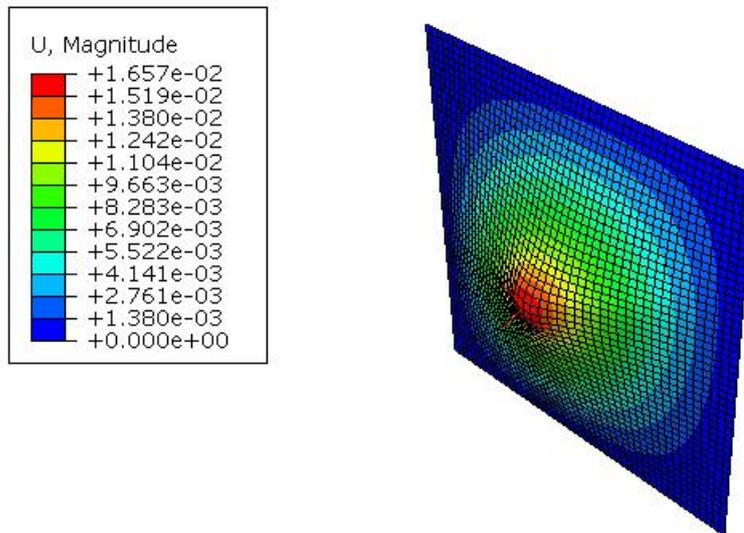


Figure (III.4) : résultats des contraintes de la plaque-1

La première modélisation sur la plaque permet la vérification des zones les plus défavorables, la figure 3.4 montre la zone la plus sollicitée qui est située au milieu de la plaque

- Résultat sur forme u, magnitude :



Figure(III.5) : résultat des déplacements de la plaque-1

Représenté par des couleurs l'évolution de déplacement ponctuelle explicite clairement par la figure 3.5 ou la zone critique est en couleur rouge

Maintenant on va présenter les résultats après l'augmentation de la vitesse de l'impacteur

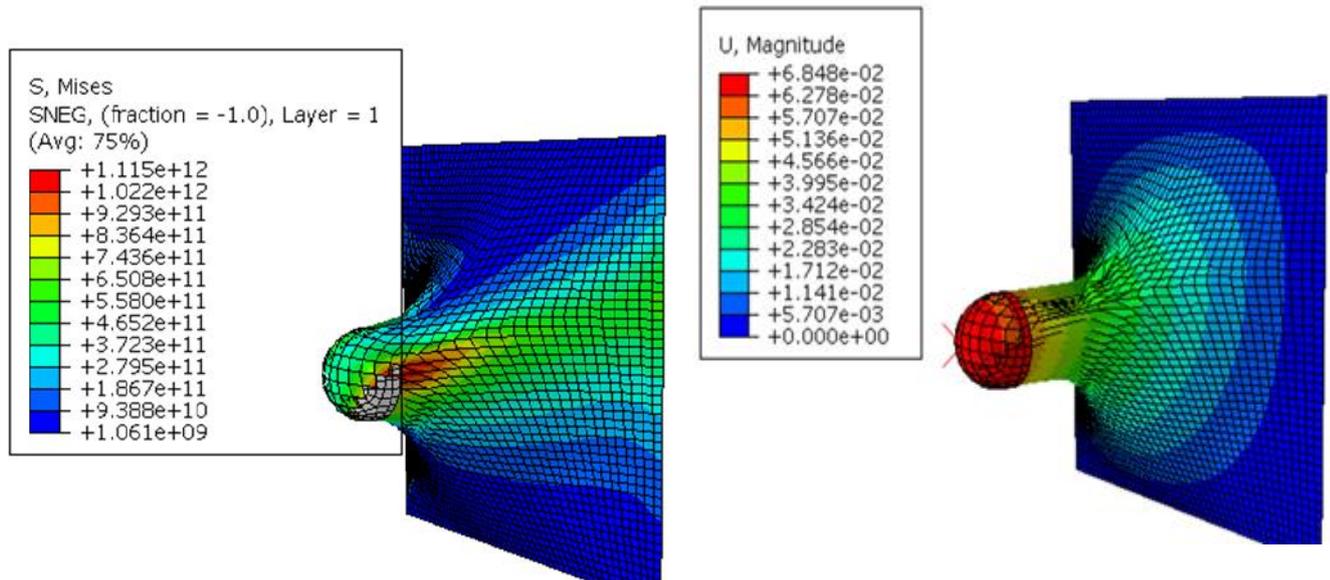


Figure (III.6) : résultats des déplacements et contrainte de la plaque-1 avec une vitesse d'impact 8. Nous pouvons constater sur les figures 3.6 l'apparition des fissures dans la zone critique.

