

## Comportement des plaques en composites sous l'effet de l'orientation et de la position d'un impacteur

Mohamed. Saad\*<sup>1</sup> et Djamel. Ouinas<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de Technologie Industrielle, Département de génie mécanique, Université de Tiaret, BP N°78, Route de Zaaroura ,

[bm\\_saad@yahoo.fr](mailto:bm_saad@yahoo.fr)

<sup>2</sup>LMNEPM, Département de Mécanique, Université de Mostaganem, [douinas@netcourrier.com](mailto:douinas@netcourrier.com)

Reçu le : 21/12/2015

Accepté le : 13/06/2016

### RESUME.

*Les matériaux composites présentent un intérêt très important dans le domaine des applications industriels modernes tels que: la mécanique, l'aéronautique, le génie civil et la biomécanique vu leur dureté leur légèreté et leur super élasticité. Durant leur fonctionnement et sous l'effet des efforts extérieurs, ces matériaux peuvent subir des fissurations ou des ruptures qui peuvent provoquer le désastre de la structure. Afin d'éviter ces types de problèmes, l'analyse de ces matériaux est nécessaire afin de prédire leur caractéristiques mécaniques et ainsi d'augmenter leur durée de vie. Cette analyse repose essentiellement sur la structure interne du matériau, sa géométrie, ses conditions aux limites et les conditions extérieures appliquées. Sur la base d'une modélisation numérique, Le code de calcul Abaqus, a été utilisé pour simuler le comportement à l'impact pour prévoir le comportement des structures en composite sollicitées à l'impact.*

*Ce travail traite l'influence de l'inclinaison et la position d'un impacteur sur une plaque en matériaux composites graphite / époxy de stratifiées [0<sub>3</sub>/90<sub>4</sub>/0<sub>3</sub>] sous chargement par impacts dynamiques pour étudier*

*l'évolution de la force d'impact, le déplacement et l'énergie interne de déformation.*

**Mos clés :** Vitesse d'impact, Force d'impact, Matériaux composites, Analyse par éléments finis.

**Abstract :** *The composite materials are of very important interest in the field of the modern industrialists applications such as: mechanics, aeronautics, civil engineering and biomechanics considering their hardness their lightness and their super elasticity. During their operation and under the effect of the external efforts, these materials can undergo crackings or ruptures which can cause the disaster of the structure. During their operation and under the effect of the external efforts, these materials can undergo crackings or ruptures which can cause the disaster of the structure. In order to avoid these types of problems, the analysis of these materials is necessary in order to predict their mechanical characteristics and thus to prolonging the life of structure. This analysis is contingent primarily on the internal structure of material, its geometry, its boundary conditions and the external conditions applied. On the basis of numerical modeling, the code Abaqus was used to simulate the behavior with the impact to envisage the behavior of the structures in composite requested with the impact.*

*This work consider the influence of the inclination and the position of the impactor on a plate in material composite graphite/epoxy of laminated  $[0_3/90_4/0_3]$  under loading by dynamic impacts to study the evolution of the force impact, the displacement and the internal energy of deformation.*

**Keywords :** Impact velocity, Impact Force, Composite materials, finite element analysis

## 1. INTRODUCTION

Le développement des technologies modernes exige que l'on utilise des matériaux dont les propriétés mécaniques soient élevées, mais

