

IDENTIFICATION DES PARAMETRES VISCOELASTIQUE ET VISCOPLASTIQUE D'UN MODELE RHEOLOGIQUE PAR LA TECHNIQUE DES ALGORITHMES GENETIQUES

Y. SAADALLAH, S. DERFOUF, B. GUERIRA, M. HADID

Laboratoire de génie mécanique(LGM), Université Mohamed Khider de Biskra, BP 145, 07000 Biskra, ALGERIE
sayounes@live.fr, c.derfouf@univ-biskra.dz, guerirabelhi@gmail.com

RESUME

Le présent travail s'intéresse principalement à l'identification rhéologique des paramètres viscoélastiques et viscoplastiques d'un polymère semi-cristallin, un polyamide 6 en l'occurrence. Le modèle de comportement proposé est un mécanisme analogique composé d'une partie viscoélastique représentée par le modèle de Kelvin-Voigt à élasticité instantanée et une partie viscoplastique décrite par le modèle généralisé de Bingham. Deux variantes du modèle sont étudiées dont la première représente un modèle bilinéaire alors que la seconde est un modèle non linéaire. Le fonctionnement du modèle rhéologique est traduit en équations mathématiques. Un essai de traction à vitesse de déformation constante est mené en vue d'en exploiter les résultats pour l'identification des paramètres du modèle. A cet effet, une fonction objectif permettant de minimiser l'écart entre ces résultats expérimentaux et ceux de la simulation est mise en place. Le modèle de comportement non linéaire étant très compliqué et possédant un grand nombre de paramètres, il est privilégié une identification par analyse inverse basée sur la technique des algorithmes génétiques. Les paramètres viscoélastiques et viscoplastiques, y compris le seuil de plasticité, étant identifiés, les résultats expérimentaux et simulés sont comparés et discutés. Le modèle bilinéaire décrit le comportement de façon peu précise mais avec un coût de calcul réduit. Par ailleurs, une bonne concordance a été constatée entre la simulation et l'expérimentation dans la variante non linéaire à l'issue d'une étape de réidentification fondée sur une identification préalable.

MOTS CLES: Viscoélastique, viscoplastique, rhéologique, thermoplastiques, algorithmes génétiques.

1 INTRODUCTION

Les thermoplastiques et plus particulièrement les polymères semi-cristallins sont de plus en plus appliqués dans l'industrie en raison de leur possibilité de répondre aux exigences mécaniques, électriques et environnementales nécessaires pour les applications structurelles allant de l'automobile et l'aéronautique aux secteurs médicaux [1-3]. Différents modèles de comportement ont été adaptés pour simuler leur comportement mécanique. En effet, leur comportement est sensible aux paramètres extérieurs tels que la température et la vitesse de déformation. C'est pourquoi les modèles qui les représentent prennent en compte aussi bien l'aspect instantané que l'aspect différé dans la modélisation. Ainsi, l'élasticité, la viscoélasticité et la viscoplasticité sont généralement considérées [4]. Les récents travaux des références [1-3,5,6] présentent quelques études sur la sensibilité du comportement des polymères à la vitesse de déformation et/ou à la température. Par ailleurs, le degré de cristallinité et la taille et la répartition des cristallites dans un polymère semi-cristallin possèdent un effet important sur les propriétés mécaniques de ces matériaux [7]. De ce fait, la thermomécanique viscoélastique viscoplastique des polymères est une tâche très compliquée et n'est toujours pas bien maîtrisée [1]. Ainsi la modélisation de leur comportement continue

d'offrir un terrain fertile à la recherche scientifique.

La connaissance des propriétés mécaniques d'un matériau constitue une étape indispensable avant sa mise en service. Ces propriétés s'expriment mathématiquement par des paramètres qui apparaissent dans la loi de comportement du matériau. La loi de comportement rhéologique établit une relation entre l'état de contrainte et les variables d'écoulement telles que la déformation et sa vitesse en faisant intervenir ces paramètres [8]. L'expérimentation consiste en la réalisation des essais mécaniques en adéquation avec le modèle de comportement et les paramètres à identifier. La détermination des paramètres des modèles utilisés pour la simulation des comportements des matériaux est souvent une tâche difficile. La difficulté est proportionnelle à la complexité du modèle lui-même [2], aux conditions de chargement et au nombre de paramètres à déterminer [9]. Ces considérations servent d'appui pour le choix de la méthode d'identification appropriée. Par conséquent, un choix pertinent permet d'avoir des résultats fiables.

