

IV.1.Elaboration des différentes variantes

IV.1.1.Introduction

Dans cette partie, on s'intéresse principalement à l'étude purement expérimentale. Cette étude s'articule sur trois grands axes, premièrement nous avons élaboré les différentes variantes du matériau composite, la deuxième étape consiste à caractériser les matériaux obtenus avec des essais physique et enfin nous avons caractérisé les différentes variantes avec des essais mécaniques (traction, flexion 3 points, compression et comportement au choc Charpy). En effet, afin de déterminer les propriétés mécaniques caractéristiques usuelles du matériau composite susceptible d'être utilisé pour l'élaboration d'une coque de bateau, nous avons procédé, tout d'abord, à la réalisation du moule nécessaire pour la fabrication des plaques planes.

IV.1.2.Réalisation du moule

Pour les besoins de notre travail pratique, nous avons réalisé un moule avec deux plaques en bois, sur lesquelles nous avons fixé du papier en cellophane pour faciliter le démoulage du matériau composite après durcissement.



Fig.4.1: Le moule utilisé pour la fabrication des éprouvettes.

IV.1.3.Matériel et produits utilisés

Le matériel ainsi que les matières premières nécessaires à la réalisation des plaques sont données ci-dessous :

IV.1.3.1.Matériel

- Moule ;
- Pinceaux ;
- Débulleur ;
- Agitateur ;
- Masque protecteur jetable ;
- Gants jetables.

IV.1.3.2. Matières premières utilisées

IV.1.3.2.1. Résine polyester insaturée

Les résines polyesters sont des matières plastiques **thermodurcissables**, c'est-à-dire qu'elles durcissent à température ambiante grâce à l'association d'un accélérateur et d'un catalyseur qui provoquent une réaction exothermique (élévation de la température de la résine), cette transformation est irréversible. Une résine de synthèse est généralement composée de deux produits chimiquement différents dont l'association est complémentaire.

Le premier est la résine en elle-même, chaîne de polymères ouverts à tendance plutôt visqueuse et de couleur quasi incolore.

Le second est le catalyseur a pour effet de provoquer la fermeture des chaînes de polymères entièrement contenues dans la résine (d'où la faible quantité de catalyseur à adjoindre environ 1%).

La résine polyester polymérise par adjonction de catalyseur dans les proportions suivantes :

- 0.8% minimum —> temps de travail moyen.
- 2% maximum —> temps de travail court.

Le pourcentage est adapté en fonction des besoins de chaque pièce. Le tableau suivant montre les masses volumiques de la résine ainsi que du catalyseur.

IV.1.3.2.1.1. Fiche technique de la résine polyester

La résine polyester insaturée, rigide, thixotrope, pré accélérée, basse réactivité.

Cette résine polyester peut être mise au contact de denrées alimentaires, pour cela il est nécessaire de respecter un délai de séchage de 3 semaines (à température ambiante), afin que tout le styrène soit bien évaporé. Bien que la **RESINE POLYESTER** soit une résine rigide, elle se caractérise par une bonne élasticité qui fait qu'elle est adaptée à la préparation de stratifiés qui requièrent des exigences mécaniques.

Puisque c'est une résine pré accélérée et thixotrope, elle se caractérise par sa très haute force de maintien qui la rend adaptée aux applications verticales ou inclinées. De plus, la résine procure une imprégnation optimale du tissu ainsi qu'un cycle de traitement rapide et un pic de température exothermique bas.

Suivent les principales propriétés d'un stratifié obtenu avec la résine, 2 couches de mat 450, 600 g/m², de tissu roving et 35% de fibre de verre:

- Force de flexion: 2300 - 2500 kg/cm² (ASTM D780) ;

- Coefficient de flexion: 75000 - 80000 kg/cm² (ASTM D780) ;
- Force de tension: 1500 - 1700 kg/cm² (ASTM D638) ;
- Coefficient de tension: 85000 - 90000 kg/cm² (ASTM D638) ;
- Force de compression: 1500 - 1700 kg/cm² (ASTM D695) ;
- Coefficient de compression: 85000 - 90000 kg/cm² (ASTM D695).

Tableau.4.1.Caractéristiques des résines polyester selon la fiche technique

<p>Propriétés de la résine à 25°C</p> <p>Couleur: Bleuté Valeur acide: 25 Monomère: Styrène Teneur en monomère (%):39 Viscosité - Brookfield, cps: Fuseau 2 à 2 rpm: 1700 Fuseau 2 à 20 rpm:550 Index thixotropique:3 Stabilité (espace sombre)..... 3 mois Point éclair : 23°C < PE ≤ 55°C</p>
<p>Propriétés physiques à 20°C</p> <p>Catalyseur P MEC (50%) :..... 1.5% Temps de gel:..... 18 minutes Temps de gel au pic exothermique:.....15 minutes</p>
<p>Caractéristiques de la résine polymérisée</p> <p>Température de déflexion de chaleur:....67 (ASTM D648) Absorption d'eau:..... 0.15 % (ASTM D570) Limite élastique à la traction:.....600 kg/cm² (ASTM D638) Force de flexion:.....1050 kg/cm² (ASTM D790) Dureté BARCOL : 45 Elongation de rupture:.....1.9 %</p>
<p>Mode d'application</p> <p>La RESINE POLYESTER est utilisée aussi bien en moulage, projection qu'en imprégnation. Additionner 1.5% de P MEC à la résine, mélanger soigneusement pour obtenir un mélange homogène. Appliquer la résine sur les tissus à imprégner, la résine imprègne rapidement les tissus</p>
<p>Emballage et conservation</p> <p>Conditionnement :.....375 g avec catalyseur, 750 g avec catalyseur, 5 kg et 25 kg. Stockage :.....3 mois à l'obscurité et à une température maximum de 30°C.</p>

IV.1.3.2.2.La fibre de verre

IV.1.3.2.2.1.Composition chimique

La composition du verre à destination des fibres textiles est très différente de celle employée pour les verres courants. Les fibres doivent pouvoir résister aux agressions des agents chimiques et avoir une résistance mécanique à la traction exceptionnellement élevée.

Leur composition, très pauvre en oxydes alcalins, contient des quantités importantes d'alumine, d'anhydride borique et d'oxydes alcalinoterreux.

Tableau.4.2.Composition chimique du verre E utilisé comme renfort

Composition chimique de verre E	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO
Teneur en %	54,5	8,5	14,5	22

Nous avons utilisé deux types de fibres de verre (le mat et le tissé).

1) Le mat de verre

Il existe plusieurs types de mats de verre, dans notre travail nous avons utilisé le mat de verre 450 g/m².

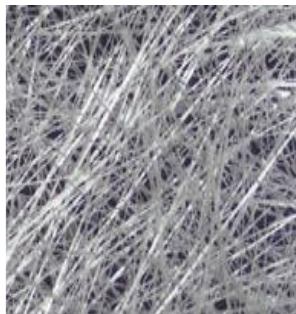


Fig.4.2: Mat de verre.

2) Tissé de verre

Il existe plusieurs types de tissé de verre, dans notre travail nous avons utilisé le type taffetas.



Fig.4.3 : Tissé de verre.

IV.1.4.Elaboration des plaques

On pèse 500g de résine, à laquelle on ajoute 2% de catalyseur PMEC qu'on mélange soigneusement afin d'éviter la formation de bulles d'air. Ensuite on verse une quantité de résine sur la plaque du moule, et ensuite on étale la résine sur toute la surface.

Et puis on dépose sur la couche de résine un pli de mat ou du tissé selon les cas (variante a réalisé), et on ajoute une couche de résine et puis un pli de mat ou de tissé, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on obtient le nombre de plis voulu, par la suite la plaque supérieure de moule y est déposé et pressée à l'aide d'un poids placé sur cette dernière.

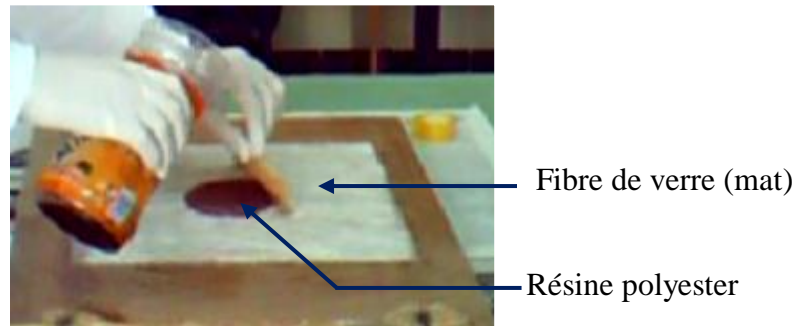


Fig.4.4: Elaboration du matériau composite.

Les différentes plaques à réalisés sont comme suit :

- Variante N°1 : 6 plis tissés (100% tissé) ;
- Variante N°2 : 2 plis mats + 5 plis tissés ;
- Variante N°3 : 14 plis mats (100% mat) ;
- Variante N°4 : 2 plis tissés + 10 plis mats ;
- Variante N°5 : 5 plis mat + 4 plis tissés.

Une fois les plaques durcies et polymérisé dans une étuve de séchage à 40°C pendant 16 heures, elles sont découpées en éprouvettes normalisées à l'aide d'une scie circulaire diamantée.

IV.2.Caractérisation physico-mécanique des différentes variantes

IV.2.1. Caractérisation physique des éprouvettes

Nous avons déterminé la densité des différentes variantes et ainsi que le taux de renfort (fibres de verre) et de la matrice (résine polyester). Nous tenons à signalé que les différentes mesures ont été effectuées sur quatre éprouvettes représentatives de chaque variante en matériau composite réalisé.

IV.2.1.1.Détermination de la teneur du renfort et de la matrice

Nous avons déterminés le taux de renfort (fibres de verre) avec la méthode de calcination selon la norme «**NF T 57-102** ».

IV.2.1.1.1.Essai de calcination

Nous avons réalisé l'essai de **calcination** à 625°C avec pesées d'échantillons avant et après passage au four, ce qui nous a permis de mesurer le taux massique de charges non volatiles à la température d'essai, donc le taux de verre massique et en suite nous avons déduit le taux de la matrice, nous tenons à signaler que la perte au feu de la fibre de verre est de 8%.



Fig.4.5 : Matériau composite après essai de calcination.

Tableau.4.3. Les teneurs moyennes de la matrice ainsi que du renfort pour les 5 variantes.

N° de variante	1	2	3	4	5
Teneur moyenne du renfort en (%)	51,63	55,36	62,08	51,48	53,57
Teneur moyenne de la matrice en (%)	48,37	44,64	37,92	48,52	46,43

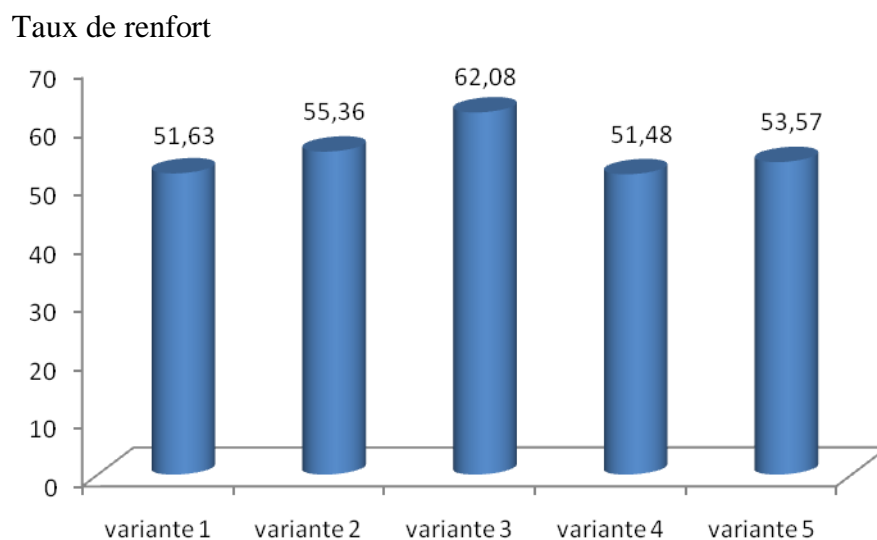


Fig.4.6 : Teneur moyenne du renfort pour les 5 variantes.

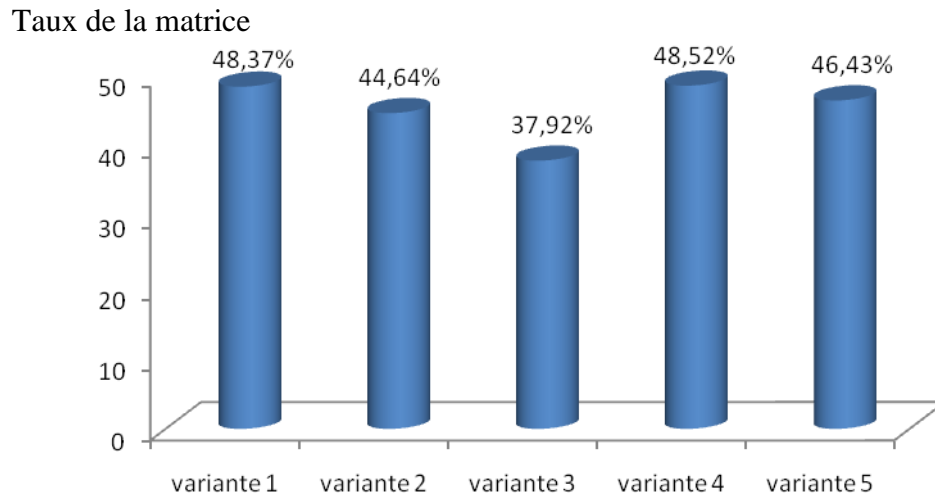


Fig.4.7 : Teneur moyenne de la matrice pour les 5 variantes.