dont les masses volumiques soient faibles, et ce dans le but de réduire le poids des structures [1]. On a par conséquent de plus en plus recours à des matériaux dont les propriétés spécifiques sont élevées comme, par exemple, les matériaux composites. En raison de leur faible densité, de leur haute résistance, de leur haute rigidité et de leur excellente durabilité, les matériaux composites à fibres continues ont d'abord été utilisés dans de nombreuses composantes structurales, notamment dans le domaine de l'aéronautique [2]-[3]. De nos jours, la diminution de leurs coûts de production permet l'utilisation de ces matériaux dans des applications de plus en plus variées. Les matériaux composites les plus couramment utilisés souffrent cependant de certaines limitations importantes. Parmi celles-ci, la plus importante est possiblement leur réponse à un impact localisé [4]. Sachant que les pièces en matériaux composites sont généralement très susceptibles aux impacts transversaux, il est essentiel de caractériser la réponse de ces matériaux à un tel type de chargement afin de pouvoir prévoir le comportement des composantes en service [5]– [8]. Cependant, l'usage de ces matériaux a introduit une problématique nouvelle par rapport aux matériaux métalliques, leur sensibilité aux impacts, peut engendrer des défauts internes, non détectables visuellement qui peuvent conduire à des pertes significatives des propriétés du matériau [9]– [12]. La présence éventuelle de ces défauts est donc prise en compte dans le dimensionnement des structures.

Lors d'un impact, une partie plus ou moins importante de l'énergie incidente est absorbée sous forme de fragmentation du matériau. Cette énergie est donc un paramètre essentiel dans la compréhension des phénomènes engendrés lors d'un impact sur

une pièce composite. Elle détermine, en effet, la quantité d'énergie disponible qui pourra être absorbée par la cible sous forme de déformation élastique et d'endommagement [13]-[15]. L'endommagement du stratifié ne survient qu'à partir d'un certain seuil énergétique, dépendant des propriétés du matériau, de son module de flexion et des conditions aux limites qui lui sont imposées [16]-[18]. Pour les impacts de plus faibles énergies, l'énergie incidente est absorbée sous forme de déformation élastique, puis restituée à l'impacteur pour le rebond [19], [20].

Ce travail traite l'influence de l'inclinaison et la position d'un impacteur ainsi les conditions aux limites sur une plaque en matériaux composites graphite / époxy de stratifiées [03/904/03] sous chargement par impacts dynamiques pour étudier l'évolution de la force d'impact, le déplacement et l'énergie interne de deformation.

## 2. EXEMPLE DE L'ETUDE

L'analyse par la méthode numérique à l'aide du code commercial des éléments finis ABAQUS V.6.11 a été utilisée pour évaluer les effets de l'inclinaison et la position d'un impacteur de forme Prisme à base carré de côté  $a=6\text{mm}$  et de hauteur  $h=18.1\text{mm}$  ainsi les conditions aux limites de la plaque sur le comportement dynamique des plaques en composites de dimensions  $120 \times 60 \times 2.5\text{mm}^3$ , l'épaisseur du pli est de  $0.25\text{mm}$ . La séquence d'empilement utilisée dans notre cas est [03/904/03]. Les caractéristiques mécaniques de la plaque et du projecteur sont indiquées dans le tableau 1.

Table 1. Caractéristiques des matériaux

|                | plaque         | impacteur |
|----------------|----------------|-----------|
| Nature         | Graphite/epoxy | Acier     |
| E1(GPa)        | 120            |           |
| E2(Gpa)        | 7.9            |           |
| E(GPa)         |                | 210       |
| G12(GPa)       | 5.5            |           |
| G23(GPa)       | 3.03           |           |
| $\rho$ (kg/m3) | 1580           | 7850      |
| $\nu$          | 0.33           | 0.3       |

### 3. DISCUTION DES RESULTATS OBTENUS

Les calculs numériques à l'aide du code commercial des éléments finis ABAQUS V.6.11 ont été effectués en modélisant la plaque en composite avec 10 couches afin d'évaluer l'effet de l'inclinaison, la position de l'impacteur et les conditions aux limites de la plaque sur l'évolution de la force d'impact, le déplacement et l'énergie interne de déformation. La figure 1 illustre un exemple de modèle géométrique utilisé dans cette étude.