Plusieurs méthodes d'identification des paramètres des matériaux sont repérées dans la littérature. Deux grandes classes de méthodes sont distinguées. Les méthodes graphiques analytiques et les méthodes d'identification inverse. En effet les méthodes basées sur la formulation des

problèmes inverses sont les plus utilisées. Elles consistent à la minimisation d'une fonction qui établit l'écart entre les données expérimentales et les résultats de la modélisation. Il est question de résoudre un problème d'optimisation en mettant en place l'algorithme de calcul approprié. Les références [8, 10-18] présentent certaines techniques d'identification utilisées pour la détermination des paramètres viscoélastiques et/ou viscoplastiques.

Au cours des dernières années, des méthodes d'optimisation conceptuellement différentes des techniques classiques ont été développées [19]. On en cite à titre d'exemple, les algorithmes génétiques et les algorithmes de colonies de fourmis. Ces méthodes sont étiquetées comme des méthodes métaheuristiques. Les algorithmes génétiques, algorithmes d'optimisation stochastique fondés sur les idées évolutionnaires de la sélection naturelle et de la génétique [20, 21], sont largement appliqués dans les sciences d'ingénierie. Ils servent de puissants outils pour résoudre des problèmes d'optimisation très compliqués lorsque la dérivée de la fonction objectif est très difficile à obtenir ou n'existe pas (fonction non différentiable) [22,23]. Ainsi ils ont vu leur utilisation pour la détermination des paramètres des matériaux pour des modèles avec un grand nombre de paramètres. Certains chercheurs [13,15,23] s'en sont servis pour l'estimation des paramètres viscoélastiques des matériaux. Par ailleurs, les auteurs [2,9,18] les ont utilisés pour la détermination des paramètres viscoplastiques.

Le présent travail présente un processus d'identification des paramètres rhéologiques en se servant de la technique des algorithmes génétiques. En désignant dorénavant par le terme viscoélasticité l'ensemble de la réponse élastique instantanée et différée, deux modèles viscoélastiques viscoplastiques font l'objet de la présente étude. Chacun comporte une composante viscoélastique et une autre viscoplastique. Cependant le premier est dit bilinéaire en raison de la linéarité dans ses deux composantes alors que le second est non linéaire du fait de la non linéarité de sa composante viscoplastique. Les équations mathématiques des deux modèles sont d'abord formulées. Ensuite à partir des enregistrements d'un essai de traction à vitesse de déformation constante, une fonction établissant l'écart entre les équations du modèle et les enregistrements expérimentaux est mise en place. Le problème d'optimisation est alors résolu. Les résultats sont enfin présentés et discutés.

2 MOELISATION RHEOLOGIQUE

Le modèle rhéologique proposé dans les travaux de la

référence [24] et exploité dans ce travail, est une combinaison de deux mécanismes dont l'un représente l'aspect viscoélastique et l'autre décrit le phénomène viscoplastique. Deux modèles sont, en effet, étudiés. L'un est bilinéaire et l'autre est non linéaire.

2.1 Modèle viscoélastique viscoplastique bilinéaire

Ainsi qu'il est illustré sur la Figure 1, ce modèle est un montage en série de deux mécanismes dont l'un, représentant le comportement viscoélastique, est défini par le modèle de Kelvin-Voigt à élasticité instantanée, composé d'un ressort représentant l'élasticité instantanée monté en série avec une combinaison en parallèle d'un autre ressort et d'un autre amortisseur reproduisant ainsi une élasticité différée. L'autre mécanisme, qui n'est activé que lorsque le chargement dépasse une valeur critique connue par le seuil de plasticité, représente le comportement viscoplastique décrit par le modèle généralisé de Bingham défini par l'association en parallèle d'un patin indiquant le seuil de plasticité, d'un ressort représentant l'écrouissage du matériau et d'un amortisseur simulant la déformation plastique différée.