IV.2.1.1.2. Analyse des résultats

Nous constatons d'après les figures IV.2 et IV.3 que le taux du renfort varie entre 51% pour la variante N°1 qui est élaborée à base de fibres de verre tissé (100%) et 62% pour la variante N°3 qui est réalisée à base de fibres de verre mat (100%), parce que l'architecture de la fibre de verre tissé contient beaucoup plus de vide que la structure de la fibre de verre mat et par conséquent un matériaux composite à base de fibres de verre tissé présentera une teneur de la matrice plus élevée qu'un matériau composite à base de fibre de verre mat.

IV.2.1.2. Densité

La **densité**, aussi appelée "Masse spécifique"; est le rapport de la masse volumique d'une substance à celle d'une autre substance choisie comme référence (l'eau dans le cas des liquides et des solides). La densité est un nombre sans unité.

IV.2.1.2.1. principe de l'essai

Nous avons réalisé l'essai à l'aide d'une balance hydrostatique selon la norme NF T 51-063, le principe de l'essai consiste à pesé le matériau composite à l'air et sous l'eau, cette technique est appelée la double pesé, la balance est mené d'un programme qui nous permet de lire directement la valeur de la densité.



Fig.4.8 : Balance hydrostatique.

Tableau.4.4. Les résultats de la densité des différentes variantes.

N° de variante	1	2	3	4	5
Densité moyenne	1,77	1,76	1,61	1,71	1,71

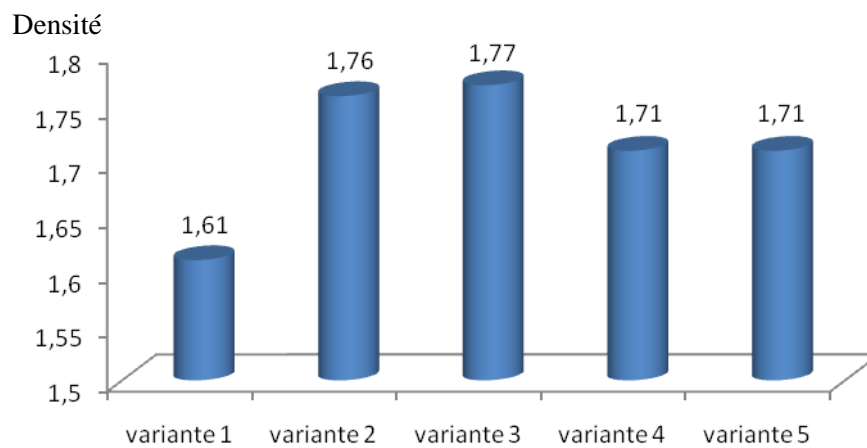


Fig.4.9 : Densité moyenne des 5 variantes.

IV.2.1.2.2. Analyse des résultats

Nous constatons d'après la figure IV.4 que les valeurs de densité se situent entre 1,61 pour le matériau composite renforcé avec 100% de fibres de verre tissé (variante N°1) et 1,77 pour la variante N°3 dont le renfort est la fibre de verre mat (100%).

Il est a signalé que le matériau composite à base de fibres de verre (mat) est plus dense que le matériau composite élaboré à base de fibres de verre tissé, cela est la conséquence de la teneur en résine polyester qui est un peut plus élevée dans la variante N°1.

Les résultats obtenus se concordent avec les résultats obtenus par CARMA (centre d'animation régional en matériaux avancé).

IV.2.2. Caractérisation mécanique des éprouvettes

Nous avons choisi d'étudier les propriétés mécaniques de la résine polyester renforcées par des mats de verre et les comparer avec la résine polyester renforcée par des fibres de verre tissé et celle renforcée avec des fibres de verres (mats + tissé), parce que les mats sont des renforts très utilisés pour la fabrication des coques de bateaux.

IV.2.2.1. Description du dispositif expérimental

Les essais mécanique de traction, de flexion trois points et de compression sur des éprouvettes en matériaux composites sont effectués sur une machine universelle **Zwick** de type **Z250** pilotée par ordinateur ; équipé de logiciel testXpert V9.0 et munie d'un capteur de force 250KN. Celle-ci est reliée à une chaine d'acquisition qui permet l'enregistrement simultané de la contrainte et de la déformation.

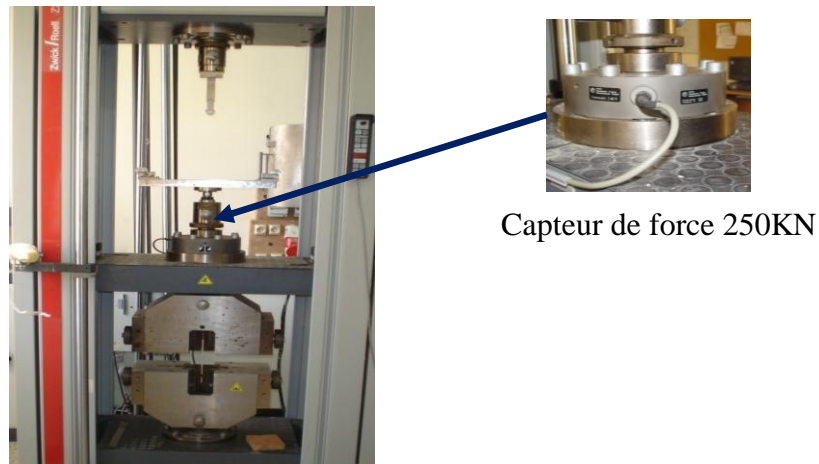


Fig.4.10 : Machine universelle.

IV.2.2.2. Essai de traction

IV.2.2.2.1. Préparation des éprouvettes

Les plaques obtenues sont découpées en éprouvettes selon la norme internationale ISO 527-5 à l'aide d'un disque diamanté. La figure suivante montre les dimensions d'une éprouvette de traction.

IV.2.2.2.2. Dimensions des éprouvettes de traction

Les dimensions des éprouvettes sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau.4.5 : Les dimensions des éprouvettes pour l'essai de traction.

Les différentes dimensions	Les valeurs en « mm »
L_3 : Longueur totale	250
L_2 : Distance entre talons	150 ± 1
b_1 : Largeur moyenne	25,2
h : Epaisseur	4,50
L_0 : Longueur recommandée pour les extensomètres	50 ± 1
L : Distance initiale entre mors	136
L_T : Longueur des talons	≥ 50
h_T : Epaisseur des talons	0,5 à 2

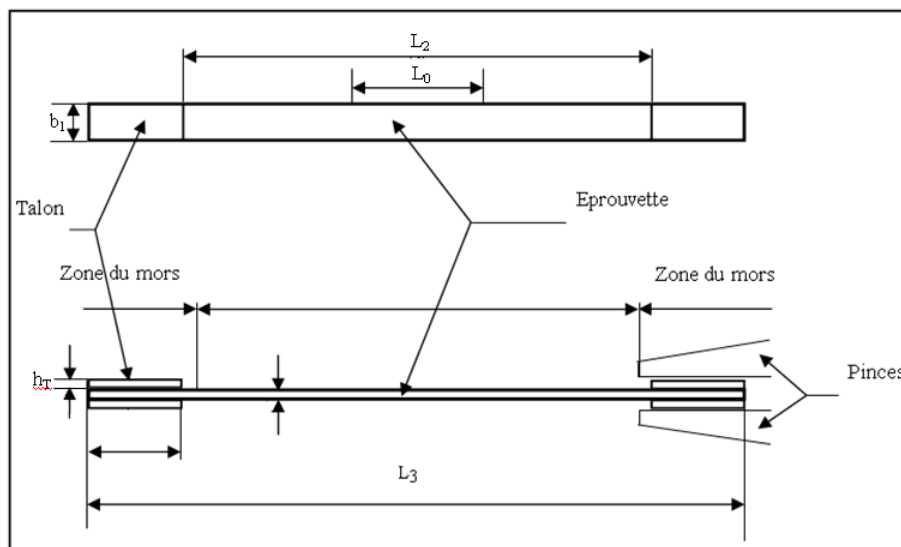


Fig.4.11 : Dimensions de l'éprouvette pour essai de traction.



Fig.4.12 et Fig.4.13 : Epreuves pour l'essai de traction.

IV.2.2.2.3.Principe de l'essai de traction

Le principe de l'essai est de placer l'éprouvette normalisée entre les mors de la machine, et puis nous fixons les extensomètres au centre de l'éprouvette ; une force est appliquée sur l'éprouvette avec une vitesse de 2 mm/mn. La machine est pilotée par un ordinateur équipé du logiciel testXpert V9.0, munie d'un capteur de force de 250KN et elle est reliée à une chaîne d'acquisition qui permet l'enregistrement simultané de la contrainte et de l'allongement.

Les figures suivantes montrent une image d'éprouvette avant et après l'essai de traction.

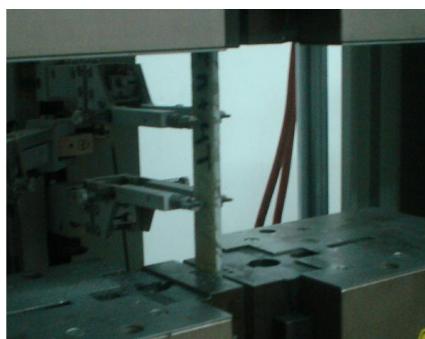


Fig.4.14 : Epreuve avant l'essai.



Fig.4.15 : Epreuve après essai.

IV.2.2.2.4.Les Résultats expérimentaux pour les différentes variantes

Les résultats enregistrés par la machine universelle sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau.4.6.les caractéristiques mécaniques des cinq variantes en matériaux composites.

N° de variante	1	2	3	4	5
Module de YOUNG en (MPa)	26950,04	22611,14	16418,9	19450,9	26438,64
Contrainte maximale en (MPa)	346,44	292,39	188,34	204,04	255,83
Allongement en (%)	1,08	0,96	0,83	1,20	0,90

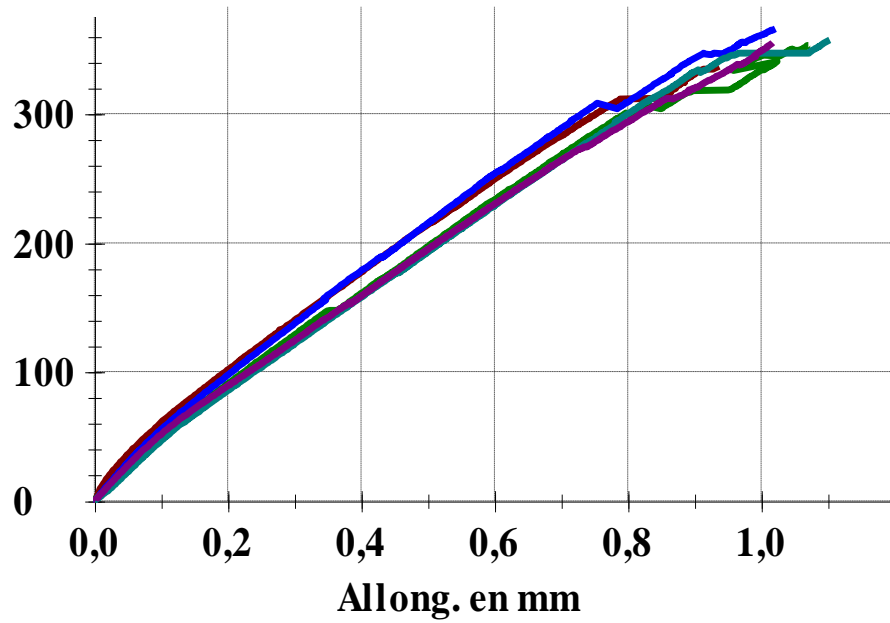
Contrainte de traction en MPa

Fig.4.16 : Contrainte de traction en fonction de l'allongement pour les éprouvettes de la 1^{ère} variante.

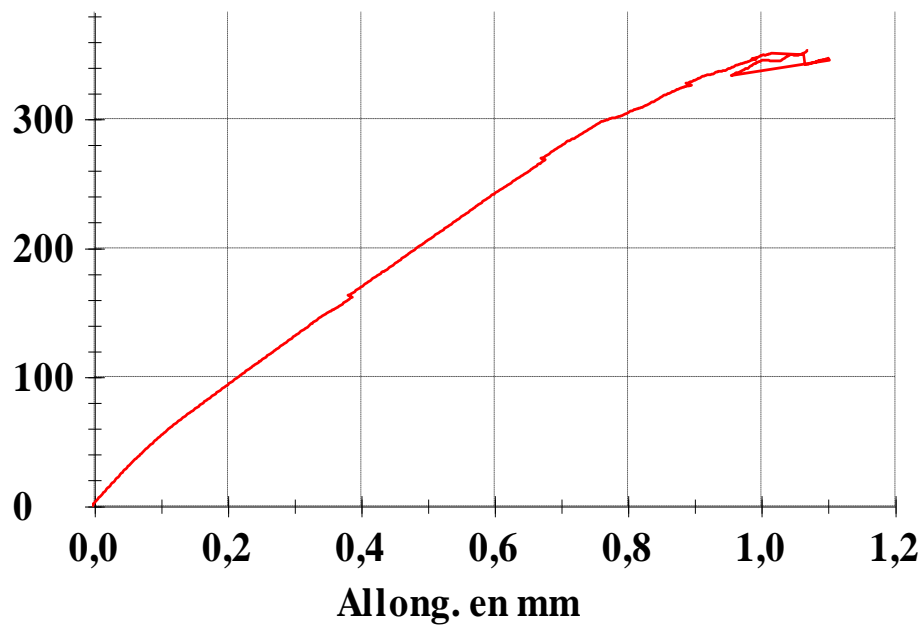
Contrainte moyenne de traction en MPa

Fig.4.17 : Contrainte moyenne en traction de la variante N°1.