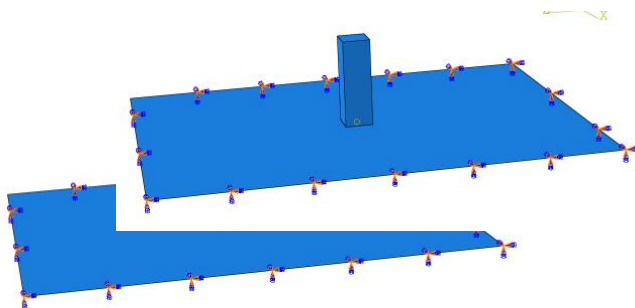
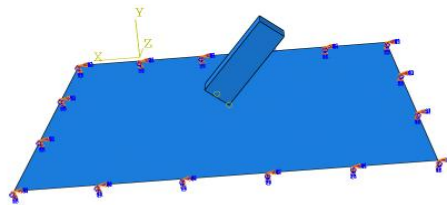


Figure 1. Modélisation des éléments d'études

### 3.1 Influence de l'orientation de l'impacteur

Cette partie traite l'étude de la résistance à l'impact de la plaque en composite sous l'effet de l'orientation de l'impacteur. Trois angles ont été choisis:  $40^\circ$ ,  $50^\circ$  et  $60^\circ$ . La figure 2, montre un exemple de modélisation d'un impacteur de forme prisme orienté d'un angle  $\alpha$  par rapport à l'axe vertical et d'une plaque en composite soumise à un impact à son centre à une vitesse de 9m/s.

Figure 2. Modélisation d'un impacteur de forme prisme orienté d'un angle  $\alpha$ 

#### 3.1.1 Influence de l'orientation de l'impacteur sur le déplacement

La figure 3, montre les variations du déplacement en fonction du temps d'impact pour les trois angles choisis.

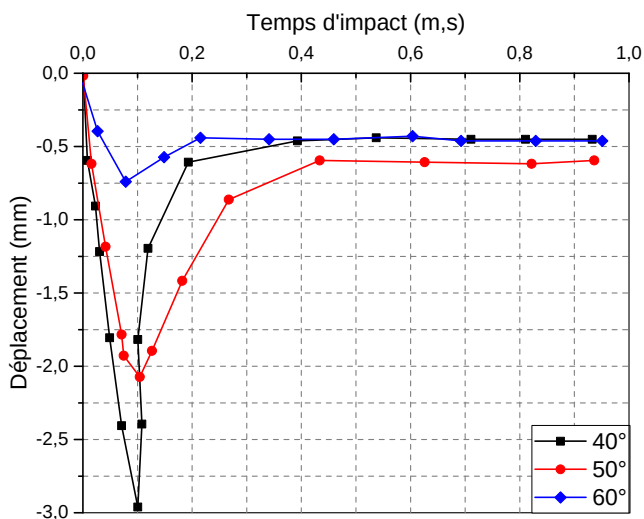


Figure 3. Variations du déplacement en fonction du temps

De cette figure, on remarque que l'évolution du déplacement diminue avec l'augmentation de l'angle d'orientation, on remarque aussi après un temps de 0.4ms les trois courbes sont rectilignes

### 3.1.2 Influence de l'orientation de l'impacteur sur la force de contact

Sur la figure 4, l'inclinaison de 40 degrés donne une force de contact maximale d'une valeur de 0.22KN sur un temps de 0.3ms. Un angle de 50 degrés provoque une force de 0.05KN, tandis que l'angle de 60 degrés la force est de 0.025KN. Les courbes présentent un pic, suivi d'une diminution rapide.

