



**HAL**  
open science

# Utilisation du modèle probabiliste de Weibull à la caractérisation de l'aspect aléatoire de la rupture en traction de panneaux en bois à lamelles orientées OSB.

Bachir Redjel

## ► To cite this version:

Bachir Redjel. Utilisation du modèle probabiliste de Weibull à la caractérisation de l'aspect aléatoire de la rupture en traction de panneaux en bois à lamelles orientées OSB.. CFM 2017 - 23ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2017, Lille, France. <hal-03465465>

**HAL Id: hal-03465465**

**<https://hal.science/hal-03465465v1>**

Submitted on 3 Dec 2021

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.



HAL Authorization

# Utilisation du modèle probabiliste de Weibull à la caractérisation de l'aspect aléatoire de la rupture en traction de panneaux en bois à lamelles orientées

B. REDJEL<sup>a</sup>, A. REMADNIA<sup>b</sup>, M. CHAPLAIN<sup>c</sup>

a. Laboratoire Génie Civil-Université Badji Mokhtar BP 12 - Annaba-23000- Algérie - bredjel@yahoo.fr

b. Laboratoire Génie Civil-Université Badji Mokhtar – BP 12 - Annaba-23000-Algérie- abbesremadnia922@yahoo.fr

c. I2M-GCE- Institut de Mécanique de Bordeaux, Université Bordeaux 1, Talence, France- myriam.chaplain@u-bordeaux.fr

## Résumé :

*L'aspect statistique probabiliste de la rupture de panneaux en bois à lamelles orientées (OSB) est examiné à l'aide d'une analyse des résultats expérimentaux des contraintes ultimes à la rupture mesurées en traction directe sur des éprouvettes prismatiques adaptées au type d'éprouvette standard «Internal Bond IB ». Les valeurs mesurées de ces contraintes se caractérisent par une forte dispersion donnant ainsi à la contrainte moyenne une valeur déterministe. La mesure de la fragilité, la caractérisation du comportement à la rupture en traction de ce matériau fibreux ainsi que l'aspect probabiliste de la ruine sont décrits quantitativement à l'aide du modèle probabiliste de Weibull à deux paramètres. Le module de Weibull mesuré égal à 5,75 est faible traduisant une distribution des défauts très variable d'un échantillon à un autre.*

**Mots clefs : Bois – Contrainte à la rupture- Dispersion - Probabilité de rupture – Weibull.**

## Abstract :

*The statistical probabilistic aspect of the fracture of wooden pannels of oriented strand board ( OSB) is examined through an analysis of the experimental results of the ultimate fracture strengths obtained in direct tension on prismatic specimens adapted to the type of standard test tube "internal bond IB ». The measured values of these strengths are characterized by a significant scatter giving to the average strength a determinist value. The measure of the fragility, the characterization of the fracture behavior in tension of this fibrous material as well as the probabilistic aspect of the ruin are quantitatively described by means of the two parameters probabilistic model of Weibull. The measured Weibull modulus equal to 5,75 is low translating a very variable distribution of the defects from a sample to an other one.*