Contrainte de traction en MPa

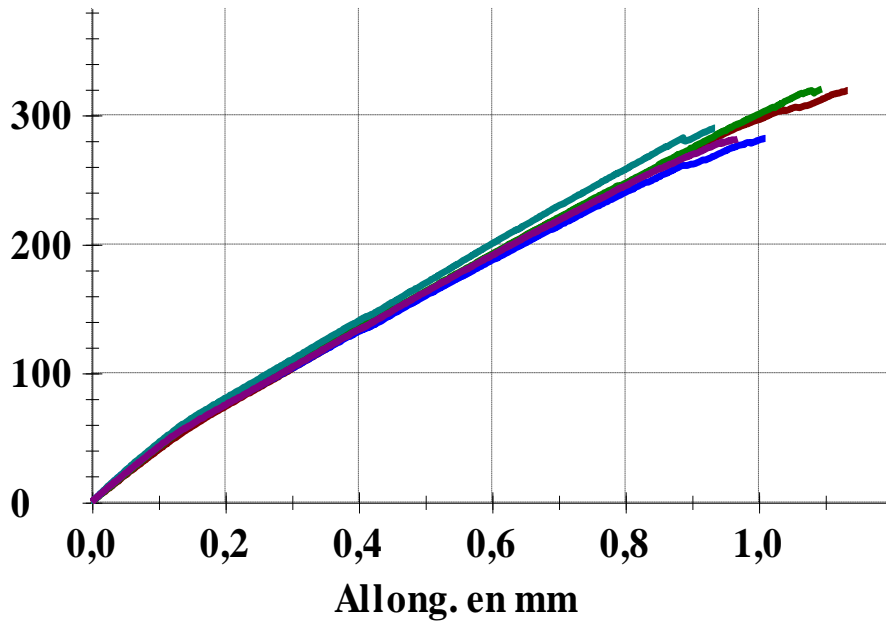


Fig.4.18 : Contrainte de traction en fonction de l'allongement pour les éprouvettes de la 2^{ème} variante.

Contrainte moyenne de traction en MPa

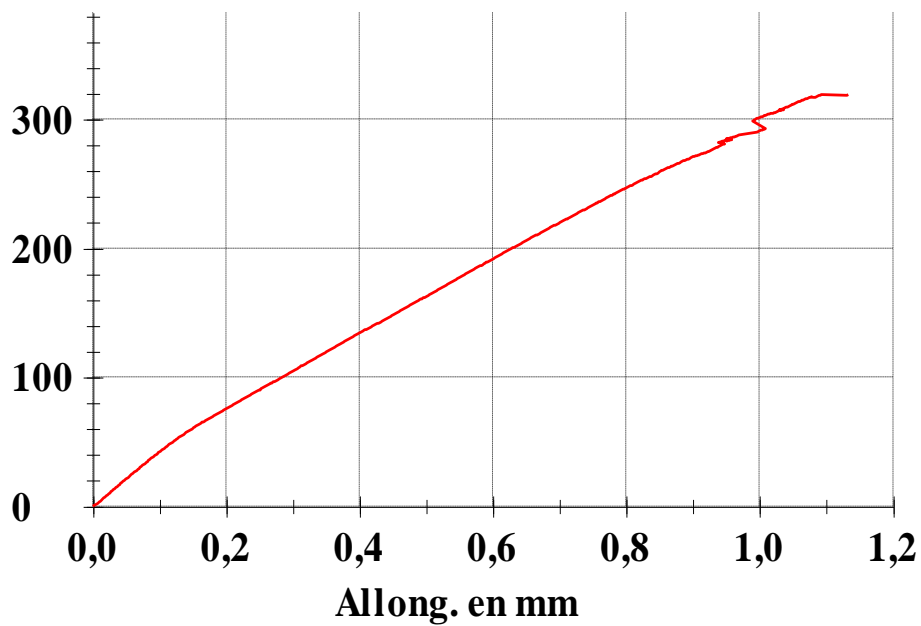


Fig.4.19 : Contrainte moyenne en traction de la variante N°2.

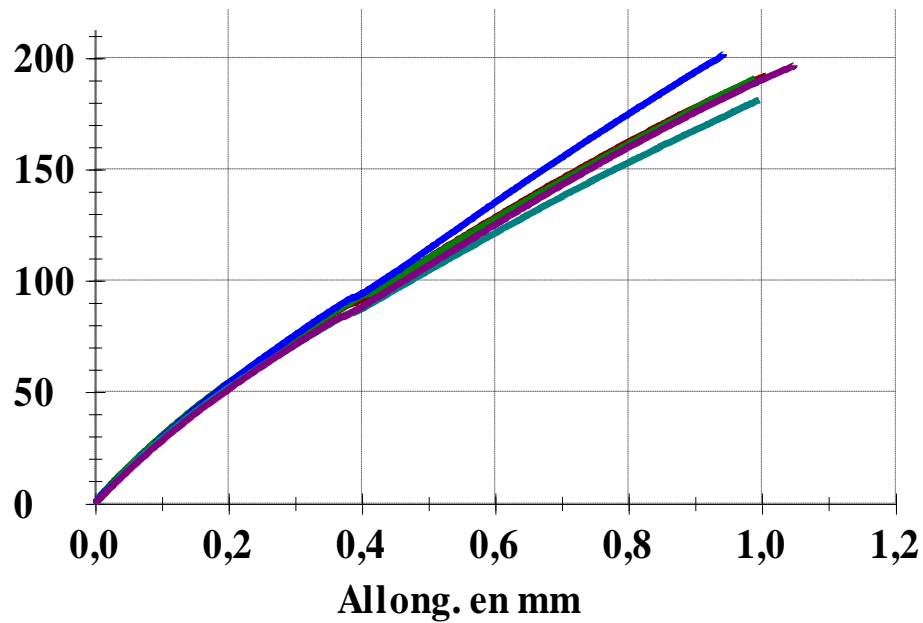
Contrainte de traction en MPa

Fig.4.20 : Contrainte de traction en fonction de l'allongement pour les éprouvettes de la 3^{ème} variante.

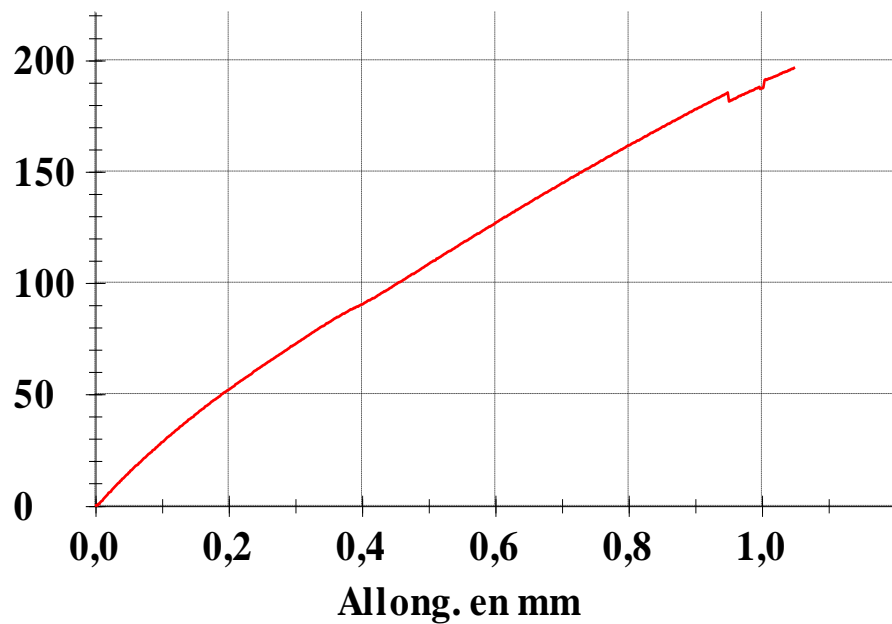
Contrainte moyenne de traction en MPa

Fig.4.21 : Contrainte moyenne en traction de la variante N° 3

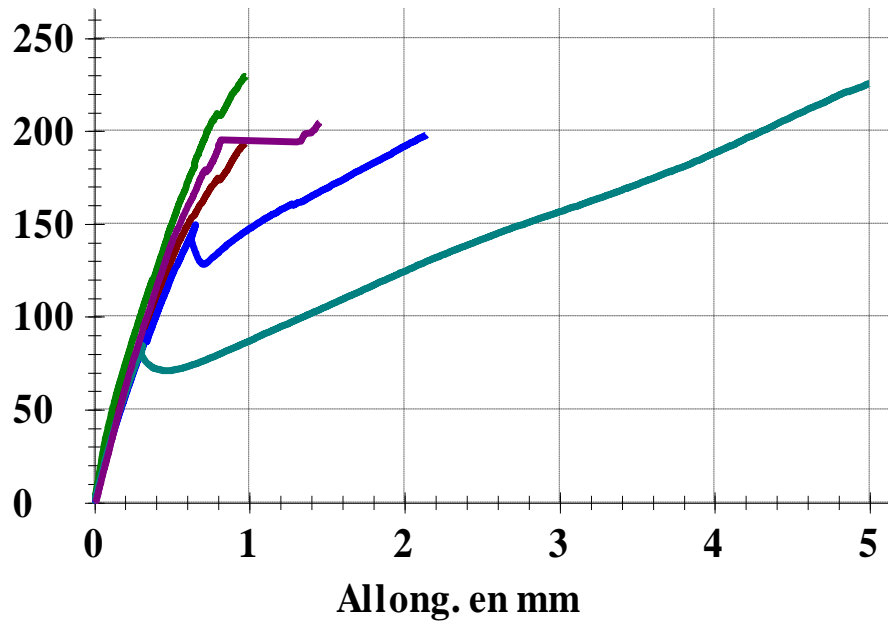
Contrainte de traction en MPa

Fig.4.22 : Contrainte de traction en fonction de l'allongement pour les éprouvettes de la 4^{ème} variante.

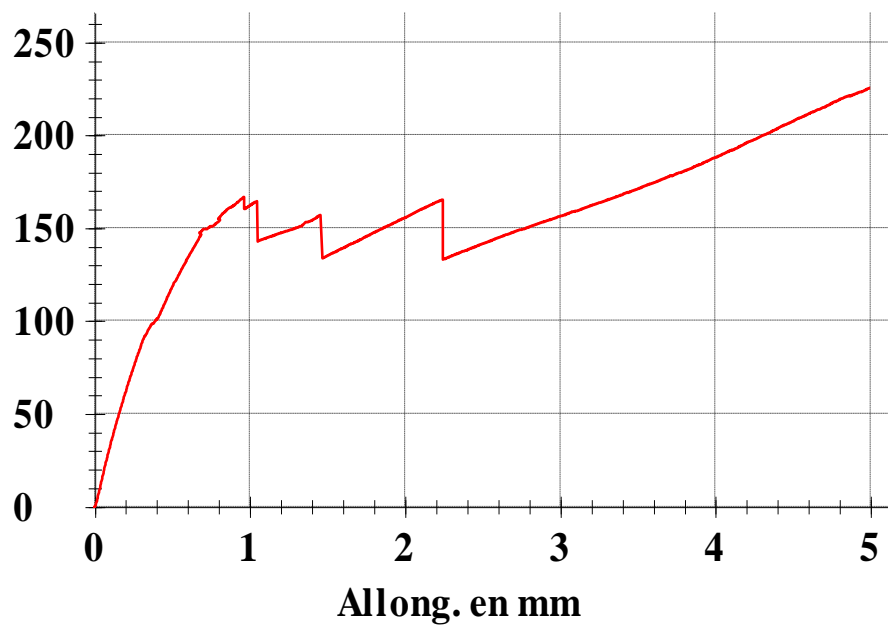
Contrainte moyenne de traction en MPa

Fig.4.23 : Contrainte moyenne en traction de la variante N°4.

