

Identification des paramètres du fluage par la méthode iso contrainte étagée des thermoplastiques

1^{er} Belhi GUERIRA, 2^{ème} Mohamed taher Bouzaher, Taher. GUETTAF TEMAM, 3^{ème} BELGHAR.Nourredine

1^{er} Laboratoire de Génie Mécanique , b.guerira@univ-biskra.dz

2^{ème} Unit of Applied Research in Renewable Energy, mohamedbouzaher2@gmail.com

3^{ème} Laboratoire de Génie des matériaux et énergétique, Université Mohamed khieder Biskra, n.belghar@univ-biskr.dz

Résumé — Le comportement mécanique des matériaux est compris entre celui parfaitement élastique, et celui parfaitement visqueux, selon les conditions de service tel que la température, l'environnement (humidité) et le niveau de sollicitation qui doivent être pris en considération pour prédire ce comportement soit donc la durée de vie des structures. Le caractère visqueux des matériaux devient important et les solides acquièrent par conséquent un comportement viscoélastique, vu que les solides thermoplastiques ont des températures de fusion relativement basses relativement à leur température d'utilisation, ils ont un comportement important qui peut se manifester dans la réponse du matériau pour une sollicitation statique ou autre.

Notre étude porte sur le fluage, celui-ci n'est qu'un essai statique qui consiste à suivre l'évolution de la déformation en fonction du temps d'un matériau sous un chargement constant, il permet l'exploration du comportement à très long terme. Le mode de sollicitation considéré est la flexion à trois points qui donne lieu un champ de contrainte non uniforme dans le matériau, le matériau traité est le polyamide 6 de marque TECALID6 renforcé par des fibres de verre.

Mots clés— caractérisation, viscoélasticité, thermoplastique, fluage flexion trois points.

I. INTRODUCTION

Les thermoplastiques à fibres longues composites sont des matrices de matières premières tel que le polyamide, le polypropylène, le polyéthylène avec renforts de fibre de verre E, de carbone, d'aramide ou de fibres avec un rapport d'aspect de 2000-10,000 [1-3] sont utilisés dans les domaines d'industries vastes d'automobiles, d'électricités, ils montrent une forte croissance du marché car ils remplacent le métal, les thermoplastiques et les plastiques thermodurcissables [4-5]. Par exemple, la consommation au monde a augmenté de 160,000-190,000 tonnes métriques en 2006. Un problème courant avec les thermoplastiques et leurs composites est qu'ils se déforment et / ou perdent précision dimensionnelle sous une sollicitation modérée de contrainte sévère et de la température au cours de leur durée de vie [6-7]. Ces effets viscoélastiques fonction temps soulèvent des préoccupations sur la performance sous de nombreuses conditions depuis ils sont utilisés dans la région de la température de transition vitreuse (T_g) de la matrice [8]. Le matériau testé dans le présent travail est un polyamide 6 de marque TECAMID 6 fourni sous forme de feuilles épaisses de 07 mm extrudée l'essai a été effectuée dans un mode de flexion de trois points. Les essais de flexion trois points ont été conduits selon les recommandations des normes ASTM D2900 [9-10]. L'appareillage est constitué d'un ensemble de flexion Trois points instrumenté d'un capteur d'effort - déformation et L'enregistrement du diagramme effort (P) - déflexion (d) au centre de l'échantillon permet fig 1.1 de déterminer le point de départ,

la partie linéaire de la courbe et les niveaux de contraintes qui seront considérés pour les essais de fluage.

La présente étude a généré fluage de flexion thermoplastique à fibres longues. Ces résultats ont été analysés en utilisant un modèle empirique proposé par [7], qui implique la régression non linéaire des quatre paramètres du modèle expérimental réel avec données [11-13].