**Key words : Wood - Fracture strength – Scatter - Probability of fracture – Weibull**

## 1 Introduction

Le bois est considéré comme un matériau composite dans lequel coexistent de nombreux niveaux d'hétérogénéités à plusieurs échelles, pourvu de défauts, distribués et localisés, de taille plus ou moins importante. Ces hétérogénéités se manifestent par des variations spatiales des caractéristiques physiques et mécaniques du matériau [1, 2]. La variabilité de sa réponse mécanique est un fait expérimental connu et acceptée aujourd'hui comme une caractéristique de ce matériau [3]. L'influence de cette variabilité sur la fiabilité des structures impose inévitablement d'en tenir compte dans les calculs du dimensionnement et lors de la conception des pièces réalisées avec ce matériau et il convient d'intégrer ce paramètre lors de l'élaboration de modèles de prédictions du comportement. Ainsi les méthodes statistiques et les modèles probabilistes de plus en plus développés sont utilisés pour analyser des résultats expérimentaux et étudier leur variabilité [4]. Les phénomènes d'endommagement et de ruine dans le bois résultent de micro mécanismes qui se développent sous forme de rupture des fibres et des lamelles, de décohésion dans le plan de collage des lamelles, de dégradation et de cassure dans les liaisons de l'adhésif et de détérioration progressive de la colle. Tous les défauts microstructuraux qui sont à l'origine de l'amorçage des fissures dans le bois sont généralement répartis de manière aléatoire ce qui confère aux phénomènes de rupture le même caractère [4, 5]. Ainsi les valeurs obtenues lors des essais mécaniques effectués sur des matériaux fragiles ne sont pas seulement significatives des propriétés du matériau mais aussi du degré de sévérité du défaut le plus critique présent dans l'échantillon testé. En général, les travaux consacrés à l'endommagement et à la rupture des matériaux composites et hétérogènes négligent ces aspects et adoptent souvent un point de vue déterministe. Contrairement à cette dernière démarche, l'approche probabiliste permet d'estimer l'importance relative des différentes variabilités influant sur la fiabilité [6].

Cette étude se propose d'analyser les résultats de mesure des contraintes ultimes en traction directe obtenus sur des éprouvettes standards découpées sur des panneaux en bois à lamelles orientées (OSB) et d'étudier le phénomène de la dispersion en appliquant le modèle probabiliste à deux paramètres de Weibull.

## 2 Modèle Probabiliste de Weibull

Selon cette théorie, la probabilité de rupture  $P_f$  d'un matériau de volume  $V$  soumis à une distribution uniforme de contrainte  $\sigma$  de traction est donnée par l'équation [7, 8]:

$$P_f = 1 - \exp \left\{ -V \left[ \frac{\sigma - \sigma_u}{\sigma_0} \right]^m \right\} \dots\dots\dots(1)$$

$\sigma_0$  : facteur de normalisation sans signification physique.

$\sigma_u$  : contrainte seuil au dessous de laquelle la probabilité de rupture est nulle. En général elle est prise égale à 0 afin d'avoir une définition plus consistante du module de Weibull.

$m$  : facteur décrivant à la fois l'inhomogénéité des tailles des défauts et le degré de dispersion appelé «module de Weibull».

La solution passe par l'affectation à un niveau de contraintes classées par ordre croissant de 1 à  $N$  au rang  $i$  d'une probabilité de rupture  $P_f$  fonction de ce rang grâce à l'estimateur donné par l'expression suivante :

$$P_f = i / (N+1) \dots\dots\dots(2)$$

La linéarisation de l'équation (1) de la probabilité de rupture permet de déterminer le paramètre de Weibull en écrivant :

$$\ln \{ \ln [1 / (1 - P_f)] \} = m \cdot \ln \sigma - m \cdot \ln \sigma_0 + \ln V \dots\dots\dots(3)$$

La représentation graphique de  $\ln \{ \ln [1 / (1 - P_f)] \}$  en fonction de  $\ln \sigma$  est une droite de pente  $m$ .

### 3 Méthodologie expérimentale

Les panneaux employés dans cette étude sont de type OSB3, de masse volumique variant entre 600 et 680 Kg/m<sup>3</sup>, de 10 mm d'épaisseur couramment utilisés en construction et composés de lamelles minces de 0,3 à 0,5 mm d'épaisseur et de 8 cm de longueur orientées de résineux provenant de bois d'éclaircies encollées par un liant organique suivant trois couches croisées. La fabrication est réalisée à partir d'un matelas de petits copeaux de bois rectangulaires compressés et encollés avec de la cire et de la résine (95% de bous et 5% de cire et de la résine). Les éprouvettes ont été découpées et taillées à l'aide d'une scie spéciale à partir de grandes plaques rectangulaires d'OSB. Les surfaces latérales ont été rectifiées et polies à l'aide d'une rectifieuse spéciale afin d'éliminer toutes amorces de fissures qui peuvent se créer lors de l'usinage des échantillons. Ces éprouvettes sont de forme prismatique de longueur 150 mm, de largeur 15 mm et de 10 mm d'épaisseur adaptées au type d'éprouvette standard (Internal Bond) IB selon la norme ISO 524-4 et 5 [9] et conformes aussi aux documents normatifs relatifs aux essais de traction spécifiques aux matériaux composites à renforts fibreux (Norme ASTM D5083 ou NF T57-101 Juin 1977) [10, 11]. La figure 1 illustre un exemple. Les échantillons conditionnés à la température ambiante ont été disposés au niveau des locaux du laboratoire sans aucun traitement particulier. Le taux d'humidité moyen varie entre 9% et 11%.