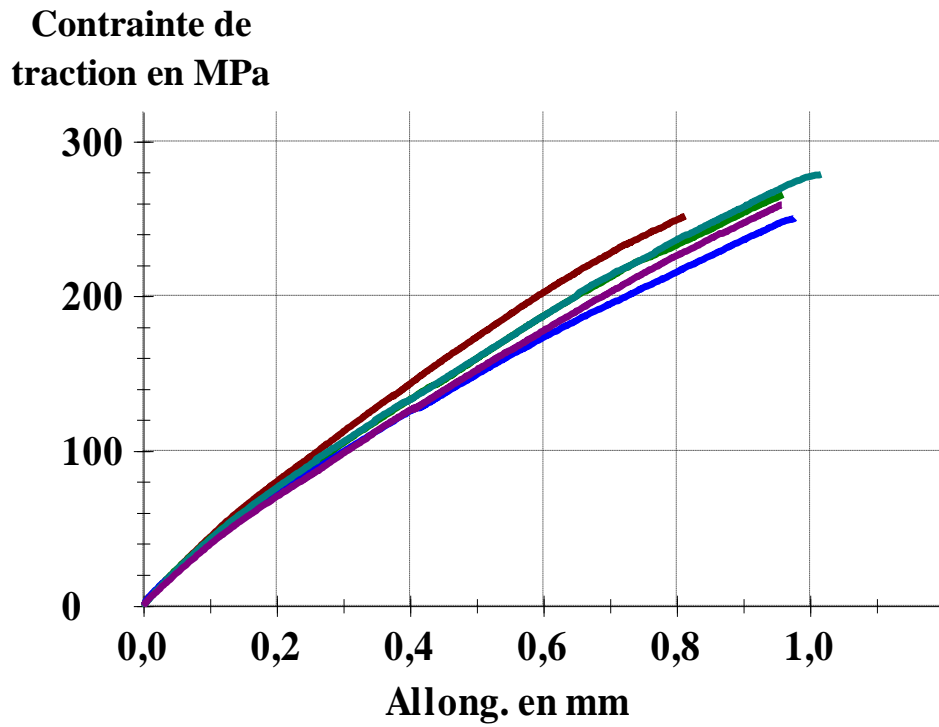


Fig.4.24 : Contrainte de traction en fonction de l'allongement pour les éprouvettes de la 5^{ème} variante.

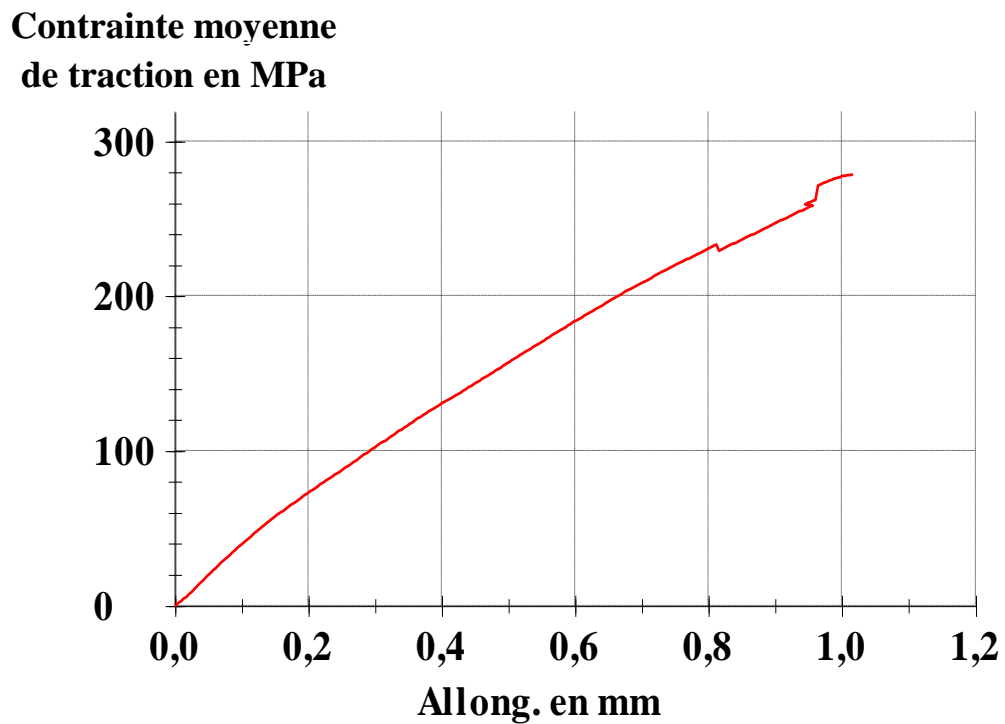


Fig.4.25 : Contrainte moyenne en traction de la variante N°5.

IV.2.2.2.5. Analyse des résultats

Les propriétés mécaniques d'empilements de la fibre de verre de type mat, tissé et mat + tissé avec la résine polyester ont été étudiées en traction.

D'après les résultats expérimentaux obtenus, on remarque que le module de YOUNG pour la variante N°1 (résine polyester + fibres de verre tissé) est de 26950 MPa par contre celui de la variante N°3 (résine polyester + fibres de verre mat) est de 16418 MPa, parce que dans le cas de la première variante les fibres de type tissé sont orientées dans le sens de la traction ce qui engendre une contrainte en traction de 346 MPa par contre dans le cas de la 3^{ème} variante les fibres de type mat sont orientées aléatoirement ce qui engendre une contrainte en traction de l'ordre de 188 MPa. Dans le cas des variantes N°2, N°4 et N°5 le module de YOUNG se situe entre ces deux valeurs parce que nous avons renforcé ses matériaux avec la fibre de verre de type (mats + tissé) et par conséquent nous avons amélioré leurs caractéristiques mécaniques.

F. MERAGHNI, M.L. BENZEGGAGH, C.J. BLAKERMAN et F. DESMURAUX ([25], [26], [27]) ont étudié par émission acoustique le développement chronologique des dommages dans des stratifiés verre/polyester et notent que les premiers endommagements apparaissent dans la matrice (correspondant à la fissuration des mèches orientées transversalement à la direction de sollicitation). Puis, lorsque la déformation augmente, la coalescence des fissures dans la matrice conduit à la décohésion des interfaces.

Les ruptures de fibres n'apparaissent qu'au stade final de l'accumulation des dommages. En résumé, la rupture des composites stratifiés résulte d'un cumul d'endommagement.

IV.2.2.3. Essai de flexion trois points

IV.2.2.3.1. Préparation des éprouvettes

Les plaques obtenues sont découpées en éprouvettes selon la norme ISO 178 à l'aide d'un disque diamanté. La figure suivante montre les dimensions d'une éprouvette pour l'essai de flexion trois points.

IV.2.2.3.2. Dimensions des éprouvettes pour l'essai de flexion

Les dimensions des éprouvettes pour l'essai de flexion trois points sont représentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau.4.7. Dimensions des éprouvettes.

Les dimensions recommandées pour les éprouvettes de flexion 3 points en « mm »
Longueur : $L = 80 \pm 2$
Largeur : $b = 10,0 \pm 0,2$
Epaisseur = $4,0 \pm 0,2$

**Fig.4.26 :** Epreuves.

IV.2.2.3.3.Principe de l'essai de flexion 3 points

Le principe de cet essai est de mesurer un déplacement (flèche « y ») à partir d'un effort (F) placé au milieu de deux appuis. Des relations issues de la résistance des matériaux permettent de faire le lien entre ces deux grandeurs (y et F), la géométrie de la pièce (L, h et b) et les caractéristiques du matériau (σ , ε et E). L'éprouvette parallélépipédique, supportée comme une poutre, est soumise à une flexion, au milieu de la portée (flexion 3 points), à une vitesse constante, jusqu'à la rupture de l'éprouvette. Les appuis de flexiometre sont de forme hémisphérique de diamètre 36 mm pour les deux appuis inférieurs et 10 mm pour le poinçon ; la vitesse d'essai est de 2 mm/mn. La figure suivante montre le dispositif de l'essai de flexion trois points.

**Fig.4.27 :** Dispositif pour l'essai de flexion.

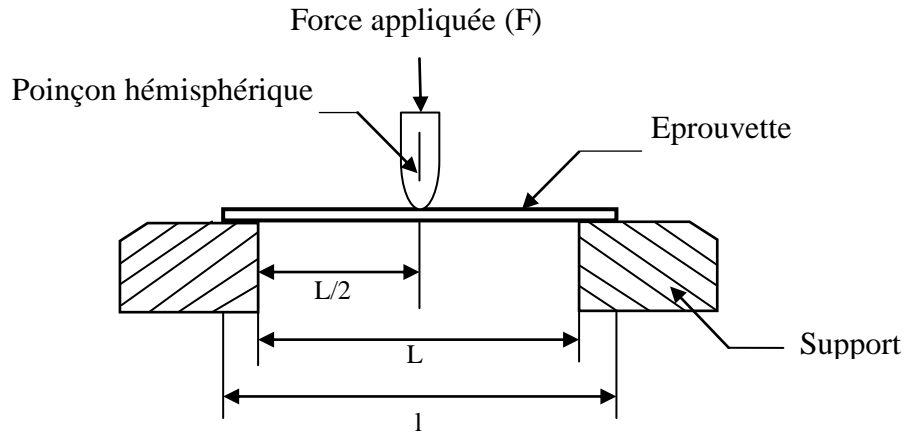


Fig.4.28 : Principe de l'essai de flexion 3 points.

Les différentes caractéristiques peuvent être estimées grâce aux relations ci-dessous, selon la norme **ISO 14125** :

$$\sigma_{\max} = \frac{3 \times F_{rup} \times L}{2 \times b \times h^2} \quad ; \quad \varepsilon_{rup} = \frac{6 \times h \times y}{L^2} \quad ; \quad E = \frac{L^3}{4 \times b \times h^3} \left(\frac{\Delta F}{\Delta y} \right)$$

Ou : σ_{\max} : est la contrainte maximale en (N/mm²) ;

ε_{rup} : est la déformation à la rupture sans unité ;

E : est le module de YOUNG en (MPa) ;

F_{rup} : est l'effort à la rupture de l'éprouvette en (N) ;

y : est la flèche en (mm) ;

b : largeur de l'éprouvette en (mm) ;

h : épaisseur de l'éprouvette en (mm) ;

L : est la distance entre appuis en (mm).

IV.2.2.3.4. Les Résultats expérimentaux pour les différentes variantes

Tableau.4.8. Les valeurs expérimentales de la force maximale et du déplacement pour les différentes variantes.

N° de variante	1	2	3	4	5
Force maximale moyenne en « N »	1113,5	940,40	730,02	1557,84	1163,61
Déplacement à la force maximale en « mm »	4,544	4,127	4,137	4,287	4,62

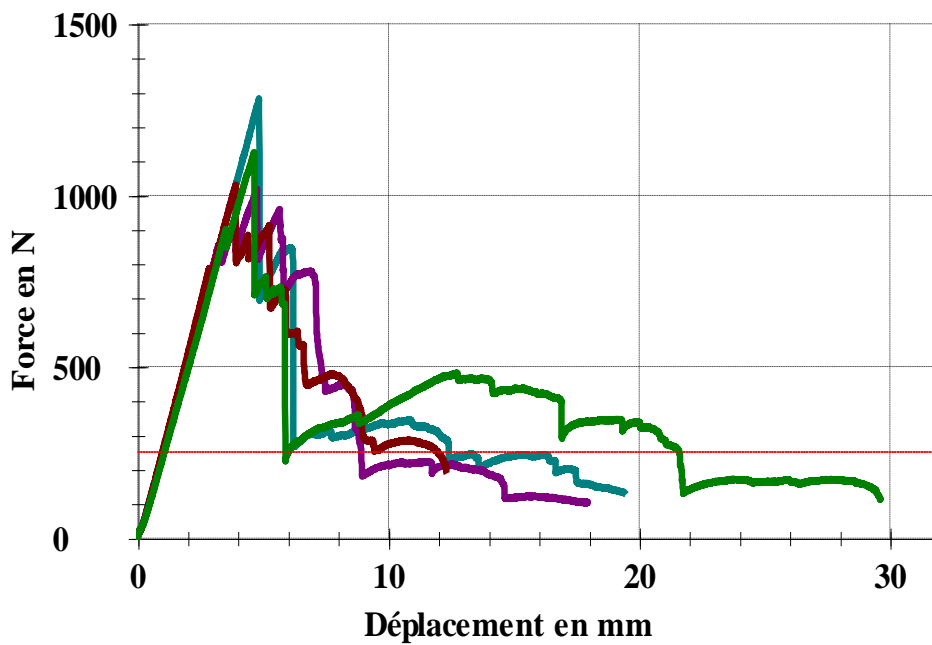


Fig.4.29 : force de flexion en fonction du déplacement des éprouvettes de la variante 1.

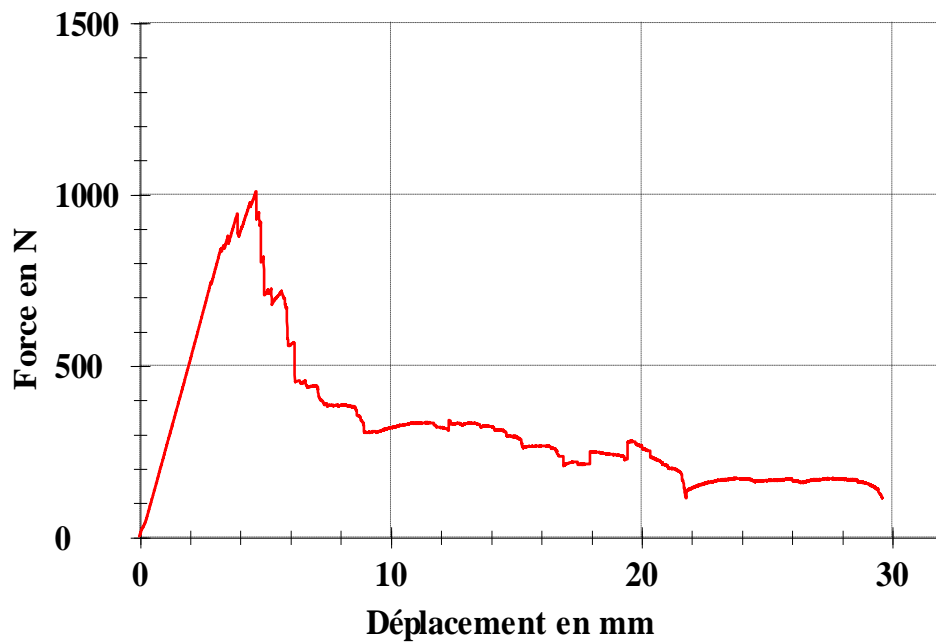


Fig.4.30: Force de flexion moyenne des éprouvettes de la variante 1.

