



HAL
open science

**Détermination à l'aide d'un essai de flexion de la
résistance à la rupture en tension de renforts
filamentaires fragiles = Determination of brittle filament
tensile strength through a bending test**

Corine Arvieu, Eric Lacoste, D. Spataro, Jean-Michel Quenisset

► **To cite this version:**

Corine Arvieu, Eric Lacoste, D. Spataro, Jean-Michel Quenisset. Détermination à l'aide d'un essai de flexion de la résistance à la rupture en tension de renforts filamentaires fragiles = Determination of brittle filament tensile strength through a bending test. JNC 16, Jun 2009, Toulouse, France. 10 p. hal-00388234

HAL Id: hal-00388234

<https://hal.science/hal-00388234>

Submitted on 11 Jun 2009

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.

Détermination à l'aide d'un essai de flexion de la résistance à la rupture en tension de renforts filamenteux fragiles

Determination of brittle filament tensile strength through a bending test

C. Arvieu¹², E. Lacoste¹, D. Spataro¹ et J-M. Quenisset¹²

1 : Laboratoire de Génie Mécanique et Matériaux de l'IUT,
Université Bordeaux 1 – F – 33405 TALENCE CEDEX
e-mail : corinne.arvieu@iut.u-bordeaux1.fr, eric.lacoste@iut.u-bordeaux1.fr

2 : Institut de Chimie de la Matière Condensée du CNRS,
Université Bordeaux 1 – F - 33608 PESSAC CEDEX
e-mail : quenisset@icmcb-bordeaux.cnrs.fr

Résumé

Les nombreux essais de traction nécessaires à l'application de l'approche statistique de Weibull à la détermination des résistances à la rupture de filaments fragiles, sont mal adaptés à des essais de réception en milieu industriel. En visant une plus grande simplicité de mise en œuvre de tels essais, une méthode et un dispositif expérimental sont proposés pour accéder beaucoup plus rapidement à la résistance à la rupture en traction de filaments céramiques de diamètres voisins de 100 à 150 μm . Le principe de la méthode de caractérisation proposée s'appuie sur des essais de flexion au cours desquels les filaments sont soumis à des courbures bien définies engendrant des ruptures plus ou moins fréquentes des filaments. L'approche statistique de ces ruptures obtenues pour plusieurs courbures, permet de déduire à partir des longueurs des filaments rompus, les résistances à la rupture en traction et le module de Weibull des filaments.

Abstract

The numerous tensile tests required for applying the Weibull statistical approach at the determination of brittle filaments fracture strength, are unsuitable for acceptance testing in industrial context. Aiming at greater simplicity for performing such tests, a method and an experimental device have been proposed to obtain much quickly tensile fracture strength of filaments about 100-150 μm in diameter. The principle of the proposed characterisation method is based on bending tests during which, filaments undergo well defined curvatures inducing more or less frequent fractures. The statistical approach of these fractures obtained for various curvatures, enables filament tensile fracture strength and Weibull modulus to be deduced from filament fracture lengths.

Mots Clés : caractérisation mécanique, résistance de filaments, statistique de Weibull, essai de flexion, renfort de composite.

Keywords : mechanical testing, filament fracture strength, Weibull statistic, bending test, composite reinforcement.

1. Introduction

L'utilisation de renforts filamenteux en céramique dans certains matériaux composites tels que les composites à matrice de titane susceptibles d'être utilisés par les motoristes en aéronautique, requiert une aptitude à la caractérisation mécanique de ces filaments en milieu industriel. Non seulement la détermination des performances mécaniques des filaments est nécessaire à la prédiction des propriétés des composites qu'il renforce, mais la connaissance des probabilités de survie des filaments suivant leur longueur permet d'évaluer des risques de rupture et par conséquent des coûts relatifs à diverses étapes d'opérations de mise en œuvre des composites telles que l'enduction à grande vitesse de filaments céramique par du titane liquide, le revêtement de filaments par du carbure TiC ou le bobinage de pièces de révolution [1-2].

Généralement, la caractérisation à la rupture des renforts filiformes fragiles est effectuée en laboratoire à l'aide de nombreux essais de traction (au moins une trentaine) permettant l'évaluation d'une résistance à la rupture moyenne complétée du module de Weibull représentatif de la sensibilité du renfort fragile aux défauts de surface ou/et de volume [3-5].

La mise en œuvre de ces essais de traction étant quelque peu délicate et consommatrice de temps, une méthode originale de caractérisation à la rupture des filaments est proposée sur la base d'une adaptation à des essais de flexion de l'approche de Weibull le plus souvent utilisée pour des essais de traction.

Suite à un rappel des conditions d'utilisation de l'approche statistique de Weibull pour des essais de traction, la présente contribution se propose de définir des conditions d'essais suivant lesquelles les filaments sont rompus en flexion. L'exploitation à l'aide d'une variante de l'approche de Weibull, des résultats obtenus en termes de longueurs de filaments non rompus, constitue le cœur de cette contribution et permet d'accéder à partir d'essais de flexion, aux caractéristiques qui seraient obtenues à partir d'essais de traction.

Une fois présentée, la méthode proposée est mise en œuvre à l'aide d'un montage expérimental illustrant quelle peut être la simplicité d'un essai de réception de filaments en milieu industriel pour peu que les filaments testés ne soient pas complètement inconnus.

La méthode est ensuite appliquée à deux types de filaments de SiC revêtus de carbone pyrolytique et obtenus par dépôts chimiques en phase vapeur (CVD). Une discussion des résultats et exploitation des essais permet finalement de cerner les limites de la méthode.