Figure 1 : géométrie de l'éprouvette utilisée

Les essais ont été menés en traction monotone directe sur une machine universelle de type Zwick/Roell Z 020 d'une capacité de 20 KN équipée d'un système d'acquisition automatique des données au cours du chargement et piloté par un logiciel test-expert (Fig. 2). La vitesse de déplacement de la traverse a été fixée à 5 mm/mn. Tous les essais ont été conduits jusqu'à la ruine totale des échantillons.



Figure 2 : Dispositif de traction directe

Le dispositif d'essai consiste à placer l'éprouvette entre les deux mors de la machine en s'assurant du bon alignement de l'axe longitudinal des éprouvettes avec l'axe de la machine et en évitant l'apparition de tout moment de flexion parasite. Lors de la mise sous contrainte le mors inférieur reste fixe durant le déplacement vertical du mors supérieur (Fig.2).

La résistance à la traction  $\sigma$  est calculée par la formule classique de la résistance des matériaux, à savoir  $\sigma = F/S$ . F et S représentent respectivement l'effort enregistré au moment de la rupture et la section transversale de l'éprouvette.

## 4 Résultats et discussions

### 4.1 Courbe charge-déplacement

La figure 3 montre un exemple de courbe charge-déplacement enregistrée au cours de l'essai de traction directe avec une phase quasi linéaire sur une grande partie de l'essai traduisant la réponse élastique du bois suivie d'une très faible partie déviant légèrement de la linéarité caractérisant le développement et l'accroissement de l'endommagement progressif qui s'opère au sein du matériau avant la rupture finale. Il est difficile de localiser avec précision ce point de transition qui dépend de la nature de chaque éprouvette et qui est annonciateur des premiers signes de dommage, ni de quantifier le niveau de contrainte au moment de son apparition.

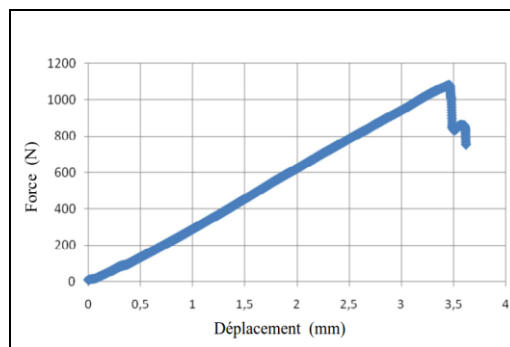


Figure 3 : Exemple de courbe charge – déplacement en traction directe

Cet endommagement se produit et se développe sous forme de rupture des fibres et des lamelles, de décohésion dans le plan de collage des lamelles, de dégradation et de cassure dans les liaisons de l'adhésif, de détérioration progressive de la colle. La figure 4 illustre ces phénomènes.



Figure 4: Mécanismes de dégradation (délaminage longitudinal)

Tous ces phénomènes conjugués et combinés interagissent ensemble et s'accroissent avec l'augmentation de la charge pour provoquer à la fin la ruine du panneau. Le mécanisme de dégradation dominant reste le délaminage longitudinal et la décohésion des lamelles. La rupture dans ce type de sollicitation est franche et se produit en général dans la partie centrale calibrée de l'éprouvette.

## 4.2 Valeurs mesurées des contraintes

Le tableau 1 regroupe la valeur moyenne de la résistance à la traction ainsi que les paramètres de mesure de la dispersion. Les valeurs mesurées des résistances à la traction se caractérisent par une dispersion élevée au sein de toute la série.

Tableau 1 : Valeur moyenne de la contrainte de traction  $\sigma$  et les paramètres de dispersion.