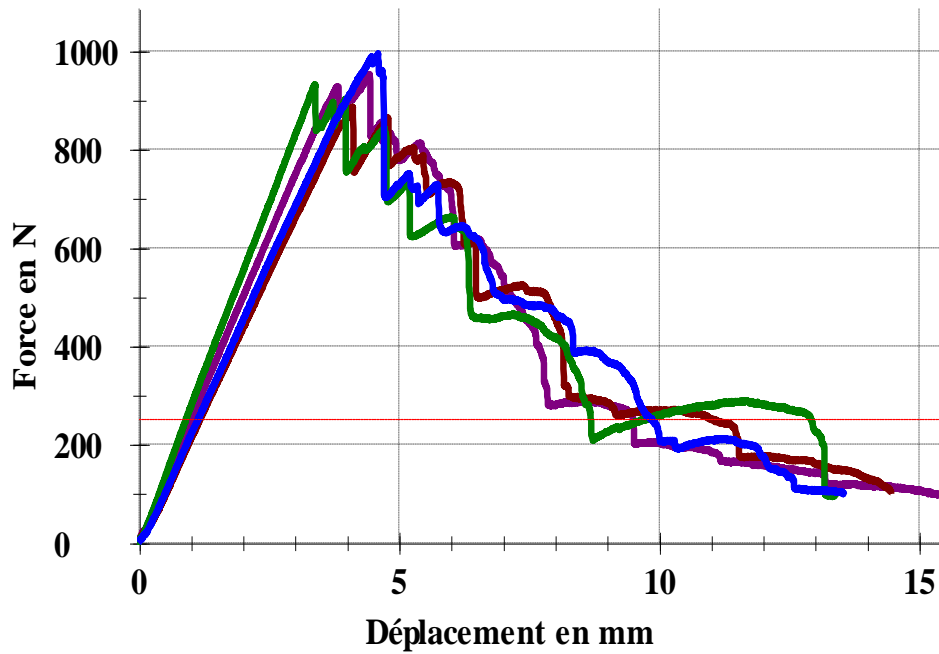


Fig.4.31 : Force de flexion en fonction du déplacement des éprouvettes de la variante 2.

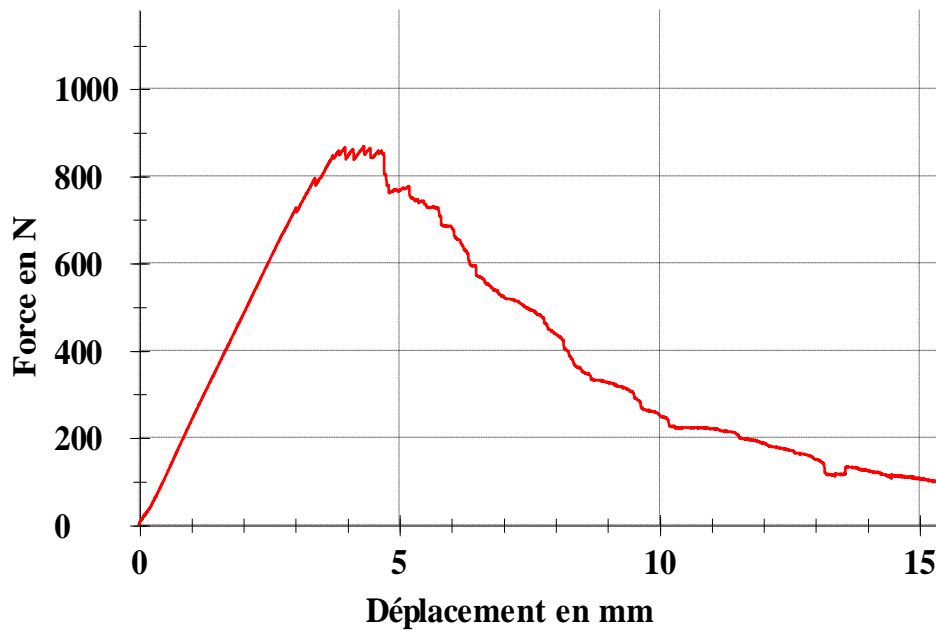


Fig.4.32 : Force de flexion moyenne des éprouvettes de la variante 2.

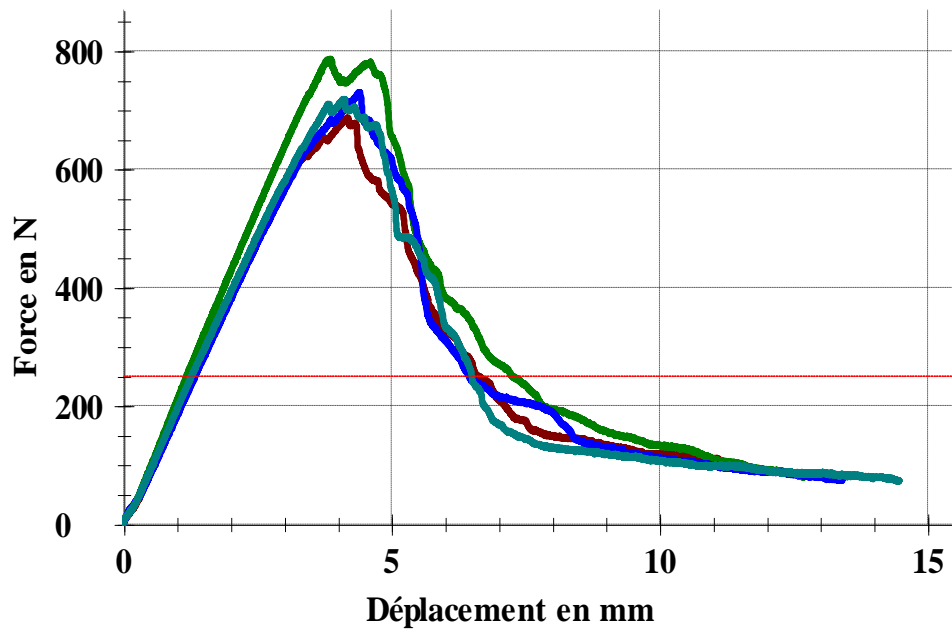


Fig.4.33 : Force de flexion en fonction du déplacement des éprouvettes de la variante 3.

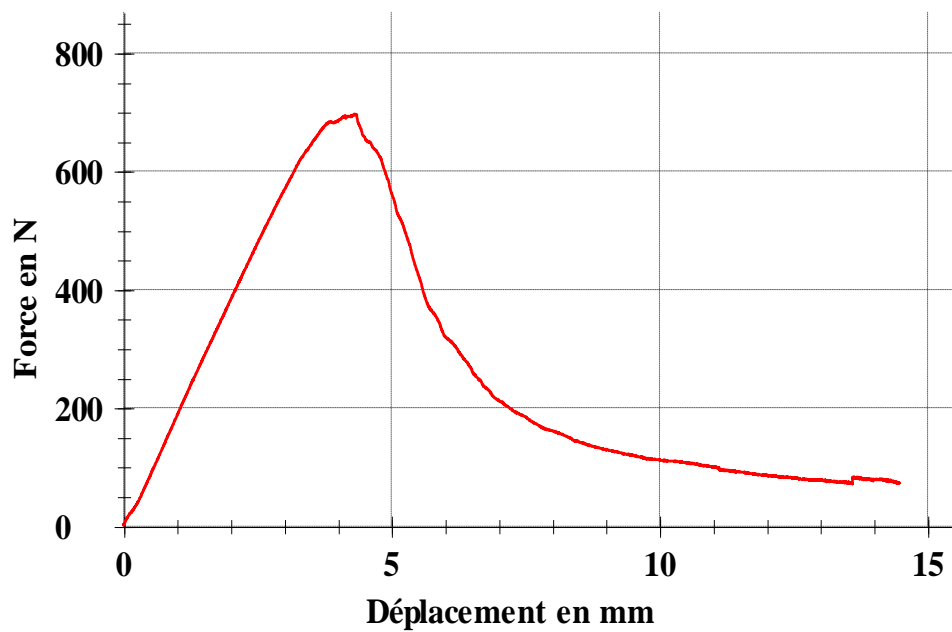


Fig.4.34 : Force moyenne des éprouvettes de la variante la variante 3.

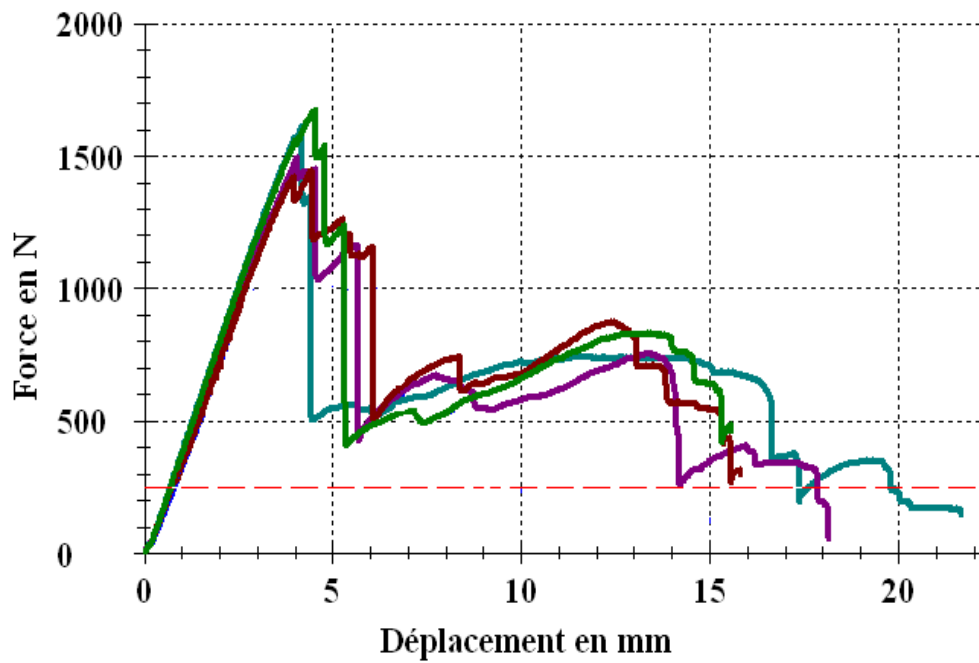


Fig.4.35 : Force de flexion en fonction du déplacement des éprouvettes de la variate 4.

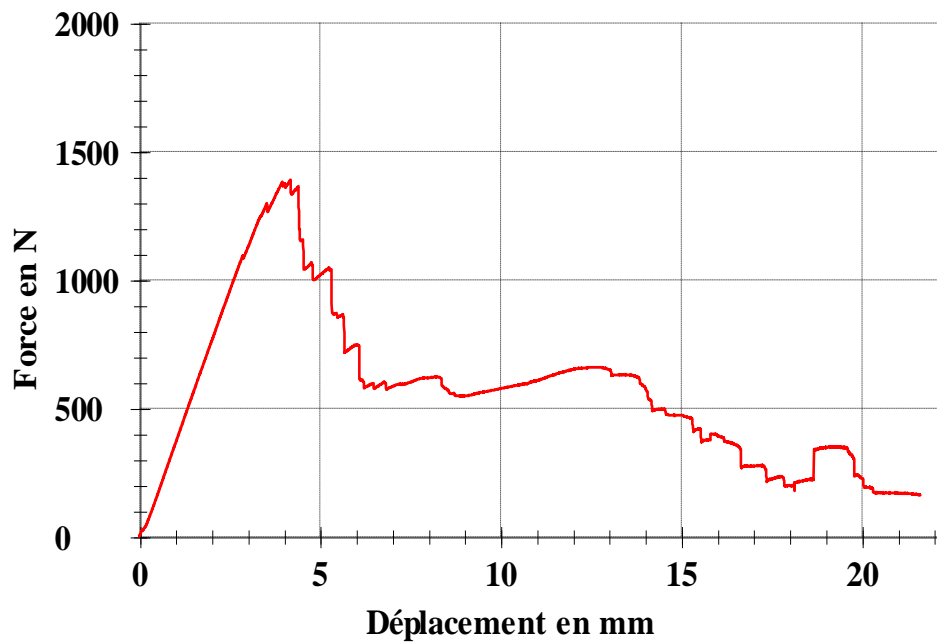


Fig.4.36 : Force de flexion moyenne des éprouvettes de la variante 4.