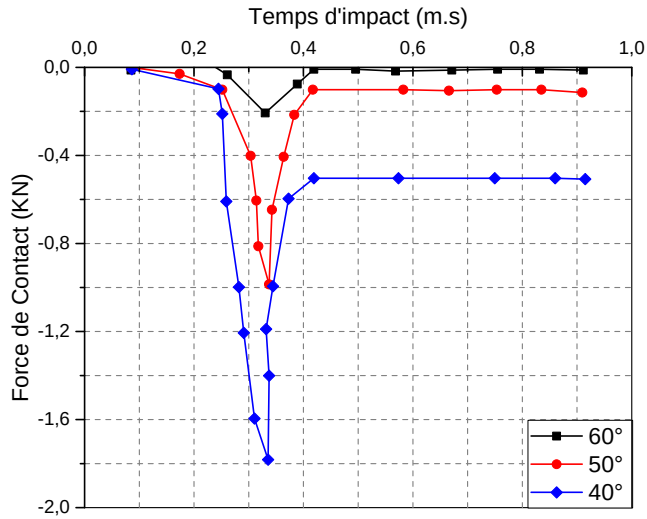


Figure 4. Evolution de la force de contact en fonction du temps

### 3.1.3 Influence de l'orientation de l'impacteur sur l'énergie interne de déformation

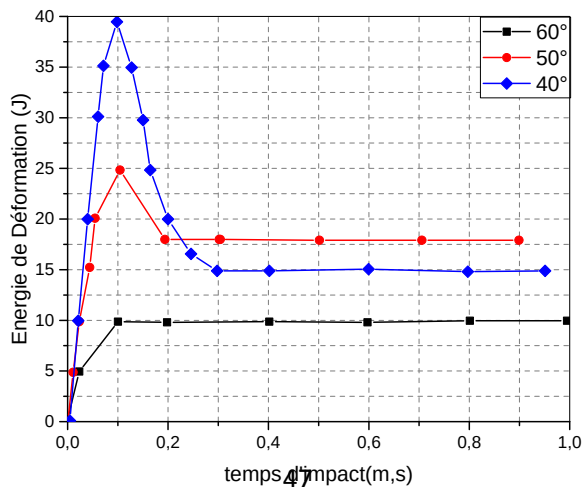


Figure 5. Evolution de l'énergie interne de déformation en fonction du temps

Sur la figure 5 on remarque la même tendance pour l'énergie interne de déformation, Un angle de 40 degré donne une énergie interne maximale de 0.04J pour un temps de 0.1ms. Dans le cas d'un angle de 50 degré, l'énergie est de 0.025J, pour une inclinaison de 60 degré, cette énergie diminue jusqu'à 0.02J. On augmentant l'angle d'inclinaison, l'énergie interne de déformation augmente

### 3.2 Influence de la position de l'impacteur

Pour étudier l'influence de la position d'impact les paramètres déplacements, force de contact, et énergie de déformation, nous avons choisi quatre positions d'impact de coordonnées:  $(-30,0)$ ,  $(0,15)$ ,  $(30,15)$  et  $(0,0)$ . La plaque est encastrée sur ces quatre coté (figure 6)

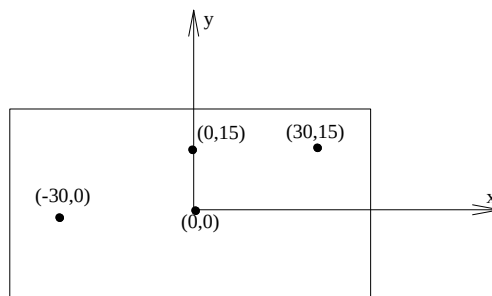


Figure 6. Position de l'impact

#### 3.2.1 Influence de la position de l'impacteur sur le déplacement

La figure 7, illustre les déplacements provoqués par l'impacteur pour les quatre positions d'impacteur. On remarque que les positions (-30,15) et (0,15) varient de la même façon pour un temps d'impact de 0.2ms pour atteindre une valeur de 0.55mm.