2. Adaptation de l'approche de Weibull à des essais de flexion

2.1 Insensibilité de l'approche en traction à la localisation des défauts

Selon la nature des filaments fragiles considérés, leur rupture peut résulter de l'activation de défauts de surface ou de volume. La prédominance de l'origine surfacique des défauts justifie l'utilisation de revêtements protecteurs tels que des couches de carbone pyrolytique pour des filaments céramique en carbure de silicium par exemple. Il résulte de la présence de ces couches à la fois cicatrisantes pour les défauts préexistants et déviateurs pour la propagation de nouveaux défauts surfaciques, que la localisation en surface ou en volume des défauts critiques à l'origine des ruptures est difficile.

Les essais de traction sur filament permettent d'ignorer cet aspect relatif à la distribution des défauts dans les filaments puisque la sollicitation est quasi uniforme dans leur section droite. Ainsi, si la rupture des filaments satisfait les hypothèses de l'approche de Weibull, la probabilité de survie P_{S_i} du filament peut s'exprimer simplement en fonction de la contrainte de traction σ_i et de la longueur sollicitée L , à l'aide de la relation suivante :

$$P_{S_i} = \exp\left\{-\left[\frac{\sigma_i}{\sigma_0}\right]^m \frac{L}{L_0}\right\} \quad (\text{eq.1})$$

où σ_0 et L_0 sont respectivement des valeurs de référence de la contrainte de tension et de la longueur de filament en considérant que pour une très grande longueur de filament, sa survie ne peut être assurée que pour une tension nulle dans le filament ; m étant le module de Weibull du multimatériau céramique du filament.

Pour une série de N essais de traction effectués sur une même longueur de filament, la probabilité de survie correspondant à la contrainte de traction σ_i ayant provoqué la rupture, peut être définie par le rapport :

$$P_{S_i} = \frac{n+0,5}{N} \quad (\text{eq.2})$$

où n est le nombre de filaments de la série, ayant survécu à l'application de la contrainte σ_i .

Les résultats exploités à l'aide de la relation 2 peuvent alors être représentés à l'aide de la relation 1 en

reportant $\ln\ln\left(\frac{1}{P_{S_i}}\right)$ en fonction de $\ln\sigma_i$, ainsi que l'illustre la figure 1 pour des filaments de SCS6. Cette

représentation permet, si la distribution des résultats est linéaire, de justifier l'utilisation de l'approche de Weibull et de crédibiliser la valeur du module de Weibull en tant que caractéristique représentative de la sensibilité des filaments à leurs défauts.

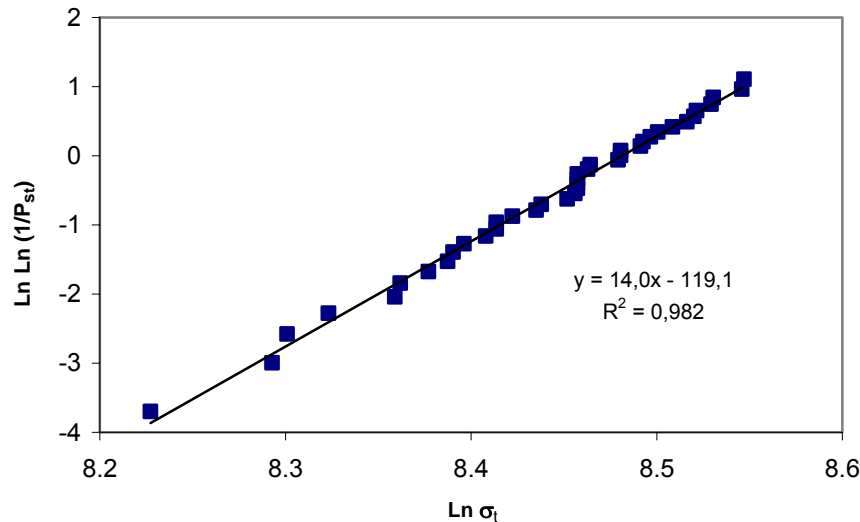


Fig. 1. Représentation des probabilités de survie en traction de filaments de SiC_{CVD} en fonction des contraintes de traction

Il convient de noter que les résultats obtenus divergent souvent notablement de la représentation de Weibull pour les valeurs les plus élevées et les plus faibles des contraintes de traction. On peut ainsi douter de l'extrapolation des résultats des essais de traction effectués sur de faibles longueurs de filament (25 à 100 mm), à l'évaluation de la probabilité de survie de grandes longueurs de filament (plusieurs dizaines et même centaines de mètres).

2.2 Prise en compte de la localisation des défauts pour l'exploitation d'essais de flexion

Lorsque des filaments fragiles sont testés en flexion la courbure qui leur est imposée engendre dans la section droite des filaments des contraintes normales σ_f non uniformes. Dans une demi section la compression tend à refermer les micro défauts qui s'y trouvent localisés, alors que dans l'autre demi section la tension tend à activer la propagation des défauts présents, de manière d'autant plus intense que la distance y qui les situe par rapport à l'axe de flexion est grande. Si ρ est le rayon de la courbure imposée au filament et E le module d'Young de la céramique du filament, on a alors la relation :

$$\sigma_f = E \cdot \frac{y}{\rho} \quad (\text{eq.3})$$

Ainsi la probabilité de présence d'un défaut critique à l'endroit où la contrainte de flexion est maximale (σ_{fM}) est très faible comparativement à ce qu'elle est dans l'ensemble de la section droite. La probabilité de survie d'un filament sollicité en flexion est donc beaucoup plus grande pour la contrainte maximale de flexion que pour la même valeur en traction.

De plus, la distribution des défauts dans les filaments peut ne pas être homogène et faire apparaître une beaucoup plus grande probabilité de présence de défauts en surface des filaments, de sorte que le risque de rupture des filaments peut combiner les risques de rupture de l'ensemble des volumes élémentaires constituant les filaments ou de l'ensemble des éléments de surface des filaments.