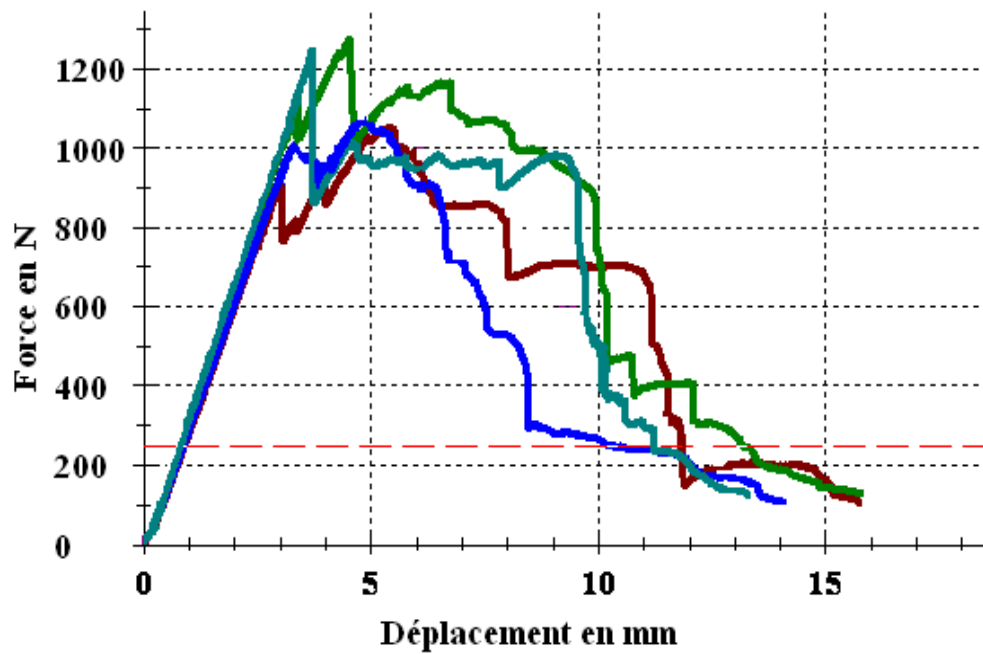


Fig.4.37 : Force de flexion en fonction du déplacement des éprouvettes de la variante 5.

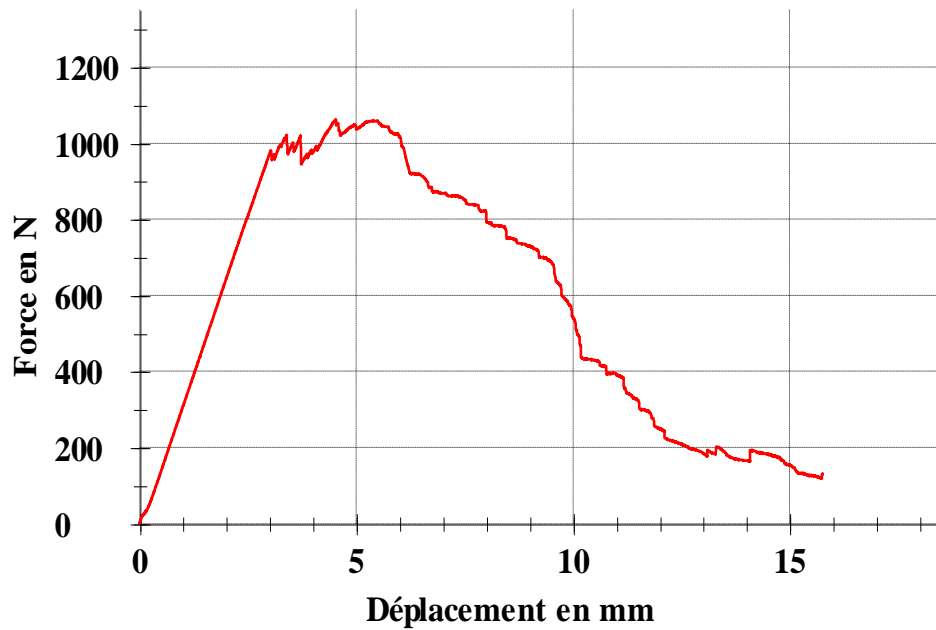


Fig.4.38 : Force de flexion moyenne des éprouvettes de la variante 5.

Nous avons calculé la contrainte maximale « σ_{\max} », la déformation « ε » à la force maximale ainsi que le module de Young pour les différentes variantes en utilisant les relations cités précédemment. Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau.4.9. Caractéristiques mécanique en flexion 3 points des 5 variantes.

N° de variante	1	2	3	4	5
Contrainte maximale (σ_{\max}) moyenne en « MPa »	465,14	349,5	279,56	328,23	288,16
Déformation (ε_{\max}) moyenne à la contrainte maximale en « mm »	0,026	0,025	0,027	0,03	0,031
Module de YOUNG (E_f) en « MPa »	29645	17144	14622	11832	10500

IV.2.2.3.5. Analyse des résultats

Les graphes ci-dessus représentent l'évolution de la force en fonction du déplacement pour les différents matériaux testés. L'analyse des résultats obtenus nous permet de mettre en évidence l'influence d'un certain nombre de paramètres sur le comportement des matériaux élaboré.

Effet de type de la fibre de verre : la variante N°1 renforcé par des fibres de verre de type tissé présente une contrainte maximale de 465 MPa et un module d'élasticité de 29645MPa, la variante N°3 présente une contrainte de l'ordre de 279 MPa et un module de 14622 MPa. Par contre au niveau de la déformation à la rupture on obtient à peu près la même valeur.

Influence de la séquence d'empilement : la variante N°2 renforcé par 5 plis tissés et 2 plis mats présente une contrainte à la rupture de 349,5 MPa et un module de 14622 MPa. la variante N°4 renforcé par 10 plis mats et 2 plis tissés présente une contrainte à la rupture de 328 MPa et un module de 11832 MPa.

La variante N°5 renforcé par 5 plis mats et 4 plis tissés présente une contrainte à la rupture de 288 MPa et un module de 10500 MPa. Par contre au niveau de la déformation à la rupture on obtient des valeurs un peut élevées pour les variantes N°4 et N°5.

Les ruptures en flexion ([28], [29]), des différents matériaux étudiés peuvent être classées en deux groupes :

- 1- La variante N°1 dans les plis sont de type tissé, on observe peu de fissures transverses, l'endommagement du matériau se fait par rupture de fibres dans la face comprimée précédée du délaminage.
- 2- Les variantes N°2, N° 3, N°4 et N°5 sont peu endommagés par fissurations transverses et la rupture se fait essentiellement par délaminage entre plis.

IV.2.2.4.Essai de compression

IV.2.2.4.1.Préparation des éprouvettes

Nous avons découpé les éprouvettes pour l'essai de compression à l'aide d'une scie à disque diamanté. Les éprouvettes ont des côtés rectilignes, une section transversale rectangulaire et ne présentent pas de talons. Les dimensions des éprouvettes sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau.4.10. Dimensions des éprouvettes selon la norme **ISO 14 126.**

Dimensions (mm)	Eprouvette de type B1
Longueur total	110 ± 1
Largeur	10 ± 0,5
Epaisseur	(2 à 10) ± 0,2

IV.2.2.4.2.Principe de l'essai de compression

Une force axiale est appliquée à la portion non soutenue d'une éprouvette rectangulaire maintenue en place dans un dispositif de mise en charge, avec contrôle de la charge appliquée et de la déformation dans la surface considérée. La charge de compression est appliquée au matériau soit par une charge directe à l'extrémité de l'éprouvette.

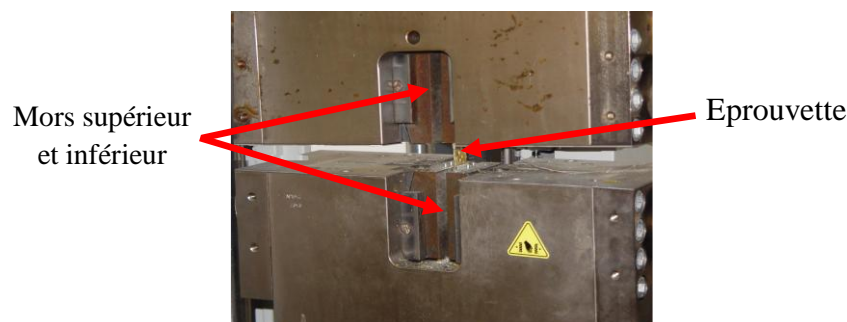


Fig.4.39 : Dispositif de l'essai de compression.

IV.2.2.4.3.Les Résultats expérimentaux pour les différentes variantes

Le module de YOUNG à la compression est calculé selon la norme **ISO 14 126**, avec la formule suivante :

$$E_C = \frac{\sigma_C'' - \sigma_C'}{\varepsilon_C'' - \varepsilon_C'}$$

Ou : E_C : module de YOUNG en compression.

σ_C' : Contrainte en compression à la déformation : $\varepsilon_C' = 0,0005$

σ_C'' : Contrainte en compression à la déformation : $\varepsilon_C'' = 0,0025$

- Les résultats des essais de compression des différentes variantes sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau.4.11. Caractéristiques mécaniques en compression des différentes variantes.

N° de variante	1	2	3	4	5
Contrainte maximale moyenne en « MPa »	189,15	184,22	148,70	157,32	164,18
Déformation moyenne à la contrainte maximale en %	22,46	25,39	28,33	24,24	27,48
Module de YOUNG en « MPa »	800	705	410	600	566

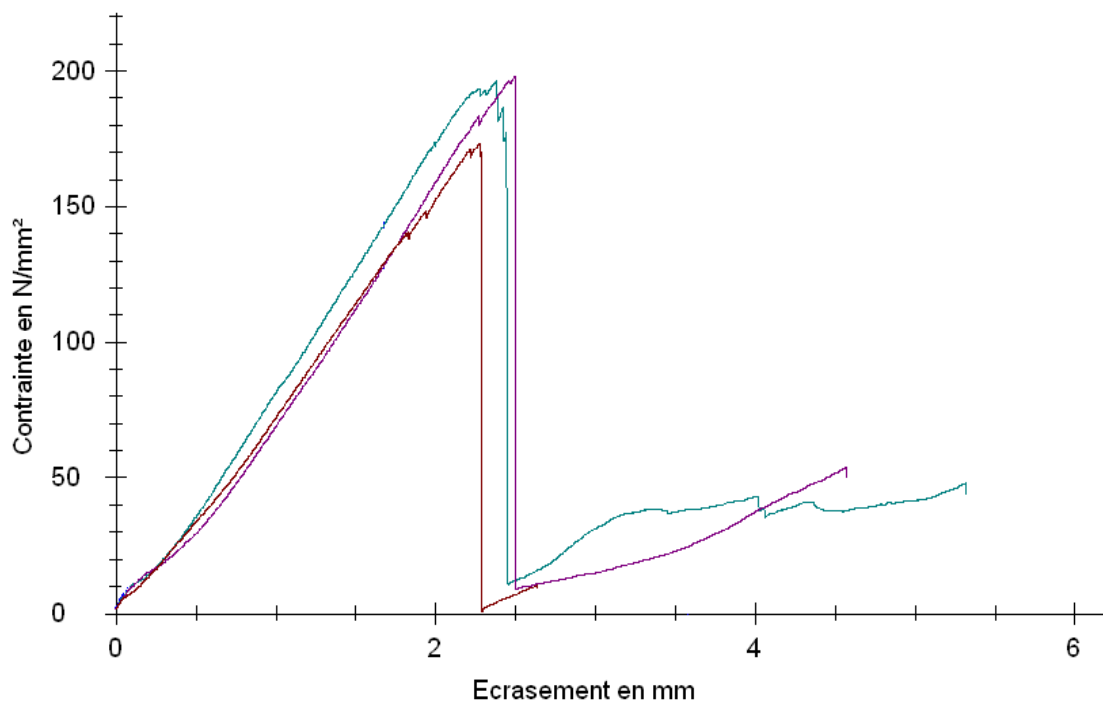


Fig.4.40 : Contrainte de compression en fonction de l'écrasement des éprouvettes de la variante 1.

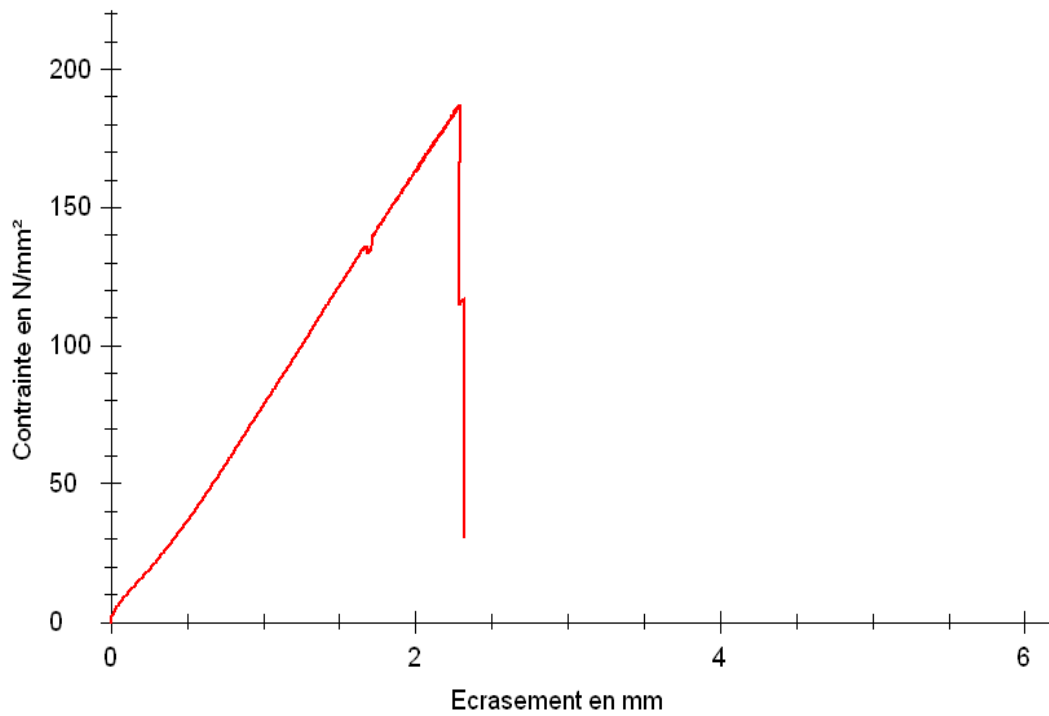


Fig.4.41 : La contrainte moyenne des éprouvettes en fonction de l'écrasement de la variante 1.