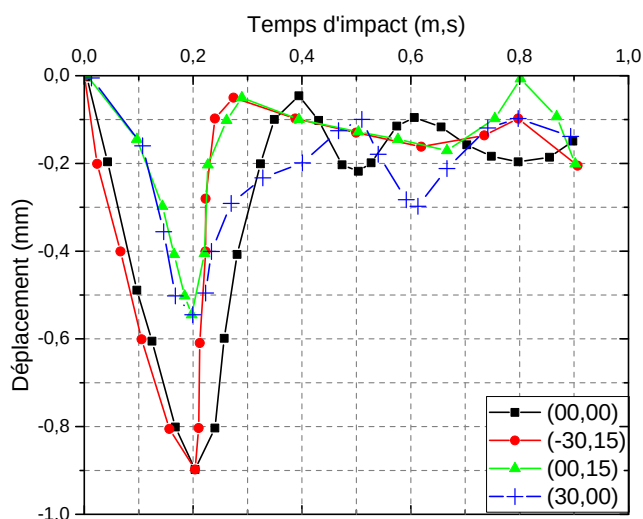


Figure 7. Evolution du déplacement en fonction du temps

De même, les positions d'impact de (30,0) et(0,0) provoquent des déplacements maximales de l'ordre de 0.9mm. On peut déduire que les déplacements des positions décalées par rapport à l'axe du centre (l'axe x) sont moins importantes de celles du centre.

### 3.2.2 Influence de la position de l'impacteur sur la force de contact

La figure 8, montre la variation de la force de contact pour les quatre positions choisies. On peut voir dans cette figure que les courbes de la force de contact sont similaire et varient d'une manière parabolique la force maximale est atteinte pour les positions (0,15) et (30,15) d'une valeur égale à 1.3KN sur un temps d'impact de 0.1ms, tandis que la position (-30,0) donne une force de l'ordre de 1.1KN pour un temps de 0.2ms. La position centrale (0,0), engendre une force d'impact de l'ordre de 1.2KN pour un temps de 0.3ms.

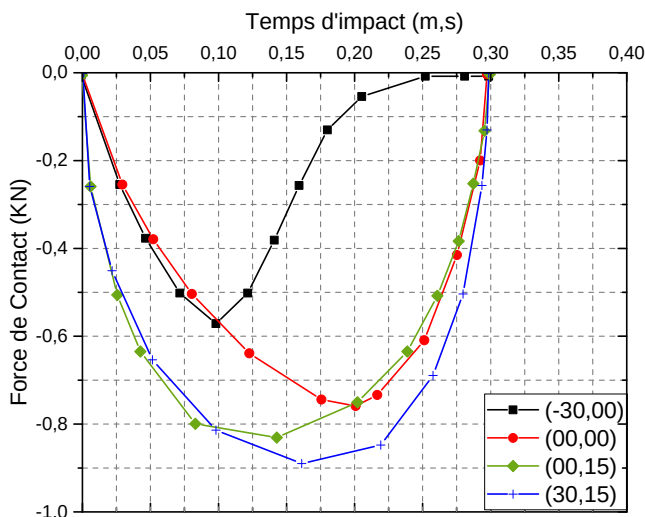


Figure 8. Evolution de la force de contact en fonction du temps

#### 4. CONCLUSIONS

Devant l'utilisation croissante des structures composites, le développement des moyens de caractérisations structure et mécanique fiables est devenu un enjeu important sur le plan scientifique et technologique. En effet, la connaissance précise des

propriétés mécaniques des constituants, de leur morphologie et de leur arrangement ainsi que la mesure précise des propriétés effectives des matériaux composites, sont des conditions nécessaires à la résolution d'un grand problème reliant le comportement global à la microstructure. Par ailleurs, l'évolution des propriétés effectives en fonction des conditions d'utilisation en service peut permettre la caractérisation de l'endommagement de ces matériaux, afin d'optimiser leur utilisation et d'évaluer leur durée de vie.

Dans ce travail nous avons étudié un exemple de problème d'impact sur plaques multicouches composites  $[0_3/90_4/0_3]$  utilisant un impacteur de forme sphérique. Nous avons illustré, en nous basant sur des résultats d'une synthèse bibliographique, la possibilité d'identifier à l'aide d'une méthode numérique les paramètres nécessaires à l'étude de l'endommagement des plaques multicouches lorsqu'elles sont soumises à l'impact.