Il résulte des considérations précédentes que pour chaque élément des filaments, les probabilités de survie p_{S_f} peuvent être définies par les relations suivantes quelque peu différentes selon l'hypothèse faite quant à la distribution des défauts des filaments.

Si les défauts sont distribués dans l'ensemble du volume des filaments, la probabilité de survie p_{S_V} d'un élément volumique du filament est donnée par :

$$p_{S_V} = \exp \left\{ - \left[\frac{yE}{\rho\sigma_0} \right]^m \frac{dV}{V_0} \right\} \quad (\text{eq.4})$$

où σ_0 et V_0 sont des valeurs de référence respectivement des contrainte et volume de filament.

Ainsi, pour l'ensemble d'un filament de volume V sa probabilité de survie P_{S_V} est donnée par :

$$P_{S_V} = \exp \left\{ - \left(\frac{1}{V_0} \right) \left(\frac{E}{\rho \sigma_0} \right)^m \iiint_V y^m dV \right\} \quad (\text{eq.5})$$

En définissant la position de tout volume élémentaire de filament en coordonnées cylindriques, où z est l'axe longitudinal du filament, $dV = r d\theta dr dz$ et $y = r \sin \theta$, la relation 5 devient alors :

$$P_{S_V} = \exp \left\{ - \left(\frac{1}{V_0} \right) \left(\frac{E}{\rho \sigma_0} \right)^m \iiint_V (\sin \theta)^m r^{(m+1)} dr d\theta dz \right\} \quad (\text{eq.6})$$

R étant le rayon du filament, nous savons que $\frac{E}{\rho} = \frac{\sigma}{r} = \frac{\sigma_{f_M}}{R}$ et que $V = \pi R^2 L$. De plus, $L = L_0$

pour $V = V_0$. Pour un filament de longueur L soumis à la même courbure sur toute sa longueur et pour un domaine d'intégration limité à la demi section sollicitée en tension, la relation 7 s'écrit alors :

$$P_{S_V} = \exp \left\{ - \left(\frac{\sigma_{f_{MV}}}{\sigma_0} \right)^m \frac{L}{L_0} \frac{a}{\pi(m+2)} \right\} \quad (\text{eq.7})$$

où $a = \int_0^\pi (\sin \theta)^m d\theta$ et où $\sigma_{f_{MV}}$ représente la contrainte de flexion maximale lorsque la distribution des défauts est volumique.

Si les défauts sont distribués sur l'ensemble de la surface des filaments, la probabilité de survie P_{S_S} d'un élément volumique du filament est donnée par :

$$P_{S_S} = \exp \left\{ - \left[\frac{yE}{\rho \sigma_0} \right]^m \frac{dS}{S_0} \right\} \quad (\text{eq.8})$$

où S_0 est une valeur de référence de surface de filament.

La même démarche appliquée à la seconde hypothèse relative à une distribution surfacique de défauts, conduit à la relation suivante :

$$P_{S_S} = \exp \left\{ - \left(\frac{\sigma_{f_{MS}}}{\sigma_0} \right)^m \frac{L}{L_0} \frac{a}{2\pi} \right\} \quad (\text{eq.9})$$

où $\sigma_{f_{MS}}$ représente la contrainte de flexion maximale lorsque la distribution des défauts est surfacique.

La représentation linéarisée des relations 1, 7 et 9 des approches de Weibull appliquées aux essais de traction et de flexion, conduit aux relations suivantes :

$$\ln \ln \left(\frac{1}{P_{S_t}} \right) = m \ln \left(\frac{\sigma_t}{\sigma_0} \right) + \ln L - \ln L_0 \quad (\text{eq.10})$$

$$\ln \ln \left(\frac{1}{P_{S_V}} \right) = m \ln \left(\frac{\sigma_{f_{MV}}}{\sigma_0} \right) + \ln L - \ln L_0 + \ln a - \ln [\pi(m+2)] \quad (\text{eq.11})$$

$$\ln \ln \left(\frac{1}{P_{S_S}} \right) = m \ln \left(\frac{\sigma_{f_{MS}}}{\sigma_0} \right) + \ln L - \ln L_0 + \ln a - \ln(2\pi) \quad (\text{eq.12})$$

Ces relations font apparaître le décalage qui intervient entre les résultats d'essais obtenus en traction (eq.10) et en flexion (eq.11 et 12), et dont l'amplitude dépend de l'hypothèse faite quant à la distribution des défauts. Il est donc à priori nécessaire de savoir suivant quelle hypothèse de distribution des défauts il convient d'exploiter les résultats, pour pouvoir déduire d'essais de flexion les caractéristiques à la rupture en traction des filaments par une simple translation des niveaux de contrainte.

Dans le cas d'essais de réception en milieu industriel concernant des séries de filaments très souvent de la même famille, une première campagne d'essais successivement en traction et flexion permettrait de lever l'ambiguïté quant à l'hypothèse à effectuer.

Pour une même probabilité de survie, les équations 11 et 12 permettent d'écrire le rapport des contraintes $\sigma_{f_{MV}}$ et $\sigma_{f_{MS}}$:

$$\frac{\sigma_{f_{MV}}}{\sigma_{f_{MS}}} = \left(1 + \frac{m}{2} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (\text{eq.13})$$

Pour des céramiques filiformes, les modules de Weibull m sont compris entre 10 et 40 ; dans ce cas, d'après la relation (13), le rapport $\frac{\sigma_{f_{MV}}}{\sigma_{f_{MS}}}$ est voisin de 1. De plus, compte des valeurs de la fonction $\ln a$, pour ces valeurs de m , l'erreur relative susceptible d'être faite en effectuant à partir des résultats de flexion une translation moyenne $\ln a + \frac{1}{2} \{ \ln(2\pi) + \ln[(2+m)\pi] \}$, est inférieure à 5%. L'éventuelle méconnaissance de la localisation des défauts au sein des filaments ou à leur surface, n'est donc pas très pénalisante pour cette méthode de détermination des caractéristiques à la rupture par flexion des filaments, d'autant que le module de Weibull n'est pas sensé être affecté par cette source d'imprécision.