A. Théorie

L'essai de flexion trois points est souvent utilisé pour mesurer des caractéristiques mécaniques telles que le module d'Young, et la résistance en flexion. Contrairement aux essais de traction, compression, cet essai est simple à mettre en œuvre et d'une bonne reproductibilité. En effet, lors d'un essai de flexion trois points, le champ de contraintes n'est pas homogène dans l'épaisseur de l'échantillon. L'effort appliqué va engendrer un champ de contrainte normale symétrique de traction-compression mais aussi il y a l'influence de l'éclatement l/h de l'échantillon qui favorise les contraintes de cisaillement qui sont négligeables car lors d'un essai de flexion la déflexion totale imposée à l'échantillon sera la somme des contributions de flexion et de cisaillement cette observation nous amène à considérer le rapport de la distance entre appuis fig.1

On appelle fluage l'évolution de la déformation au cours du temps d'un matériau. En outre, l'application instantanée de la force introduirait des effets d'inertie et de rebonds très préjudiciables à l'obtention de résultats corrects. Il en résulte que le chargement de l'éprouvette se fait à vitesse constante, et que l'on travaille à force constante. Dans ce type d'essai, on peut déterminer la déformation de fluage équation (1), la contrainte est définie comme équation (2) et la flèche.

Avec :

$$\varepsilon = \frac{6 \cdot y(t) \cdot h}{L^2} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{3 \cdot F \cdot L}{2 \cdot b \cdot h} \quad (2)$$

$$y(t) = \frac{F L^3}{4 \cdot E(t) \cdot b h^3} \quad (3)$$

y(t) : deflexion
h: épaisseur
L: longueur
b : largeur
F: force
ε : déformation
σ: contrainte

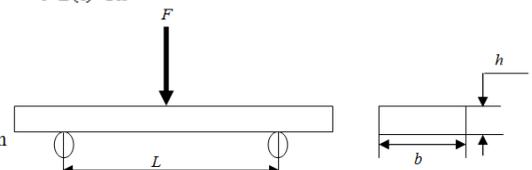


Fig. 1. Sollicitation de l'échantillon en flexion trois points L=110mm, b=15.9mm, h=7mm

II. ESSAI EXPÉRIMENTAL

Le matériau testé dans le présent travail est un polyamide 6 de marque TECAMID 6 fourni sous forme de feuilles épaisses de 07 mm extrudées. Les échantillons sont découpés à partir de ces feuilles et stockés dans une atmosphère à 20% d'humidité durant au moins un mois.

Les caractérisations mécaniques sont effectuées sur la machine d'essai INSTRON 5969 doté d'une force de 10 à 50 k. La déformation due par l'essai de fluage a été mesurée et analysée par le logiciel de commande et d'acquisition de données de l' machine qui permet la réalisation des séquences de chargement complexes et qui sont adaptés pour les différents essais.

Les essais réalisés sont

1) Essai de flexion qui est nécessaire pour déterminer la partie linéaire de la courbe de flexion et d'estimer les points de la courbe contrainte / déformation de départ.

2) L'essai de fluage avec différentes contraintes (10.40 MPa, 16.80 MPa, 23.19 MPa, 29.64 MPa, 36.14 MPa et 42.73 MPa) et avec différents temps de séjour de fluage (02 heures), à savoir que la température de l'essai est de 300 °K et l'humidité est de 20%.

III. RÉSULTATS

A. Equations Résultats de l'essai de flexion

Au moment de l'application de la charge sur éprouvettes de polyamide la réponse enregistrée des spécimens, en particulier dans le cas de la déformation par flexion. C'est pourquoi l'essai de flexion sont nécessaires et sont effectués pour déterminer avec précision la partie linéaire de la courbe La fig. 2 illustre l'allure de la courbe des contraintes de flexion / déformation du polyamide.

Il permet de déterminer le point de départ, la partie linéaire de la courbe et les niveaux de contraintes qui seront considérés pour les essais de fluage.