Dans le domaine viscoélastique, la déformation totale ε étant composée d'une part élastique instantanée ε_e et d'une autre part différée ε_{ve} . Par ailleurs, les contraintes générées dans le ressort de paramètre E et dans le mécanisme ressort amortisseur de paramètres K et μ_{ve} étant identiques, on peut écrire :

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_{ve} \quad (01)$$

$$\sigma = E\varepsilon_e = K\varepsilon_{ve} + \mu_{ve}\dot{\varepsilon}_{ve} \quad (02)$$

Tous les paramètres viscoélastiques étant indépendants de la déformation, cette dernière est liée à la contrainte avec une fonction linéaire. Comme la vitesse de déformation élastique instantanée $\dot{\varepsilon}_e$ est nulle, la vitesse de déformation totale $\dot{\varepsilon}$ est égale à la vitesse de déformation différée $\dot{\varepsilon}_{ve}$. Le modèle viscoélastique est piloté par l'équation suivante :

$$\sigma = \frac{E}{E+K} (K\varepsilon + \mu_{ve}\dot{\varepsilon}) \quad (03)$$

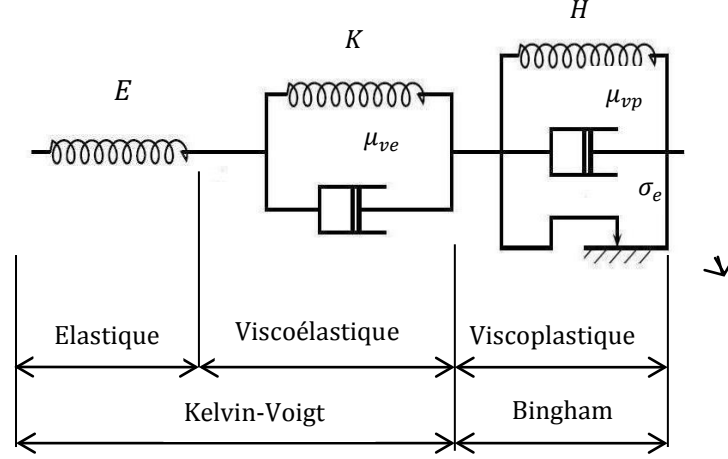


Figure 01 : Modèle rhéologique viscoélastique viscoplastique

Dans le domaine viscoplastique défini par un champ où la contrainte est au-dessus de la limite élastique σ_e , la déformation totale contient une troisième composante qu'est la déformation viscoplastique ε_{vp} . Et comme la contrainte générée dans le mécanisme viscoplastique de paramètres H et μ_{vp} est également identique à celle des mécanismes élastique instantanée et élastique différé, on peut écrire :

$$\varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_{ve} + \varepsilon_{vp} \quad (04)$$

$$\sigma = \sigma_e + H\varepsilon_{vp} + \mu_{vp}\dot{\varepsilon}_{vp} = E\varepsilon_e = K\varepsilon_{ve} + \mu_{ve}\dot{\varepsilon}_{ve} \quad (05)$$

Tous les paramètres étant indépendants de la déformation, la contrainte et la déformation se relient par une fonction linéaire. La vitesse de déformation totale est égale à la somme des vitesses des déformations viscoélastique et viscoplastique. Le modèle est alors régi par l'équation suivante :

$$\sigma = (\sigma_e + H\varepsilon + \mu_{vp}\dot{\varepsilon})r(t) \quad (06)$$

Où $r(t)$ est une fonction de temps exprimée par la formule :

$$r(t) = \left(1 + H \left(\frac{E+K}{EK} \left(1 - e^{-\frac{Kt}{\mu_{ve}}} \right) \right) + \left(\frac{\mu_{vp}}{\mu_{ve}} e^{-\frac{Kt}{\mu_{ve}}} \right) \right)^{-1} \quad (07)$$