3. Procédure d'essai et mise en oeuvre expérimentale

3.1 Méthode de caractérisation

Pour appliquer une sollicitation identique tout au long d'un certain volume de filament, c'est-à-dire lui imposer une courbure constante, il est proposé de faire passer le filament sur un cylindre dont le rayon correspond, pour un type de filament donné, à la contrainte de flexion choisie.

Il ne s'agit donc pas de mesurer la contrainte de rupture d'un filament de longueur donnée mais de mesurer la longueur de filament séparant deux ruptures successives se produisant pour une même contrainte de flexion.

La méthode d'essai consiste par conséquent, à faire défiler le filament sur un cylindre calibré, de sorte que suivant le choix du diamètre du cylindre, il peut être nécessaire de faire défiler des longueurs de filament plus ou moins grandes afin d'obtenir, pour chaque contrainte de flexion, un nombre de ruptures suffisant pour que l'applicabilité de l'approche de Weibull soit vérifiée.

En premier lieu l'exploitation des résultats en termes de probabilité de survie en fonction de la longueur de filament, à l'aide d'une représentation où les valeurs de $\ln \ln \frac{1}{P_{S_f}}$ sont reportées en ordonnées et celles de $\ln L$ en abscisse, permet de s'assurer que le risque de rupture est bien proportionnel au volume de filament sollicité.

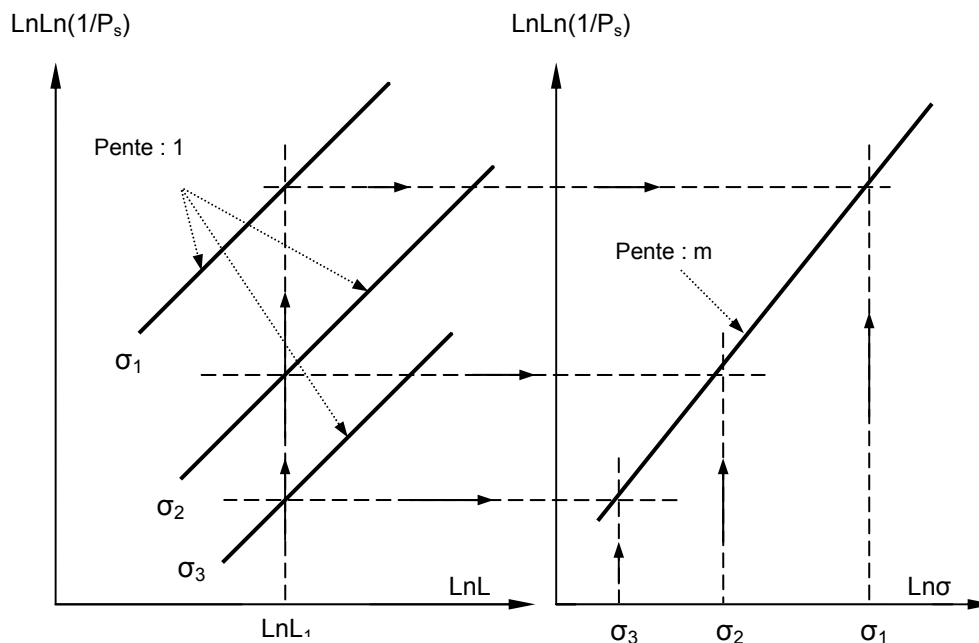


Fig. 2. Exploitation des résultats d'essais suivant l'approche de Weibull

Si c'est le cas, on est censé obtenir d'après la relation (10), pour divers diamètres de cylindre, c'est-à-dire pour des contraintes différentes, des points répartis suivant des droites de pentes constantes égales à 1. Chaque droite obtenue avec un cylindre de diamètre donné, correspond à une contrainte bien définie pour un type de filament de diamètre connu.

Il est alors possible, ainsi que l'illustre les schémas de la figure 2, de déterminer pour une longueur donnée de filament, les probabilités de survie des filaments pour les diverses contraintes correspondant aux cylindres sur lesquels ont été courbés les filaments.

La présentation habituelle des résultats en reportant les valeurs de $\ln \ln \frac{1}{P_{S_f}}$ en ordonnées et celles de

$\ln L$ en abscisse, permet alors de statuer sur l'applicabilité de l'approche de Weibull. Si c'est le cas, c'est-à-dire si la répartition des résultats obtenus pour une longueur donnée de filament par la procédure définie à la figure 2, correspond à une droite, sa pente est le module de Weibull m et la contrainte pour laquelle la probabilité de survie du filament est 0,5, est la résistance à la rupture du filament.

3.2 Dispositif d'essai

Suivant la méthode définie précédemment, le dispositif schématisé à la figure 3 a été réalisé et a fait l'objet de nombreux tests permettant de valider l'ensemble de la méthode et de suggérer des améliorations en faisant émerger quelques critiques et précautions à prendre.