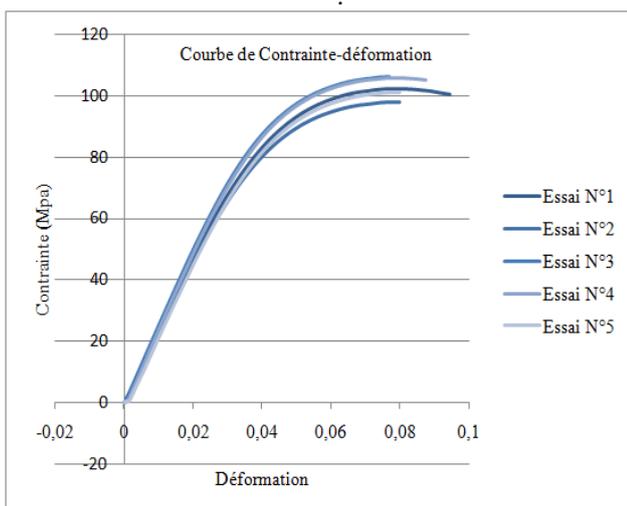


Fig. 2. Courbe déformation contrainte

TABLE I. RESULTATS DES MODULES DE FLEXION, LIMITE ELASTIQUE

Module de flexion E (Mpa)	Limité élastique σ_e (Mpa)	Contrainte maximale σ_y (Mpa)
$2,38 \cdot 10^3$	82.46	101.55
$2,25 \cdot 10^3$	82.62	97.30
$2,48 \cdot 10^3$	86.70	106.08
$2,48 \cdot 10^3$	87.80	105.87
$2,32 \cdot 10^3$	85.42	100.87

D'après La contrainte de la limite élastique est la valeur moyenne calculée dont le 84.95 et le module en flexion 2.37. 103 MPa.

B. Résultat de l'essai de fluage

La figure 3 illustre la séquence de chargement de l'échantillon pour la Méthode de test chargement multi niveau. Cette séquence est caractérisée par un saut de contrainte par paliers $\Delta\sigma_i$ et un temps de séjour de deux heures. Les Paramètres des essais différent selon la configuration correspondante et sont indiqués dans le tableau II. Celui-ci comporte six niveaux chargement a court temps d'arrêt de deux heures pour chaque niveau de charge et de contrainte de plus grande intensité de 41.57 MPa. La fig. 3 montre une courbe typique de fluage.

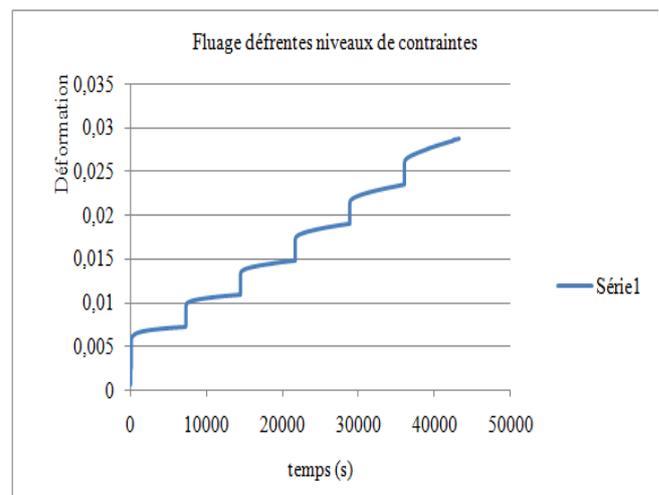


Fig. 3. Séquence de chargement

TABLE II. PARAMETRE DE CHARGEMENT DE TEST DE FLUAGE

Contrainte (Mpa)	10.40	16.80	23.19	29.64	36.14	42.73
Temps de séjours (heures)	2	2	2	2	2	2

IV. DISCUSSIONS

A. Influence des niveaux de contrainte sur la vitesse de déformation

Sur la fig.4. Nous avons tracé l'évolution de la vitesse de déformation vraie de fluage en fonction de la contrainte. Nous constatant que la vitesse de déformation pour des faible contrainte varie linéairement et pour des contrainte supérieur à 16,80Mpa il varie d'une façon non linéaire ce qui conforme que le matériau c'est un matériau à un comportement viscoélastique non linéaire