2.2 Modèle viscoélastique viscoplastique non linéaire

Ce modèle possède les mêmes éléments représentés dans le modèle bilinéaire. Cependant le ressort du mécanisme viscoplastique traduit une non linéarité exprimée par une loi

puissance. La branche viscoélastique est la même que celle du modèle bilinéaire tandis que la branche viscoplastique en est différente. En désignant l'exposant de la déformation viscoplastique par n , on obtient :

$$\sigma = \sigma_e + H(\varepsilon_{vp})^n + \mu_{vp}\dot{\varepsilon}_{vp} \quad (08)$$

La contrainte se relie à la déformation totale par une fonction non linéaire et compliquée exigeant ainsi un recours aux méthodes numériques pour sa résolution. Elle a pour expression:

$$\sigma = \sigma_e + H \left(\varepsilon - \frac{\sigma}{K} \left(1 - e^{-\frac{Kt}{\mu_{ve}}} \right) - \frac{\sigma}{E} \right)^n + \mu_{vp} \left(\dot{\varepsilon} - \frac{\sigma}{\mu_{ve}} \left(e^{-\frac{Kt}{\mu_{ve}}} \right) \right) \quad (09)$$

L'équation étant compliquée et sa dérivée difficile à déterminer, il est choisi la méthode de dichotomie pour sa résolution. L'implémentation est faite sous Matlab.

3 EXPERIMENTATION

Le matériau objet de cette expérimentation est un thermoplastique technique. Il s'agit d'un polyamide 6 de marque commerciale TECAMID 6 fourni sous formes de feuilles de 07 mm d'épaisseur. Le matériau est testé à une température de 300 K et une humidité de 20%.

La machine d'essai est de marque Instron 5969, munie d'un système de contrôle et d'acquisition Bleuhill 3. La machine est équipée par un vidéo-extensomètre sans contact. Il apporte un plus pour l'essai mené car il permet une mesure directe de la déformation à la différence de l'extensomètre à pince qui peut avoir une inertie, des glissements ou des bruits éventuels.

Par rapport aux équations régissant le comportement viscoélastique viscoplastique, développées plus haut, l'essai de traction uni-axiale à vitesse de déformation contrôlée est le plus adéquat. Il est conduit sur une éprouvette à section uniforme à une faible vitesse de déformation de $0.0000646 \text{ Min}^{-1}$. Les résultats enregistrés servent de bases de données pour l'identification des paramètres du modèle rhéologique.

4 PROCESSUS D'IDENTIFICATION

4.1 Algorithmes génétiques

Les algorithmes génétiques [20] sont particulièrement adaptés à des problèmes de recherche globale multidimensionnelle où l'espace de recherche contient potentiellement de multiples minima locaux [23]. Contrairement à d'autres méthodes de recherche, les algorithmes génétiques ne nécessitent pas une connaissance approfondie de l'espace de recherche, telles que les limites de solutions probables ou les dérivées des fonctions. Ils commencent par un ensemble de solutions potentielles choisies au hasard qu'ils font évoluer en appliquant

itérativement un ensemble d'opérateurs stochastiques, connus sous le nom de sélection, croisement et mutation tel qu'il est présenté dans l'organigramme de la Figure 2. Aucune information de gradient n'est nécessaire. Ainsi ils ont la possibilité de faire face à des problèmes avec une fonction objectif compliquée, ou la détermination de sa dérivée est difficile, voire impossible (fonctions non différentiables). La stochastique et la nature aléatoire des algorithmes génétiques évitent l'inconvénient de nombreuses méthodes d'optimisation, basées sur les gradients, de se retrouver piégé dans des minima ou des maxima locaux.

Dans le présent travail, dans le domaine viscoélastique, la fonction objectif est facile à résoudre en se servant de plusieurs méthodes d'optimisation. Cependant dans le domaine viscoplastique non linéaire, l'équation est très compliquée et il est très difficile d'évaluer sa dérivée, ajouté à ceci le grand nombre de paramètres à déterminer, il est alors privilégié l'investissement des algorithmes génétiques comme technique de résolution du problème d'optimisation. La même technique est appliquée dans le domaine viscoélastique pour s'assurer d'une cohérence des résultats.