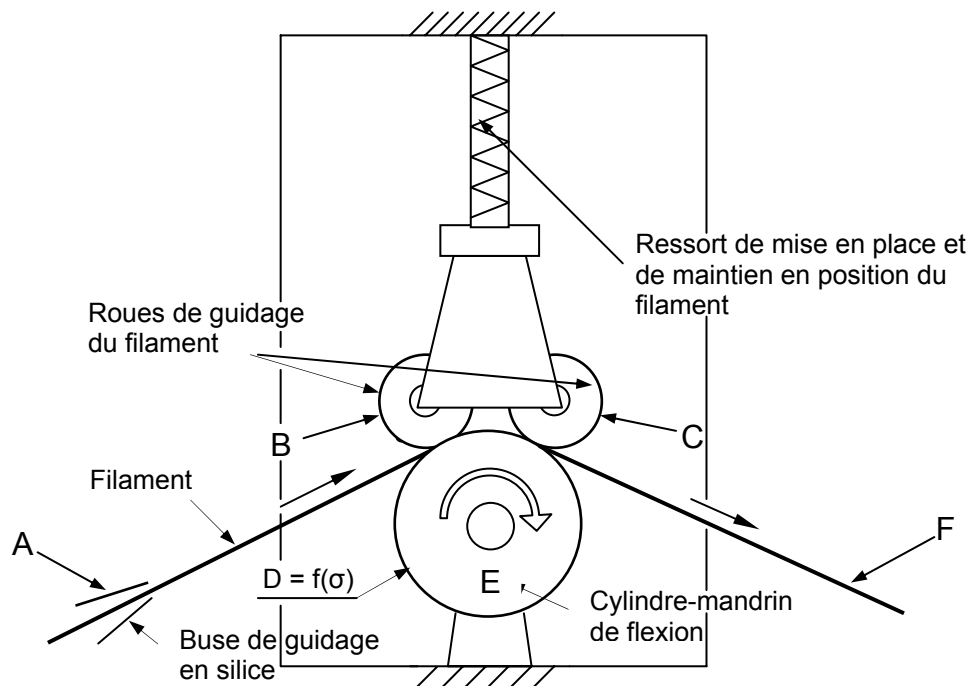


Fig. 3. Schéma du dispositif expérimental d'essai

Au moment de l'introduction du filament dans l'appareil en le faisant passer dans le guide tubulaire A, les deux petits cylindres de guidage B et C, qui sous l'effet d'un ressort plaque le filament D dans la rainure circulaire du cylindre calibré E, doivent être partiellement relevés pour permettre au filament de dépasser légèrement le contact entre les cylindres C et E et d'être entraîné par la rotation manuelle ou motorisée du cylindre calibré E. Cette précaution qui doit être répétée à chaque rupture de filament est une source d'imprécision pour les plus petites longueurs séparant les ruptures de filament et nécessiterait la mise en place de mécanismes complémentaires pour automatiser l'utilisation de l'appareil.

Les longueurs des portions de filaments rompus peuvent être mesurées directement ou par l'intermédiaire de leur masse, ce qui permet d'envisager une pesée automatique et une programmation plus rapide de l'exploitation des résultats adaptée à un dispositif d'essai automatisé.

Par ailleurs, il s'est avéré nécessaire de placer à proximité des points de contact entre cylindres une buse de soufflage d'air pour évacuer à chaque rupture des débris de très petite taille susceptible de favoriser des ruptures de filament.

3.3 Matériaux testés

Les essais de validation de la méthode ont été menés sur deux types de filaments de SiC d'environ 140 μm de diamètre, obtenus par dépôts chimiques en phase vapeur (CVD) et revêtus également par CVD d'une couche de carbone pyrolytique d'épaisseur voisine de 3 μm . Les deux types de filaments (filament

SCS6 et un nouveau filament expérimental de SiC) se distinguent par le substrat filamentaire de départ (respectivement du carbone ou du tungstène), la composition des dépôts de SiC (moins ou plus de Si) et par les microstructure et composition du revêtement protecteur de carbone (nombre de sous couches et présence de Si).

4. Résultats et discussion

4.1 Relation entre probabilité de rupture et longueur de filament

Les résultats des essais de flexion effectués par défilement des filaments SCS6 sur quatre cylindres de diamètres différents sont reportés à la figure 4. Les points représentatifs des portions de filaments rompus sur un même cylindre, c'est-à-dire pour une même contrainte, sont linéarisables (coefficient de corrélation R) avec des pentes voisines de 1.