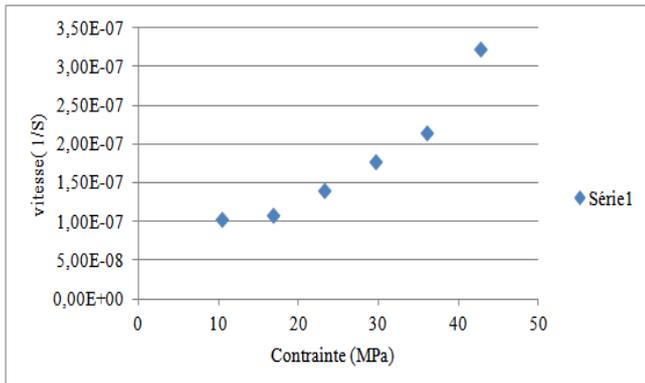


Fig. 4. Influence la vitesse de déformation sur les niveaux de contrainte.

B. Identification des paramètres des fluages

Sur la base de l'évolution de la vitesse de déformation vraie décroissante, instable, par conséquent, on prend en compte que la partie primaire de fluage. Pour déterminer la déformation, nous avons adopté la loi de puissance de la forme suivante.

$$\varepsilon(t) = B\sigma^n t^p \quad (4)$$

La premier étape de la méthode analytique consiste à tracer le logarithme de la déformation vraie de fluage en fonction du logarithme du temps. Dans le domaine où le matériau est en régime primaire, il est possible d'effectuer une régression linéaire entre les deux coordonnées dans un diagramme bi-logarithmique fig.5.

$$\log(\varepsilon) = p \log(t) + \log(B\sigma^n) \quad (5)$$

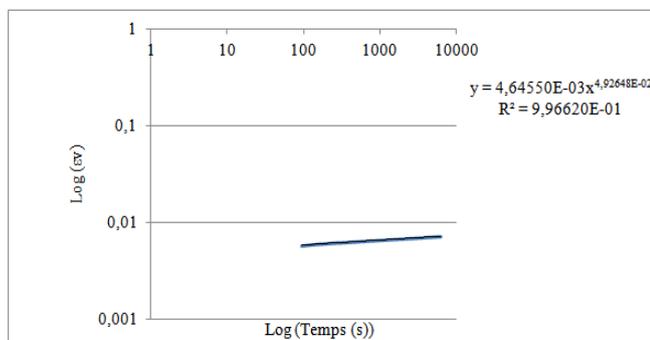


Fig. 5. Influence la vitesse evolution des valeurs de $\log(B\sigma^n)$ en fonction de la valeur de la contrainte

La deuxième étape nous prenons les valeurs de $\log(B\sigma^n)$ et nous traçons son évolution en fonction de la valeur de contrainte de l'essai correspondant (fig.6.)

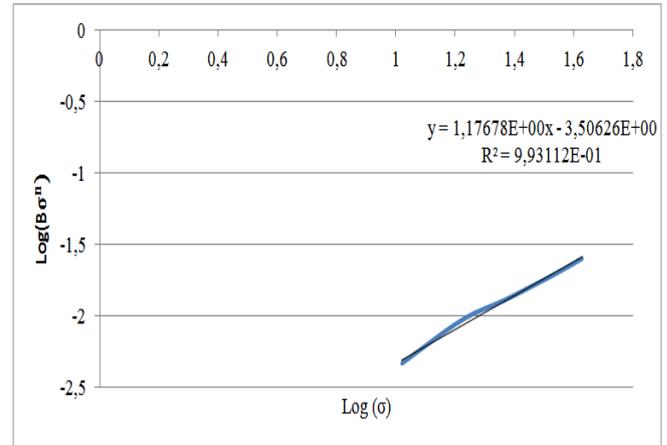


Fig. 6. Evolution des valeurs de $\log(B\sigma^n)$ en fonction de la valeur de la contrainte