Nombre d'éprouvettes	34
Moyenne arithmétique $\sigma$ (MPa)	6,5
Ecart-type ET (MPa)	1,3
Coefficient de variation CV (%)	20%

Cette dispersion est couramment observée sur les propriétés mécaniques des matériaux hétérogènes et notamment les composites fibreux comme le bois et ses dérivés [12,13]. Elle est due en partie aux irrégularités des fibres à l'intérieur de l'OSB ainsi qu'à des différences d'état contrôlées par le taux, l'orientation, la longueur et la densité spatiale des lamelles qui sont rarement comparables d'une éprouvette à l'autre. Elle peut aussi être attribuée à une présence de micro défauts de différentes dimensions aléatoirement distribués au sein de la structure de l'OSB. Ainsi la rupture peut être amorcée à différents niveaux de contrainte selon l'orientation, la localisation, les dimensions et le degré de sévérité des microporosités et des discontinuités engendrées par des gonflements partiels et selon le degré de faiblesse de l'interface fibre-colle ainsi que des bouts de fibres.

Il faut signaler que dans le cas de l'OSB, la fissuration une fois initiée au niveau du défaut le plus critique se propage de façon instable et catastrophique jusqu'à la ruine de l'échantillon. Ainsi les valeurs obtenues lors des expérimentations réalisées ne sont pas seulement significatives des propriétés du matériau mais aussi du degré de sévérité du défaut le plus critique présent dans l'échantillon testé.

La contrainte à la rupture moyenne de ces panneaux en bois à lamelles orientées (OSB) utilisée dans les calculs de dimensionnement et de modélisation reste une valeur déterministe qui ne peut constituer une donnée suffisante pour décrire de façon fiable leurs caractéristiques à la rupture. C'est ce qui justifie alors la nécessité d'utiliser des approches statistiques probabilistes de la rupture basées sur la notion de probabilité de rupture acceptable.

## 4.3 Application du modèle de Weibull

L'application du modèle probabiliste à deux paramètres de Weibull au cas de l'OSB de cette étude est traduite par la figure 5 qui montre la probabilité de rupture pour chaque niveau de contrainte atteint dans les essais de traction directe en fonction de la contrainte ultime appliquée.

Comme il apparaît sur cette figure, la courbe représentative est une sigmoïde traduisant les distributions de Weibull des contraintes à la rupture mesurées en traction.

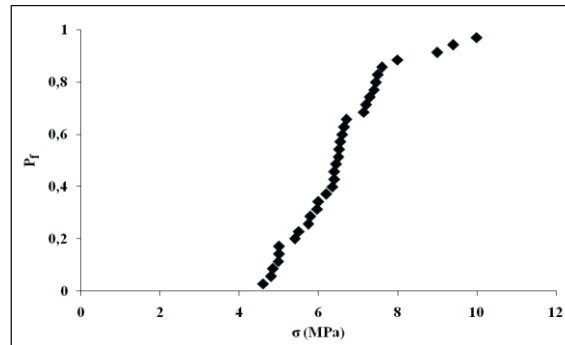


Figure 5 : Probabilité de rupture pour chaque niveau de contrainte

La représentation graphique de l'équation de probabilité linéaire pour la détermination du module de Weibull et de la contrainte de normalisation est illustrée par la figure 6. Il existe une dispersion des points expérimentaux autour de la droite de régression linéaire de l'équation de probabilité.