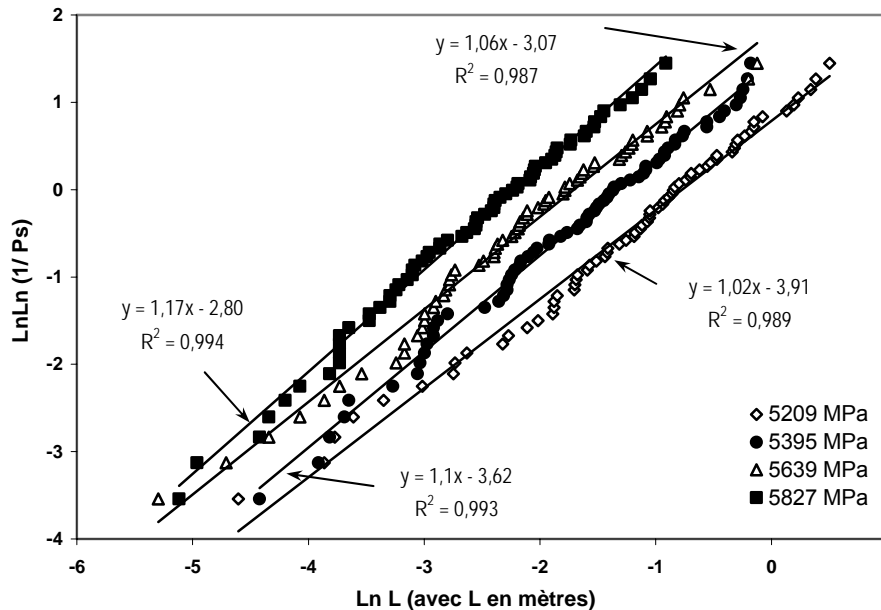


Fig. 4. Influence de la longueur des filaments SCS6 sur sa probabilité de survie

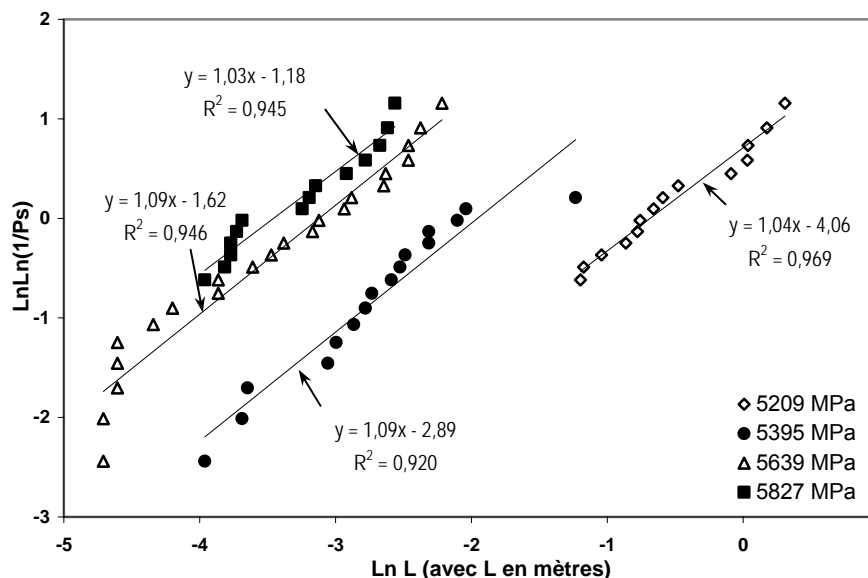


Fig. 5. Influence de la longueur des nouveaux filaments expérimentaux de SiC sur sa probabilité de survie

Des résultats du même type reportés à la figure 5 ont été obtenus pour les nouveaux filaments expérimentaux de SiC. Ces résultats sont encore plus convaincants puisque les droites représentatives ont des pentes encore plus proches de 1.

Il est donc envisageable de poursuivre la procédure d'exploitation des résultats en extrayant des droites des figures 4 et 5 les valeurs des probabilités de survie des filaments pour une longueur donnée.

4.2 Relation entre probabilité de rupture et niveau de sollicitation

Par ailleurs, des essais de traction ont été effectués sur les deux types de filaments de SiC, de manière à comparer les résultats ainsi obtenus avec ceux des essais de flexion. Ces essais de traction dont les résultats sont reportés aux figure 6 et 7 ont été réalisés suivant la procédure la plus habituelle décrite par ailleurs et en utilisant des longueurs de jauge de 60 mm. Ainsi la comparaison entre résultats d'essais de traction et de flexion a concerné des longueurs de filament de 60 mm.

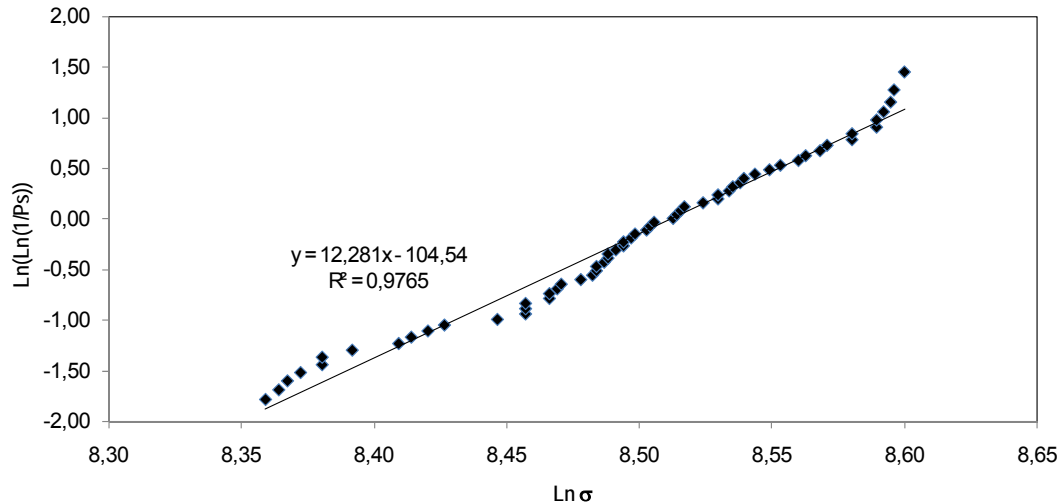


Fig. 6. Représentation des probabilités de survie en traction des filaments SCS6 en fonction des contraintes de traction