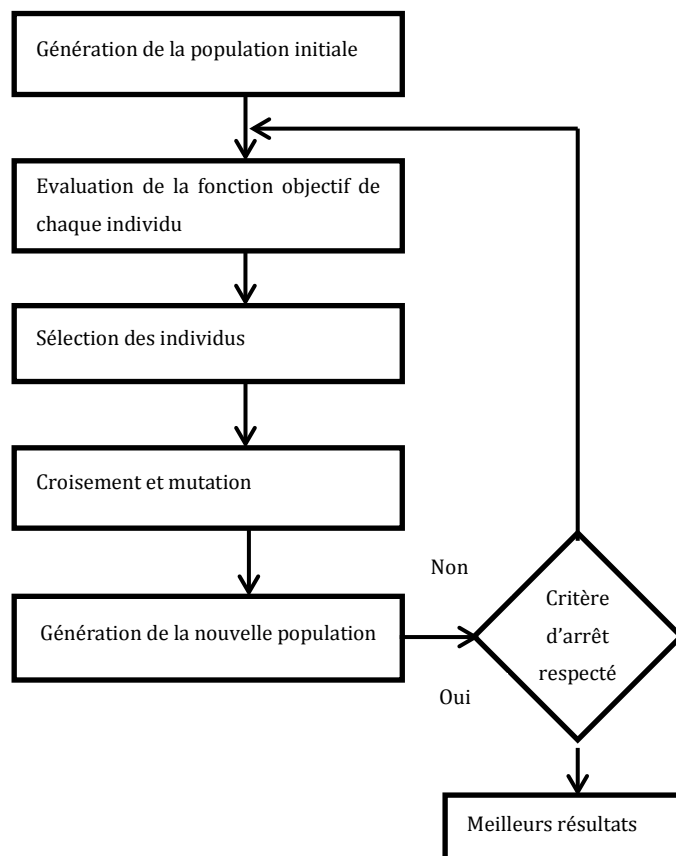


Figure 02 : Organigramme des algorithmes génétiques

4.2 Fonctions objectifs

Trois fonctions objectifs sont mise en place. Une pour évaluer les paramètres viscoélastiques et deux autres pour identifier les paramètres viscoplastiques selon les deux variantes du modèle bilinéaire et non linéaire.

Les paramètres viscoélastiques (E, K, μ_{ve}) sont déterminés à partir de la minimisation de la fonction Q_{ve} établissant l'écart entre les mesures expérimentales et les résultats du modèle. En d'autres termes l'écart entre les contraintes expérimentales et l'expression de la contrainte selon le modèle pris en compte.

$$Q_{ve}(E, K, \mu_{ve}, \sigma_c, \sigma_{ex}) = \sum_{i=1}^N (\sigma_{ex}^i - \sigma_c^i(E, K, \mu_{ve}, \varepsilon, \dot{\varepsilon}))^2 \quad (10)$$

Où N est le nombre de points de mesures, σ_{ex}^i et σ_c^i représentent respectivement les contraintes expérimentales et simulées.

Dans le domaine viscoplastique, l'identification des paramètres $(\sigma_e, H, n, \mu_{vp})$ se fait en minimisant la fonction objectif Q_{vp} établissant l'écart entre les mesures expérimentales et les résultats du modèle. Il est à souligner que dans le modèle bilinéaire, le paramètre n disparaît de la fonction objectif qui s'exprime par :

$$Q_{vp}(\sigma_e, H, n, \mu_{vp}, \sigma_c, \sigma_{ex}) = \sum_{i=1}^N (\sigma_{ex}^i - \sigma_c^i(\sigma_e, H, n, \mu_{vp}, \varepsilon, \dot{\varepsilon}))^2 \quad (11)$$

La technique d'optimisation par algorithmes génétiques est implémentée dans le logiciel Matlab.