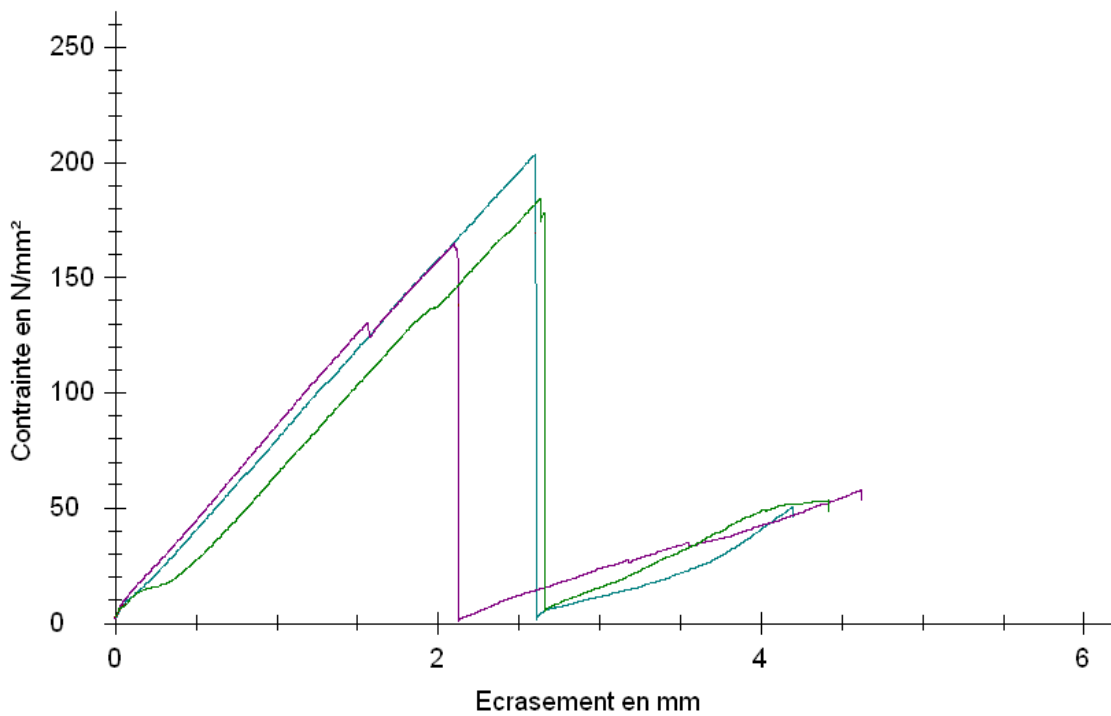


Fig.4.42 : La contrainte en fonction du l'écrasement des éprouvettes de la variante 2.

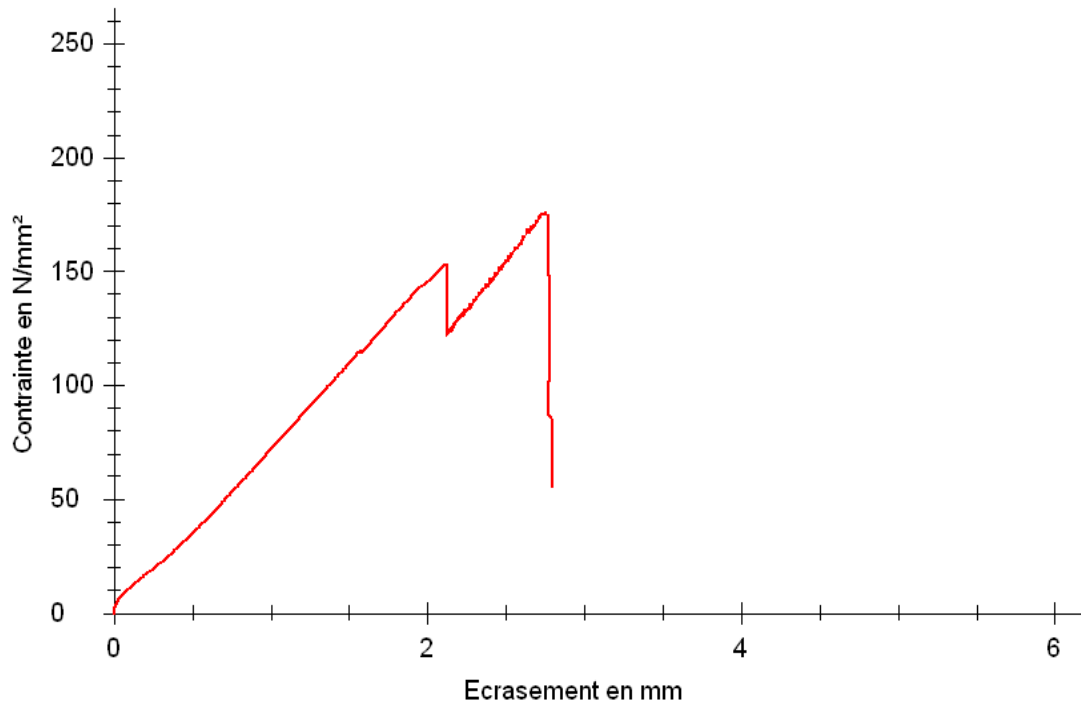


Fig.4.43 : La contrainte moyenne des éprouvettes en fonction de l'écrasement de la variante 2.

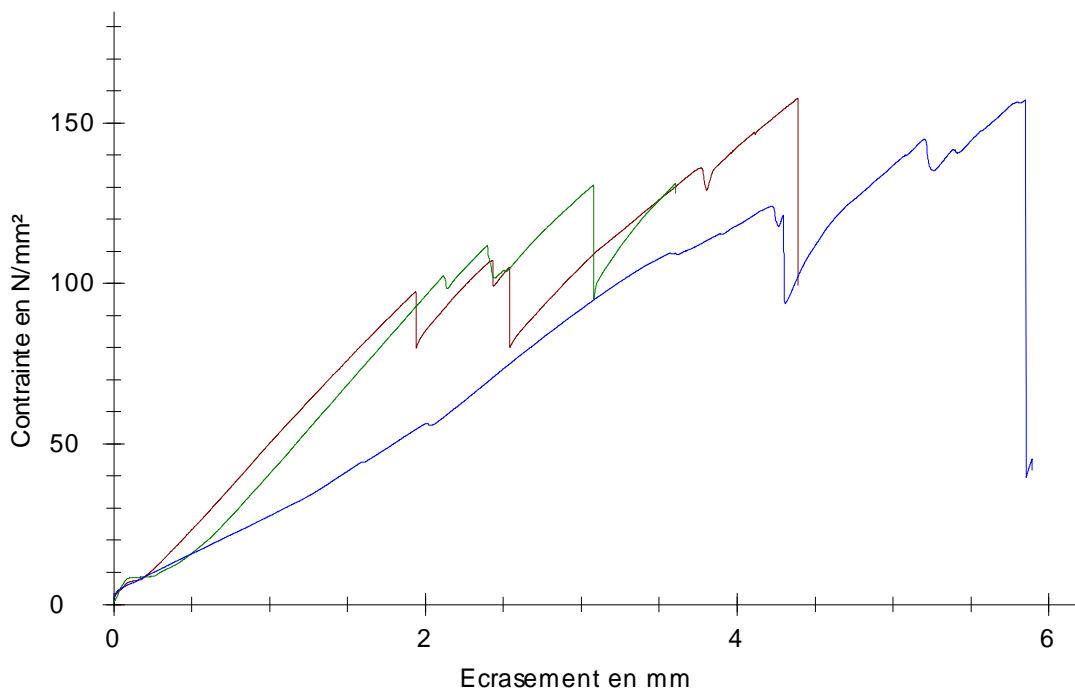


Fig.4.44 : La contrainte en fonction du l'écrasement des éprouvettes de la variante 3.

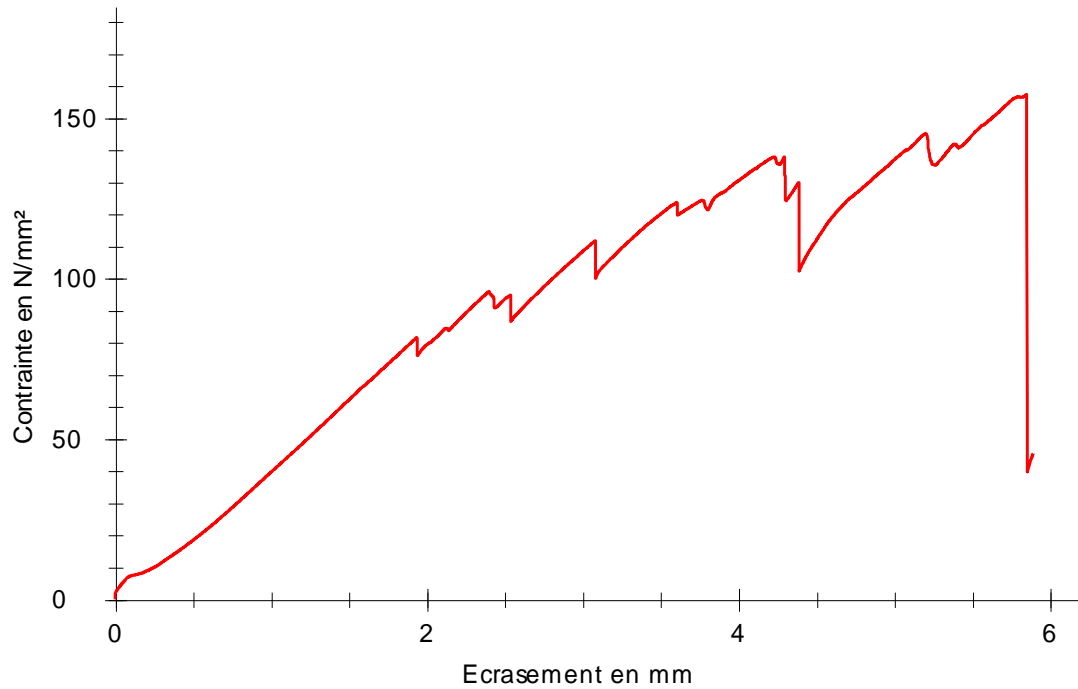


Fig.4.45 : La contrainte moyenne des éprouvettes en fonction de l'écrasement de la variante 3.

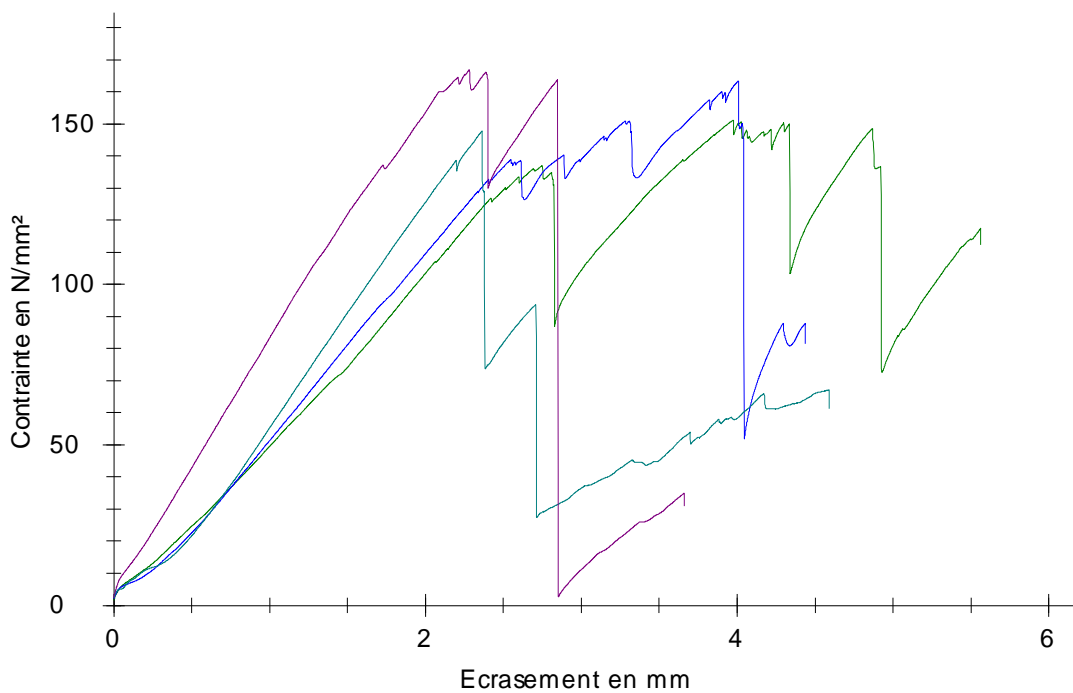


Fig.4.46 : La contrainte en fonction de l'écrasement des éprouvettes de la variante 4.