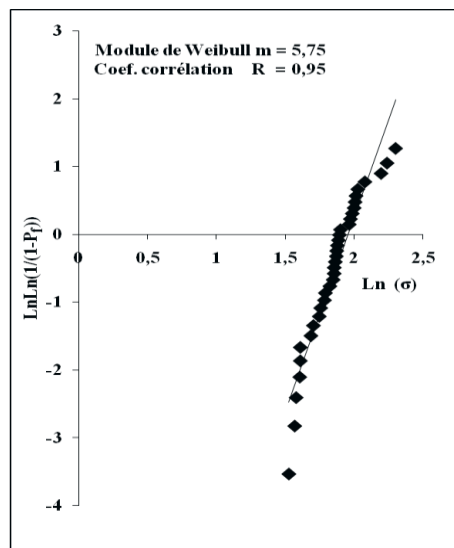


Figure 6 : Représentation graphique de l'équation de probabilité linéaire

Ces écarts des positions des points par rapport à la droite peuvent être dus à l'existence de plusieurs types de défauts révélée par les observations microscopiques et conduisant probablement à plusieurs distributions qui déterminent le comportement de ces matériaux. De nombreuses variables, autre que la taille des défauts qui affecte la résistance de ces matériaux, qui apparaissent et qui se développent durant le processus de rupture comme la densité des pores et des microfissures, leur croissance lente au cours du chargement, les bifurcations des chemins de fissuration au croisement de certains défauts et de certains obstacles et leur contournement, les origines multiples des initiateurs de rupture dans ces matériaux ainsi que les différents modes de ruine accentuent les phénomènes de dispersion autour de la droite de régression linéaire. D'autre part, il est important de signaler que tous ces défauts peuvent aussi ne pas appartenir à la même famille statistique et un mélange de deux ou plusieurs familles statistiques influence forcément les valeurs estimées du module de Weibull comme c'est le cas dans les matériaux granulaires. Les éprouvettes qui se caractérisent surtout par une différence d'état, une variabilité dans leur géométrie due aux méthodes de fabrication et une différence dans leur

poids et leur densité sont ainsi nominalement non identiques et par conséquent peuvent aussi appartenir à des populations statistiquement non comparables.

La valeur du module de Weibull égale à 5,75 est faible traduisant la distribution des défauts très variable d'un échantillon à un autre engendrant la forte dispersion relevée sur les mesures expérimentales des contraintes à la rupture en traction de l'OSB.

Il est à signaler que le module de Weibull est un indicateur de la dispersion. Plus il est faible, plus cette dispersion est importante. Pour les faibles valeurs du module de Weibull (en général pour  $m < 20$ ) la distribution des défauts est très variable d'un échantillon à un autre d'où la dispersion des contraintes de rupture. Diverses études concernant les matériaux composites à fibres orientées au hasard, indiquent que plus le module de Weibull est faible, plus la dispersion sur les contraintes à rupture est grande [14-15-16-17-18-19-20]. Les observations et constats rapportées par J. Lamon et N. Godin [4] sur l'étude de l'endommagement et de la rupture de matériaux composites à matrice céramique montrent que lorsque la dispersion est très faible, tous les défauts microstructuraux possèdent la même sévérité. Toutes les fissures se forment alors pour la même force. Cependant, la sévérité des défauts devient différente lorsque la dispersion est significative et les forces nécessaires pour amorcer les fissures successives sont d'autant plus élevées que les défauts sont peu sévères et moins accentués.

Il est intéressant de noter que de nombreuses recherches ont tentées de corréler le module de Weibull aux paramètres de mesure de la dispersion observée sur les contraintes à la rupture et notamment au coefficient de variation. C. Zweben [18] relie le module de Weibull  $m$  au coefficient de variation  $c$  des contraintes à la rupture en traction des matériaux composites par la relation suivante :  $m = 1,2.c^{-1}$ . R.C. Wetherhold [21] rapporte que les matériaux composites contenant une modeste concentration de fibres montrent une variabilité significative des contraintes à la rupture caractérisée par des valeurs de  $m$  comprises entre 12,9 et 16,6. J. Margetson & B.E. Brokenbrow [22] relie de façon inverse le module de Weibull  $m$  et le coefficient de variation  $c$  des contraintes à la rupture en traction des matériaux composites et proposent la relation empirique suivante :  $m = (1,27 - 0,56.c).c^{-1}$ .

Le tableau 4 rassemble la valeur du module de Weibull  $m$  mesurée expérimentalement et celles calculées à partir des relations empiriques citées précédemment.