4.3 Stratégie d'identification

La procédure d'identification consiste, d'abord, en le choix

d'un seuil de déformation suffisamment petit, soit 0.5 %, à tel point qu'on s'assure que la réponse est uniquement viscoélastique. En dessous de ce seuil, les données expérimentales sont utilisées pour l'identification des paramètres viscoélastiques. Ensuite, un autre seuil suffisamment grand, soit 1.5 %, à tel point qu'on s'assure qu'il y a apparition de la plasticité. La même démarche est utilisée pour identifier les paramètres viscoplastiques, y compris la contrainte correspondant au seuil de plasticité. Enfin et une fois le seuil de plasticité déterminé, nous procédons au prolongement des courbes viscoélastiques et viscoplastiques, tout en gardant les mêmes paramètres, jusqu'au seuil de plasticité. Ces courbes sont enfin assemblées et le comportement global est déterminé.

5 RESULTATS ET DISCUSSION

Les programmes d'optimisation étant exécutés, les paramètres sont déterminés et injectés dans les équations de comportement pour juger de la pertinence des résultats.

En ce qui concerne le modèle bilinéaire, les paramètres viscoélastiques sont identifiés à partir d'une plage de déformation limitée au seuil de 0.5 % de déformation. Les paramètres viscoplastiques sont ensuite identifiés dans une plage qui s'étale de 1.5 % à 3 % de déformation. La contrainte correspondant au seuil de plasticité est également identifiée. Il est lieu de procéder à un prolongement des courbes viscoélastique et viscoplastique pour se rassembler au seuil de plasticité. Le Tableau 1 présente les valeurs des paramètres identifiés. La Figure 3 représente une comparaison des résultats simulés avec les enregistrements expérimentaux. On y remarque deux lignes de pentes différentes représentant les domaines viscoélastique et viscoplastique. Il est, en effet, question de linéariser les deux domaines. En termes quantitatifs, la simulation sous-estime la contrainte dans le domaine viscoplastique tandis qu'elle la surestime dans une zone du domaine viscoélastique. Il s'agit de la zone qui n'a pas été prise dans les calculs d'identification. Dans la zone restante du domaine viscoélastique, un très bon accord est constaté entre les résultats expérimentaux et ceux du modèle.

Tableau 01 : Paramètres viscoélastiques et viscoplastiques du modèle bilinéaire

E (MPa)	K (MPa)	μ_{ve} (MPa.Min)	σ_e (MPa)	H (MPa)	μ_{vp} (MPa.Min)
2.9765e+03	1.1623e+04	1.3007e+03	22.9181	1.2539e+03	8.9962e+03

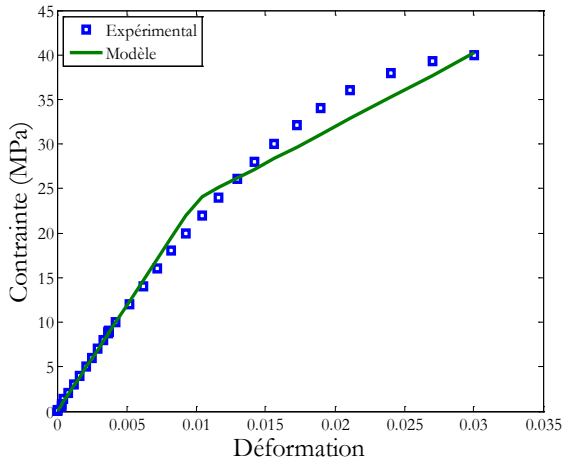


Figure 03 : Courbes expérimentale et simulée pour le modèle viscoélastique viscoplastique bilinéaire

Quant au modèle non linéaire, les paramètres viscoélastiques restent inchangés tandis que les paramètres viscoplastiques sont redéterminés. Tout en menant la même procédure suivie avec le modèle bilinéaire, on obtient les paramètres viscoplastiques du modèle non linéaire. Il est à souligner qu'un nouveau paramètre intervient. Il s'agit de l'exposant de la déformation viscoplastique n d'où la non linéarité du modèle. Le Tableau 2 présente les paramètres viscoélastiques et viscoplastiques identifiés. La Figure 4 montre une comparaison entre les courbes expérimentale et simulée. On y distingue, à la différence du modèle bilinéaire, une surestimation de la contrainte par la simulation dans le domaine viscoplastique. Certes la courbe est non linéaire mais la divergence est importante par-dessus tout dans la zone qui n'a pas été considéré dans l'identification. En ce qui concerne le domaine viscoélastique, aucun changement n'est signalé étant régi par la même équation.