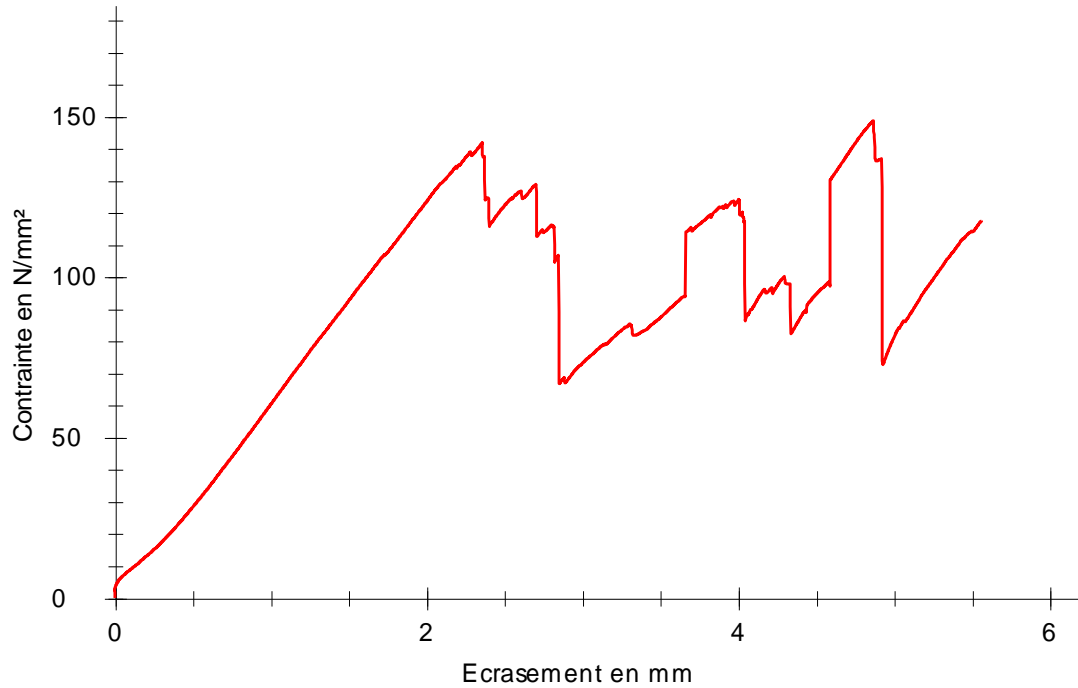


Fig.4.47 : La contrainte moyenne des éprouvettes en fonction de l'écrasement de la variante 4.

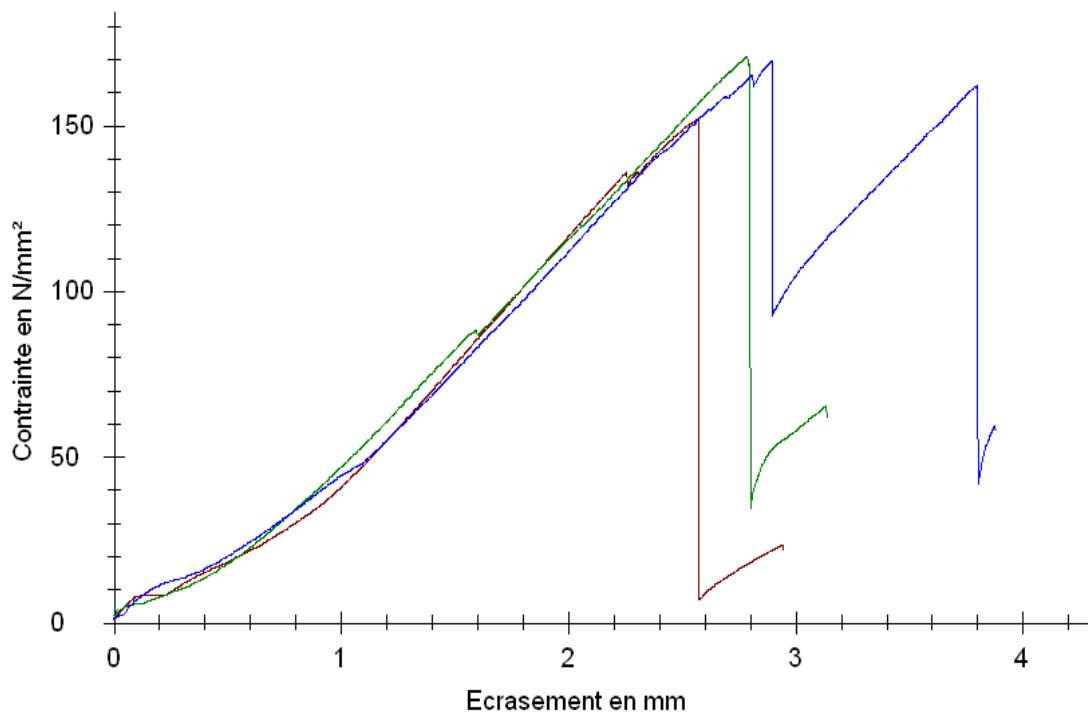


Fig.4.48 : La contrainte en fonction du l'écrasement des éprouvettes de la variante 5.

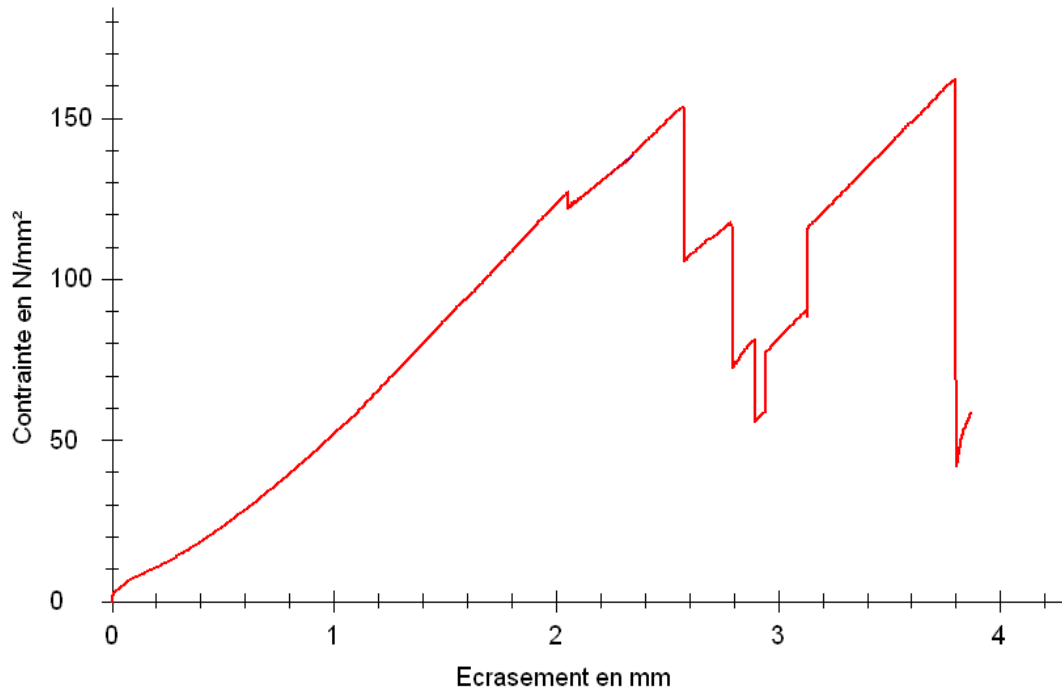


Fig.4.49 : La contrainte moyenne des éprouvettes en fonction de l'écrasement de variante 5.

IV.2.2.4.3. Analyse des résultats

D'après les résultats expérimentaux on remarque que la contrainte en compression est élevée dans les variantes qui contiennent de la fibre de verre de type tissé (N°1, N°2 et N°5) et un peu faible dans le cas des variantes N°3 et N°4 qui se compose respectivement de 100% de fibres de verre mats et de 10 plis mats + 2 plis tissés. Parce que dans le cas de la fibre de verre de type tissé la contrainte en compression est orientée dans la direction des fibres par contre la contrainte est un peu faible dans les variantes renforcé avec du mat parce que les fibres sont orientés dans toutes les directions.

IV.2.2.5. Etude du comportement au choc (Essai de choc Charpy)

Nous avons effectué l'essai du choc Charpy à l'institut algérien de pétrole (IAP), selon la norme ISO 179/1D.

IV.2.2.5.1. Préparation des éprouvettes

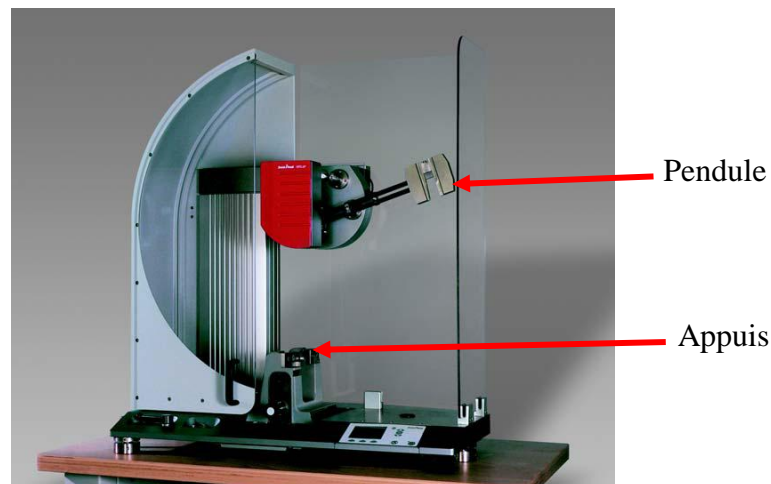
Nous avons découpé les éprouvettes pour l'essai de choc Charpy à l'aide d'une scie à disque diamanté. Les éprouvettes ne présentent pas d'entaille. Les dimensions des éprouvettes sont indiquées dans le tableau suivant :

Tableau.4.12. Dimensions des éprouvettes selon la norme ISO 179/1D.

Dimensions (mm)	Eprouvette de type « 1 »
Longueur total	80 ± 2
Largeur	$10 \pm 0,5$
Epaisseur	$4 \pm 0,2$

IV.2.2.5.2.Principe de l'essai de choc Charpy

L'éprouvette est placée horizontalement devant ses appuis, est cassé par une percussion unique d'un pendule, appliquée à égale distance des appuis. L'énergie du pendule utilisé est de 25 joules.

**Fig.4.50 :** Mouton pendule pour essai Charpy.

IV.2.2.5.3.Les Résultats expérimentaux pour les différentes variantes

Tableau.4.13. Energie de rupture de matériau composite au choc Charpy.

N° de Variante	1	2	3	4	5
Energie de rupture Kj/m^2 moyenne	83,86	84,5	100,73	90,38	93,25

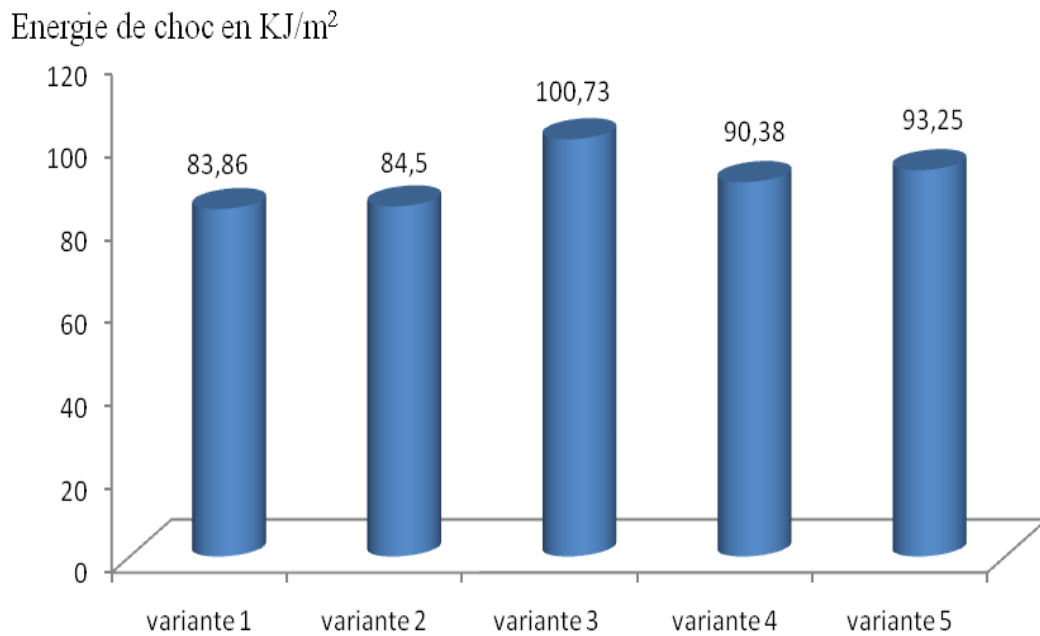


Fig.4.51 : Energie de rupture moyenne des 5 variantes.

IV.2.2.5.4. Analyse des résultats

D'après les résultats expérimentaux nous constatons que l'énergie de rupture absorbée par la variante N°3 renforcé avec de la fibre de verre de type mat (100%) est de l'ordre de 100,73 KJ/m² par contre la variante N°1 qui est renforcé de fibre de verre de type tissé (100%) absorbe une énergie de rupture de 83,86 KJ/m², l'énergie de rupture des autre éprouvettes se situe entre ces deux valeurs. Les stratifiés renforcés avec des fibres de verre de type mat ont une meilleur résistance au choc Charpy que les stratifiés renforcés par des fibres de verre de type tissé.