Tableau 4: Valeurs expérimentale et calculées du module de Weibull

$\sigma$ [ MPa ]	6,5
m exp.	5,75
m (Zweben)	6
m (Margetson & Brokenbrow)	5,79
Wetherhold	12,9 – 16,6

La valeur expérimentale de  $m$  mesurée dans le cas des panneaux en bois OSB est inférieure aux valeurs calculées par les différents modèles. Cependant, comme il apparaît sur le tableau 4, la relation de Margetson et Brokenbrow ainsi que celle de C. Zweben aboutissent à des valeurs calculées de  $m$  relativement comparable à celle mesurée expérimentalement. Il est à indiquer que le modèle de Wetherhold surestime la valeur du module de Weibull. Ce modèle

ainsi que celui proposé par L.J. Broutman & R.H. Krock [31] pour les matériaux composites à base de ciment renforcé de fibres de verre reposent sur l'hypothèse d'une dispersion se situant à 10%.

Ces différences s'expliquent surtout par le degré élevé de la dispersion relevé sur les valeurs mesurées des contraintes à la rupture en traction des panneaux en OSB étudiés. Cette dispersion dont les origines sont complexes et multiples est la conséquence aussi de la présence de défauts surfaciques sur la peau des éprouvettes et de défauts volumiques au cœur de ces dernières. Ces défauts et ces discontinuités qui sont de différentes formes, tailles, orientations et sévérités appartiennent à des populations statistiques non comparables. Par conséquent tous ces paramètres conjugués à d'autres inhérents au caractère hétérogène et complexe des panneaux en bois à lamelles fibreuses et orientées ne peuvent rendre compte d'une bonne application des corrélations appliquées.

## 4 Conclusion

Un degré élevé de la dispersion est relevé sur les valeurs des contraintes à la rupture mesurées en traction directe sur des éprouvettes de panneaux en bois à lamelles orientées (OSB). Cette dispersion couramment observée sur ces matériaux hétérogènes et fibreux est acceptée aujourd'hui comme une de leur caractéristique spécifique et est la conséquence de la présence de défauts d'origines multiples répartis au sein des surfaces et du volume des échantillons. Ces défauts de différentes formes, tailles, orientations et sévérités peuvent appartenir à des populations statistiques non comparables.

Malgré la forte dispersion observée sur les valeurs mesurées des contraintes à la rupture en traction de l'OSB, le modèle statistique de Weibull à deux paramètres est d'application satisfaisante et semble ainsi être adapté à la description de l'aspect probabiliste du comportement à la ruine de ce matériau hétérogène et fibreux.

Cependant, cette forme bi paramétrique du modèle de Weibull est appelée à être remplacée par celle à trois paramètres plus précise et certainement plus fiable dans la description probabiliste des phénomènes de ruine des matériaux composites fibreux comme le bois ce qui nécessite de faire intervenir la notion de contrainte seuil «  $\sigma_u$  ».

## Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble des personnels technique, administratif, et enseignants chercheurs de l'unité sciences du bois et des biopolymères USB2, rebaptisée GCE/I2M de l'Université Bordeaux 1 (France) pour leur implication, leur collaboration fructueuse et notamment pour la préparation, l'emballage et l'envoi des plaques en OSB. Les essais ont été effectués au sein de l'équipe Mécanique des Matériaux du Laboratoire de Génie Civil de l'Université Badji Mokhtar Annaba (Algérie), dans le cadre d'un accord de coopération scientifique entre les deux institutions.

## Références (16 gras)

[1] P. Castéra, D. Breysse, Mise en œuvre d'approches probabilistes pour décrire l'endommagement et la rupture de bois reconstitués, *Revue des composites et des matériaux avancés*, V. 8, numéro hors série/1998, Hermes, (1998) 137-152.