L'évolution des valeurs $\log(B\sigma^n)$ de chaque palier d'essai en fonction de la valeur de contrainte vraie est caractérisée par une équation de régression linéaire sur la fig 6 s'écrit :

$$\log(B \cdot \sigma^n) = n \log(\sigma) + \log(B) \quad (6)$$

La pente représente de la droite n et son ordonnée à l'origine représente $\log(B)$

A partir de cette méthode analytique, les paramètres trouvés sont regroupés dans le tableau III.

Les valeurs des paramètres déterminés analytiquement représentent la valeur de départ d'une optimisation

TABLE III. VALEURS DES PARAMETRES DE LOI DE COMPORTEMENT DE FLUAGE PRIMAIRE

Paramètre	B	P	N
Valeurs	3.12*10-4	0.0769	1.77

V. CONCLUSION

Lors des essais de fluage qui ont été réalisés sur les éprouvettes des matériaux neufs, cette étude visait à mettre en évidence et appréhender le comportement à court terme à base de données expérimentales, ces essais ont permis l'identification des paramètres du modèle de comportement à partir de la loi de puissance de la zone primaire de la déformation vraie.

Au cours de la déformation d'un polymère semi-cristallin, biphasés (structure cristalline et amorphe) la loi de comportement du matériau considérée homogène est aussi identifiée.

L'objectif qui est de reproduire un modèle de comportement est injectée dans le code de calcul et en faisant

la comparaison entre l'expérimentale l'analyse numérique est atteint.

RÉFÉRENCES

- [1] Andrade E.N.da C. - Proc. Roy. Soc. London, A 84, 1. On the viscous flow of in metal and allied phenomena ,1910.
- [2] ACHEREINER, Frédéric, ENGELSING, Kurt, BASTIAN, Martin, et al. Accelerated creep testing of polymers using the stepped isothermal method. *Polymer Testing*, 2013, vol. 32, no 3, p. 447-454
- [3] D.J. Plazek, Temperature dependence of the viscoelastic behavior of polystyrene, *69*, 10;1965, 3480.
- [4] FINDLEY, William Nichols et LAI, J. S. Y. A modified superposition principle applied to creep of nonlinear viscoelastic material under abrupt changes in state of combined stress. *Transactions of the Society of Rheology*, 1967, vol. 11, no 3, p. 361-380.
- [5] G Williams ,Watt D.C., Non Symmetrical dielectricrelaxation behaviour avising from simple empirical decay function,tans.faraday soc.,66;1970,80.
- [6] GUERIRA, Belhi. Contribution Dans L'exploration des phénomènes viscoélastique des composites thermoplastique. 2016. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider-Biskra.
- [7] Hadid M.,Rechak S.,Zouni A., long-term bending creep behavior prediction of injection molded composite using stress-time correspondence principale .*Material Science and Engineering A385*,1-2,2004;45
- [8] Hadid Mohamed .Belhi Guerire ,Mebarak Bahri, Abdelkrim Zouni Assessment of the stepped isostress method in the prediction of long term of thermoplastics , *Polymer Testing* 34,2014,447.
- [9] H. Lederman, The Textile Foundation Inc., Washington, D. C., 175 ,1943.
- [10] j .Raghavan. Meshii. Creep of polymer composites. *Composites science and Technology* 57, 1997, p1668-1673.
- [11] P. Nutting, Proc. ASTM 21,1921, 1162.
- [12] R.A.Schapery, *Int.J.Solids Struct.*2,407,1966.
- [13] S. Jazouli, W. Luo, F. Bremand F, T. Vu-Khanh, Application of time-contrainte equivalence to nonlinear creep of polycarbonate. *Polymer Testing*; 24, 2005;463-467.