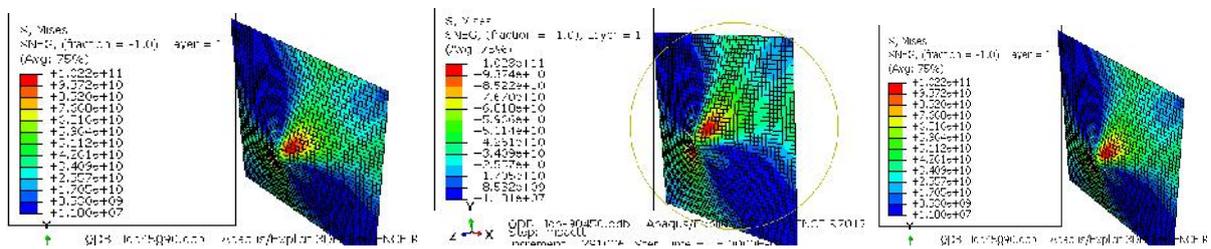
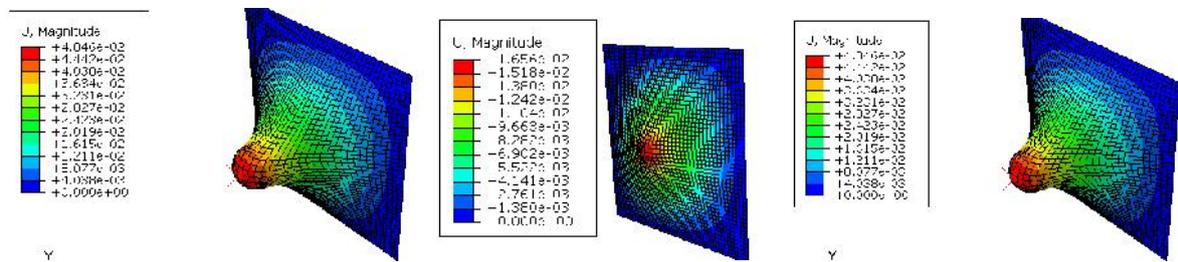


Figure (III.7) : résultat des contraintes de la plaque avec des angles différents [0, 45,90],[45,0,90],[45,90,0]



Figure(III.8) : résultat des déplacements et de la plaque avec des angles différents [0, 45,90], [45, 0,90], [45, 90,0]

-d'après d'avoir vu les figures **III.7 et III.8** nous concluons que la résistance de la plaque était meilleure dans le second cas [45, 0,90] et pour les deux plaques à travers histogramme]0, 45,90], [45, 90,0] toujours inférieure ou autre dans la résistance.

Chapitre IV :
Conclusion générale

IV.1. conclusion :

Il existe aujourd'hui de nombreuses applications pour les matériaux composites répondant aux exigences économiques de l'industrie (choc).

Ce travail a pour objectif d'apporter une contribution aux travaux de recherche actuels afin de mieux comprendre et modéliser le comportement de matériaux composites soumis à une importante gamme de vitesses de déformation et notamment à des sollicitations dynamiques. En effet, il propose, au travers de l'étude de deux matériaux différents, une méthodologie de modélisation très générale en quatre étapes.

La mauvaise connaissance du comportement dynamique des matériaux composites et le peu de modèles disponibles pour le simuler constituent, à l'heure actuelle, un frein au développement de ces applications. En effet, dans la plupart des cas, la loi de comportement choisie est élastique linéaire, ce qui, implicitement, correspond à la prise en compte d'un coefficient de sécurité pénalisant, et donc à la perte du gain attendu grâce à l'utilisation de ces matériaux.

Référence :

- [1] :Miravete, A. (2003). Matérielles compuestos 03 (Vol. 1). Reverté
- [2] : DJEBLOUN, Y. (2004). Etude de la rupture en mode I d'ouverture des matériaux composites (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider Biskra).
- [3] :Razali, N., Sultan, M. T. H., Mustapha, F., Yidris, N., &Ishak, M. R. (2014). Impact damage on composite structures—a review. *The International Journal of Engineering and Science*, 3(7), 08-20.
- [4]:Christoforou, A. P. (2001). Impact dynamics and damage in composite structures. *Composite structures*, 52(2), 181-188.
- [5]:Davies, G. A. O., & Zhang, X. (1995). Impact damage prediction in carbon composite structures. *International Journal of Impact Engineering*, 16(1), 149-170.
- [6]:Safri, S. N. A., Sultan, M. T. H., Yidris, N., & Mustapha, F. (2014). Low velocity and high velocity impact test on composite materials—a review. *Int. J. Eng. Sci*, 3(9), 50-60.
- [7] :Nguyen, S., James, T., Iannucci, L., & Campus, S. K. (2013). Low, medium and high velocity impact on composites. In *16th International Conference on Composite Structures*.
- [8]:Ibekwe, S. I., Mensah, P. F., Li, G., Pang, S. S., & Stubblefield, M. A. (2007). Impact and post impact response of laminated beams at low temperatures. *Composite structures*, 79(1), 12-17.
- [9] :Mahdad, M., Saada, A. A., &Belaidi, I. Comportement à l'impact à faible vitesse par indentation quasi-statique des stratifiés à matrice polypropylène.
- [10] :Wahab, A., Moubayed, N., Davies, P., Prevosto, M., & De Roeck, Y. H. (2011). Simulation de la réponse dynamique d'une poutre sandwich en matériaux composites à l'impact d'une sphère rigide. *Matériaux & Techniques*, 98(5), 339-346.
- [11] :Sagnard, M., Berthe, L., Ecault, R., Touchard, F., &Boustie, M. (2017, June). Etude des effets d'un choc laser symétrique sur des assemblages collés de composites dans le cas d'un joint faible.