A partir des résultats numériques trouvés, on peut tirer les conclusions suivantes :

i) la force de contact augmente avec l'augmentation de l'angle d'orientation de l'impacteur, (ii) le déplacement et l'énergie de déformation évoluent inversement à l'augmentation de l'angle d'orientation de l'impacteur,

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] CT. Sun, and S. Chattopadhyay, "Dynamic response of anisotropic laminated plates under initial stress to impact of a mass," Journal of applied mechanics, 1978, vol.43, n°3, pp. 693-698
- [2] T.M. Tan, and C.T. sun, "Use of statical indentation law in the impact analysis of laminated composite plates," Journal of applied mechanics, 1985, vol.52, pp. 693-698
- [3] K.N Shivakumar, W elber, and W illg, "prediction of low-velocity impact damage in thin circular laminate," AIAA Journal, 1985, vol.23, n°3, mars 1985, pp 442- 449

- [4] C. doan, and P. hamelin, "Résistance au choc à faible vitesse de structures composites, DYMAT," 5me Journée nationale, Polymères et composites- résistance à l'impact, Bordeaux, décembre ,1989
- [5] M. Whitney, and N.J. pagano, "Shear deformation in heterogeneous anisotropic plates," J. applied Mech., Trans. ASME, 92, pp. 1031-1036, 1970
- [6] S. Abrate, "Impact on laminated composite materials," Applied mechanical review, vol.44, n°4, April 1991, p.155-190
- [7] S. Abrate, "impact on laminated composites: recent advances," Appl. Mech. Review, vol.47, n°11, 1994, p.517-544,
- [8] C.A. Ross, L.E. malvern, R.L. Sierakowski, and, N. takeda, "Finite element analysis of interlaminar shear stress due to local impact," ASTM STP 864, 1985, pp. 355-367.
- [9] S.P. Joshi, CT. Sun, "induced fracture in a laminated composite," Journal of composite materials, vol.19, January 1985. p.51-66
- [10] S. Abrate, "Localised impact on sandwich structures with laminated facings," applied mechanics, revu 50 (2), pp. 69-82, 1997
- [11] W.J. Cantwell, and J. Morton, "Comparaison of the low and high velocity impact response of CFRP," Composites, vol. 20, n°6, pp. 545-551. Nov. 1989.
- [12] A.Chabot, "Analyse des efforts d'interface dans les structures en matériaux composites à l'aide de modélisations multiparticulaires des matériaux multicouhes," Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1996.
- [13] B.R. Petersen, "Finite element analysis of composite plate impacted by a projectile," Ph.D. dissertation, department of Engineering Sciences. University of Florida, 1986.
- [14] J. P Hou., N Petrinic., C Ruiz., and S. R. Hallett: "Prediction of impact damage in composite plates", Composite Science and Technology, vol. 60, pp. 273-28, 2000.
- [15] Lopes C.S., Seresta O., Coquet Y., Gürdal Z., Camanho P.P., ThuisB. "Low-velocity impact damage on dispersed stacking sequence laminates. Part I: Experiments". Composites Science and Technology, vol. 69, p. 926-936, 2009
- [16] Olsson R., Donadon M.V., Falzon B.G. "Delamination threshold load for dynamic impact on plates". International Journal of Solids and Structures, vol. 43, p. 3124-3141, 2006
- [17] Choi H.Y., Chang, F.-K. "A model for predicting damage in graphite/epoxy laminated composites resulting from low-velocity point impact". Journal of Composites Materials, vol. 26, p. 2134-2169, 1992.
- [18] Davies G.A.O., Olsson R. "Impact on composite structures", The Aeronautical Journal, vol. 108, p. 541-563, 2004.
- [19] H. Aggour, C.T. Sun, "Finite element analysis of a laminate composite plate subjected to circularly distributed central impact loading," Computers and Structures, vol. 28, n°6, pp. 729-736

- [20] S. Abrate, "Modeling of impacts on composite structures", *Composite Structures* 51 (2001) 129-138