Tableau 02 : Paramètres viscoélastiques et viscoplastiques du modèle non linéaire

E (MPa)	K (MPa)	μ_{ve} (MPa.Min)	σ_e (MPa)	H (MPa)	n	μ_{vp} (MPa.Min)
2.9765e+03	1.1623e+04	1.3007e+03	21.5822	66.8459	0.3028	6.2959e+3

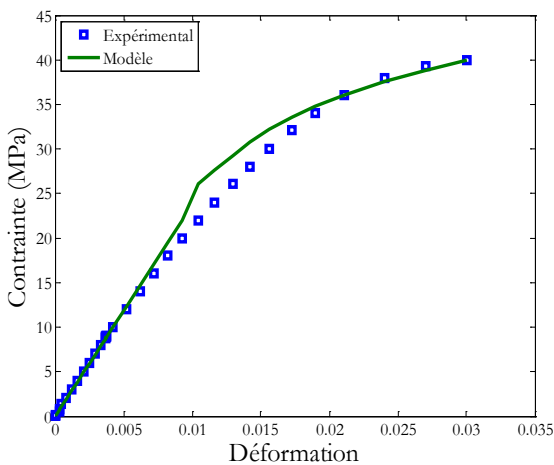


Figure 04 : Courbes expérimentale et simulée pour le modèle viscoélastique viscoplastique non linéaire

Pour remédier à cette divergence, nous avons procédé à une réidentification des paramètres viscoélastique à la lumière de l'identification du seuil de plasticité. La plage des déformations prise en compte cette fois dépasse le seuil de 0.5 % et s'étale alors jusqu'au seuil de plasticité identifié. De nouveaux paramètres viscoélastiques sont obtenus. On remarque sur la Figure 7 une bonne convergence entre les résultats expérimentaux et simulés sans que l'allure perde sa linéarité.

De ce qui précède, la divergence est repérée dans la zone qui n'a pas été prise dans et qui s'étale de 0.5 % à 1.5 % de déformation. Ceci s'explique principalement par la surestimation de la courbe simulée lors du prolongement de la ligne viscoélastique tel qu'il est présenté sur les Figures 5 et 6. En effet les paramètres identifiés correspondent à une plage ne dépassant pas le seuil de 0.5 %. En plus, comme les paramètres viscoélastiques sont impliqués dans l'équation régissant le domaine viscoplastique, l'erreur se propage et influence également les résultats des paramètres viscoplastiques.