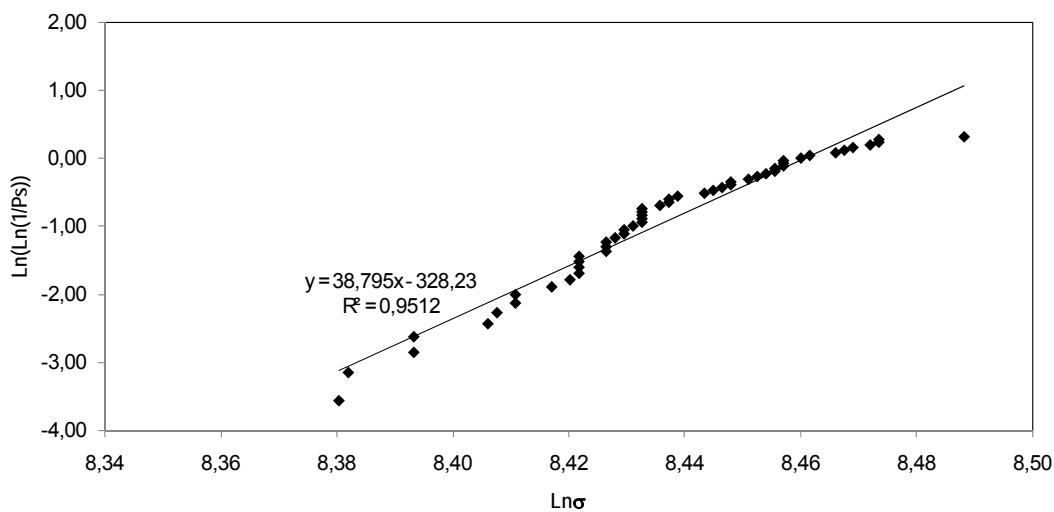


Fig. 7. Représentation des probabilités de survie en traction des nouveaux filaments expérimentaux de SiC en fonction des contraintes de traction

Pour cette longueur de 60 mm, l'exploitation des essais de flexion à partir des figures 4 et 5 conduit aux points des figures 8 et 9. Ces points se trouvent également alignés justifiant ainsi l'applicabilité de l'approche de Weibull pour les deux types de filaments aussi bien pour les essais de traction que pour les essais de flexion.

Il est remarquable que ces approches statistiques confèrent aux filaments SCS6 un module de Weibull de 12 alors que pour les nouveaux filaments expérimentaux de SiC, le module de Weibull atteint 32 et même 39. Ce sont des valeurs très élevées pour des matériaux céramiques qui ont pu faire douter de la crédibilité des résultats obtenus. En effet, une valeur très élevée pour un matériau fragile serait significative d'une particulièrement grande homogénéité de taille des défauts critiques des nouveaux filaments expérimentaux de SiC.

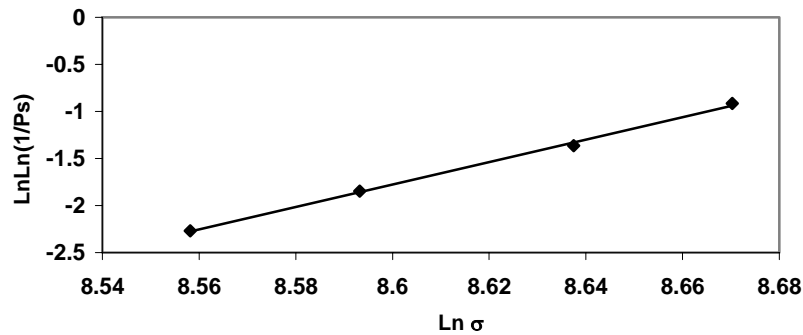


Fig. 8. Influence du niveau de sollicitation en flexion sur la probabilité de survie du filament SCS6

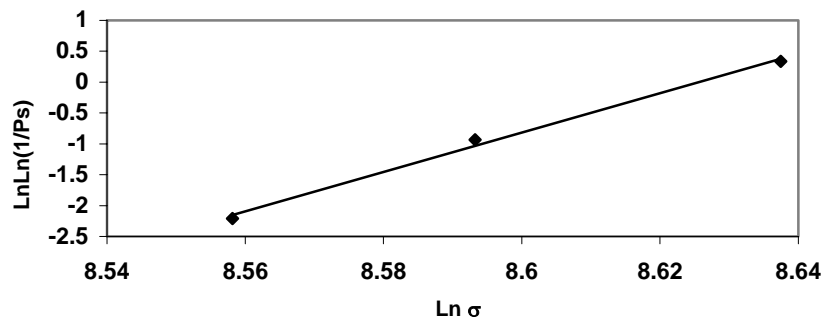


Fig. 9. Influence du niveau de sollicitation en flexion sur la probabilité de survie du nouveau filament expérimental de SiC

4.3 Discussion

L'ensemble des résultats présentés précédemment aux figures 4 à 9 sont regroupées aux figures 10 et 11 pour extraire des résultats des essais de flexion, les résistances à la rupture en traction des deux types de filament et comparer ces valeurs à celles obtenues à l'aide des essais de traction.

Les translations des résultats bruts des essais de flexion par les termes définis à la section 2.2, soit $\ln a - \ln 2\pi$ ou $\ln a - \ln \pi(m+2)$ suivant l'hypothèse faite quant à la répartition des défauts, montrent que cette distribution des défauts est quelque peu différente dans les deux types de filament. Il semblerait que dans les filaments SCS6, les défauts sont plutôt répartis à la surface des filaments alors que pour le nouveau filament expérimental, les défauts seraient plutôt distribués dans l'ensemble du filament.

Avec de telles hypothèses, les résistances à la rupture extraites des résultats des essais de flexion pour des probabilités de survie de 0,5, sont 5088 MPa pour le filament SCS6 et 4639 MPa pour le nouveau filament expérimental alors que les résultats obtenus à partir des essais de traction sont respectivement de 4828 MPa et 4680 MPa correspondant à des écarts entre résultats d'essais de flexion et de traction de 5,1% pour les filaments SCS6 et 0,8 % pour les nouveaux filaments expérimentaux.

Il est remarquable que pour les filaments présentant le module de Weibull le plus élevé, l'écart entre résultats d'essais de flexion et de traction est très faible ce qui peut laisser penser que la procédure de traitement des essais de flexion pour en extraire les résultats d'essais de traction est d'autant plus fiable que les résistances en traction des filaments sont peu dispersés.

Toutefois, il convient de garder à l'esprit que la caractérisation des filaments en flexion doit permettre d'éviter des essais de traction et qu'en conséquence, pour tout nouveau filament l'hypothèse à faire quant à la distribution des défauts n'est pas connue.