- [2] I. Aydin, G. Colakoglu, S. Colak, C. Demirkir, Effects of moisture content on formaldehyde emission and mechanical properties of plywood, *Building and Environment* 41 (2006) 1311–1316
- [3] B. Redjel, A. Remadnia & M. Chaplain, Endommagement et comportement à la rupture au cisaillement de voile de panneaux en bois à lamelles orientées (OSB) sous différents environnements in *Proceeding du 21<sup>ème</sup> Congrès Français de Mécanique CFM'13 Bordeaux 26 au 30 août 2013 France*.
- [4] J. Lamon & N. Godin, Approche statistique-probabiliste de l'endommagement et de la rupture des composites à matrice céramique», *Revue des composites et des matériaux avancés*, V. 8, numéro hors série/1998, Hermes, (1998) 23-50.
- [5] P. Castéra, D. Breysse, Mise en œuvre d'approches probabilistes pour décrire l'endommagement et la rupture de bois reconstitués, *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, Vol. 8, Numéro hors série/1998, Hermes, (1998) 137-152.
- [6] F. Richard, J. Rousseau, L. Ferry & D. Perreux, Optimisation du dimensionnement d'une structure composite : prise en compte du risque de défaillance, *Revue des composites et des matériaux avancés*, V. 8, numéro hors série/1998, Hermes, (1998) 167-188.
- [7] W. Weibull, A statistical distribution function of wide applicability, *J. Applied Mechanics*, Vol. 18, 1951.
- [8] S. Achouri, B. Redjel, Etude expérimentale et analyse probabiliste du comportement à la rupture en traction de matériaux composites verre-perlon-acrylique à usage orthopédique, *Synthèse, Revue des sciences et de la technologie*, éditée par l'Université Badji Mokhtar d'Annaba Algérie, N° 29, Octobre (2014), 59-76.
- [9] Krawczak P., Essais des plastiques renforcés, *Techniques de l'Ingénieur, traité plastiques et composites*, AM5 405, p.8, 26 pages, Doc. 1-10.
- [10] D 5083-02, Tensile properties of reinforced thermosetting plastics using straight-sided specimens ASTM international-West Coughocoken, PA.
- [11] L.C. Bank, *Composites for constructions: structural design with FRP materials* Hoboken, N.J. : John Wiley and Sons, (2006).
- [12] A. Remadnia, B. Redjel & M. Chaplain "Influence of the environmental effect on the rolling shear behavior of wooden panels of oriented strand boards (OSB)", first international conference on innovative materials and techniques CIMT 2012, November 12-15, 2012 Hammamet (Tunisia).
- [13] A. Remadnia, B. Redjel, M. Chapelain, Comportement expérimental aux cisaillements roulant et de voile de panneaux en bois à lamelles orientées (OSB) conditionnés sous différents environnements, *Synthèse, Revue des sciences et de la technologie*, éditée par l'Université Badji Mokhtar d'Annaba, Algérie, N° 33, Octobre (2016) 135-152.
- [14] B. Redjel, F.X. de Charentenay, Application des statistiques de Weibull à la caractérisation des résines phénoliques et des matériaux composites SMC», *Materiaux et Techniques*, N° 10 -11, Juillet-Aout, (1987) 421-424.
- [15] M. R'mili, T. Bouchaour, P. Merle, Détermination des paramètres de Weibull à partir d'essais sur monomèches, *Comptes Rendus de JNC 9, Volume 2*, publiés par J.P. Favre et A. Vautrin, Saint-Etienne 22-24 Novembre 1994, pp. 1013-1018.
- [16] J.J. Reymann, Caractérisation de céramiques destinées aux sollicitations dynamiques, *Matériaux & Techniques*, Avril-Mai (1985) 133-140.
- [17] B. Tolba, P. Becker, G. Pluinage, Ténacité en dynamique d'une alumine, *Annales de Chimie, France*, 10, (1985) 331-334.
- [18] C. Zweben, The effect of stress nonuniformity and size on the strength of composite materials, *Composite Technology Review*, Vol. 3, (1981) 23-26.

- [19] J.J. Broutman, R.H. Krock, Modern composite materials, Addison-Wesley Publishing Co., Menlo Park, California, USA, (1967) p.52.
- [20] B. Redjel, D. Djeghader, Application du modèle de Weibull à la caractérisation de l'aspect probabiliste de la rupture en choc des matériaux composites, 1<sup>ère</sup> Conférence internationale sur les mines et la métallurgie CI2M'10, Annaba 10-12 Mai 2010.
- [21] R.C. Wetherhold, Statistical distribution of strength of fiber reinforced composite materials, Polymer Composites, Vol. 7, N° 2, (1986) 116-123.
- [22] J. Margetson, B.E. Brokenbrow, Brittle tensile failure characteristics of propellants derived from flexural tests, Propellants and explosives, 5, (1980) 151-157.