L'utilisation d'une translation moyenne telle qu'elle a été définie à la section 2.2 conduit à des résistances à la rupture respectivement de 4706 MPa et 4853 MPa correspondant à des écarts par rapport aux essais de traction respectivement de 2,5% et 3,5%. La confirmation d'écarts aussi faibles devrait permettre l'utilisation de la procédure tout en ignorant l'hypothèse à faire quant à la distribution des défauts.

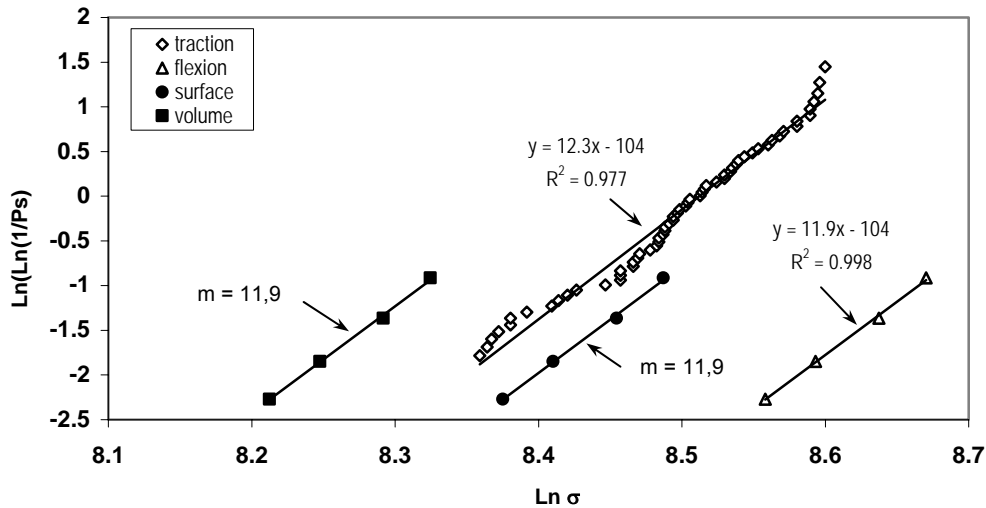


Fig. 10. Comparaison entre résultats d'essais de traction et de flexion pour les filaments SCS6

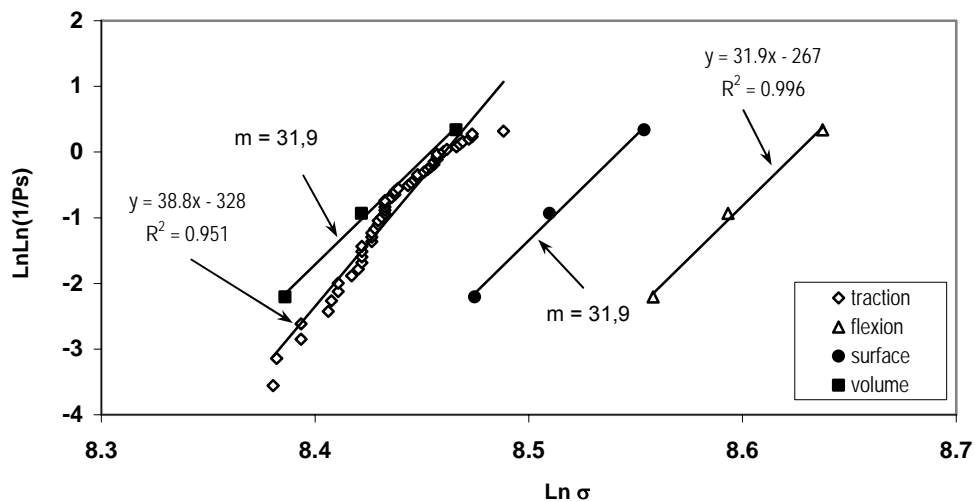


Fig. 11. Comparaison entre résultats d'essais de traction et de flexion pour les nouveaux filaments expérimentaux de SiC

5. Conclusion

Une confirmation supplémentaire des résultats expérimentaux présentés dans cette contribution permettra d'utiliser des essais de flexion de mise en œuvre simple et rapide, pour obtenir les caractéristiques à la rupture habituellement obtenues à l'aide de nombreux essais de traction de filaments fragiles. La procédure d'essai proposée, basée sur une adaptation de l'approche de Weibull, est particulièrement bien adaptée à la réception en milieu industriel de filaments d'un type connu au niveau de la distribution des défauts et lorsqu'il s'agit de connaître les risques de rupture de filaments de grande longueur. La comparaison entre résultats d'essais de traction et de flexion permet, pour des filaments totalement inconnus, de situer les défauts à l'origine des ruptures.

Références

- [1] B. Dambrine, M. Garnier, J. Hamburger, Y. Honnorat, L. Mollieux, « Procédé d'enduction métallique de fibres par voie liquide ». *Patent 9800644*, Jan 98 A.D, 1998.
- [2] C. Duda, J.M. Quenisset, C. Arvieu, P.E. Frayssines, J.M. Fromentin et J.M. Franchet, *Brevet N° FR0053008*, Snecma groupe Safran –CNRS, oct. 05, 2005.
- [3] W. Weibull, "A statistical distribution function of wide applicability". *J Appl Mech*, 18, pp. 293–7, 1951.
- [4] R.W. Davidge, "Mechanical behaviour of ceramics". Cambridge: *Cambridge University press*; 1979.
- [5] O. Jadaan, N. Nemeth, J. Bagdahn, W. Sharpe, "Probabilistic Weibull behavior and mechanical properties of MEMS brittle materials". *J Mater Sci*, 38, pp. 4087–113, 2003.