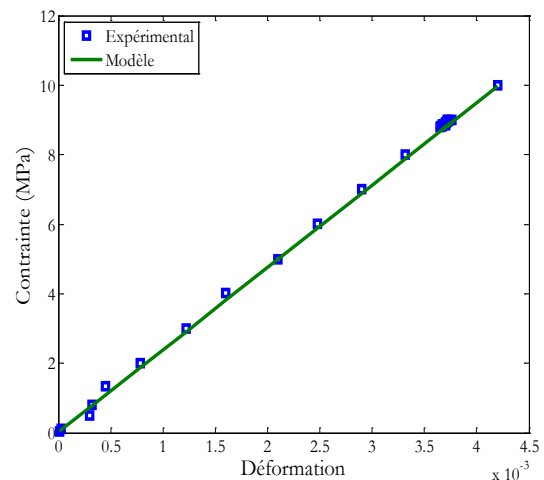


Figure 05 : Courbes expérimentale et simulée au seuil de 0.5 %

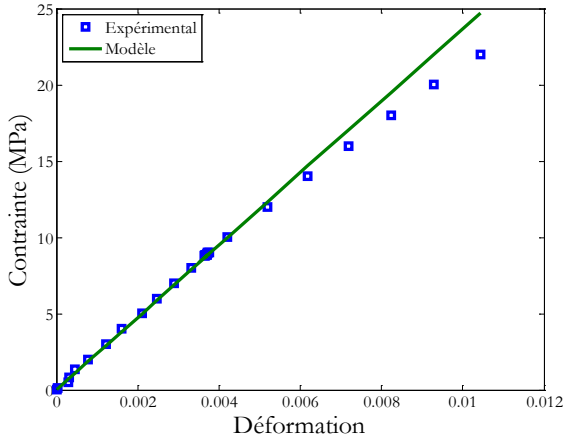


Figure 06 : Courbes expérimentale et simulée au seuil de plasticité

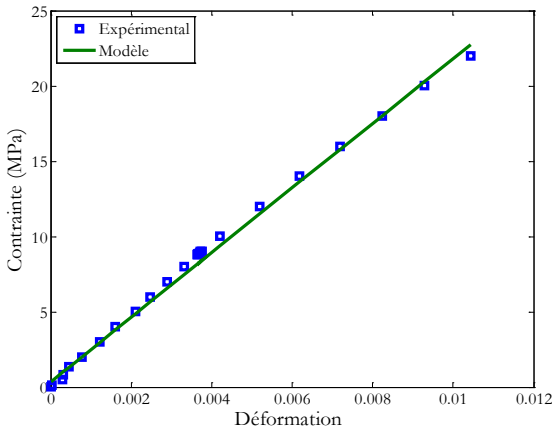


Figure 07 : Courbes viscoélastiques expérimentales et simulées avec les paramètres réidentifiés

Les paramètres viscoélastiques étant réidentifiés, une mise à jour des paramètres viscoplastique s'avère nécessaire. En effet, le changement des paramètres viscoélastiques entraîne assurément un changement des paramètres viscoplastiques parce que ces derniers sont identifiés à la lumière des premiers. De plus, le seuil de plasticité étant préalablement identifié, on prend en compte une plage de déformation qui s'étale du seuil de plasticité jusqu'à 3 %. De nouveaux paramètres viscoplastiques sont alors déterminés, y compris un nouveau seuil de plasticité qui n'est pas très différent du seuil préalable. Le Tableau 3 représente les paramètres viscoélastiques et viscoplastiques réidentifiés. La Figure 8 montre une comparaison entre les courbes expérimentale et simulée du modèle viscoélastique viscoplastique non linéaire avec réidentification des paramètres. On y remarque une très bonne cohérence des résultats aussi bien dans le domaine viscoélastique que dans le domaine viscoplastique. Par conséquent, le modèle viscoélastique viscoplastique non linéaire est le mieux adapté pour représenter le comportement du polyamide 6. La procédure d'identification par algorithmes génétiques

basée sur une identification préalable suivie d'une réidentification est validée.

Tableau 03 : Paramètres viscoélastiques et viscoplastiques réidentifiés

E (MPa)	K (MPa)	μ_{ve} (MPa.Min)	
2.9765e+03	7.3122e+03	2.3881e+04	
σ_e (MPa)	H (MPa)	n	μ_{vp} (MPa.Min)
22.0151	69.8468	0.3072	6.9623e+03

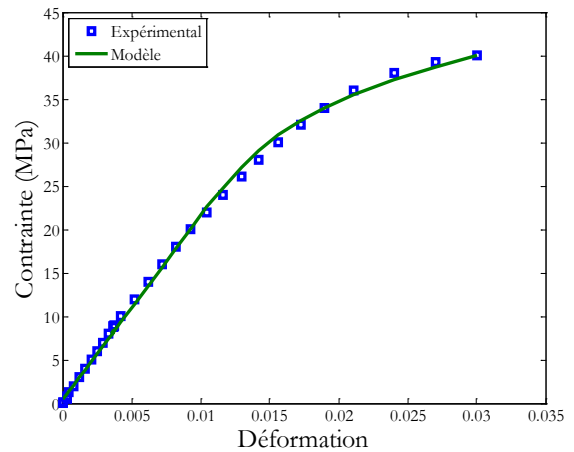


Figure 08 : Courbes expérimentale et simulée pour le modèle viscoélastique viscoplastique non linéaire avec réidentification des paramètres

6 CONCLUSION

En conclusion, un modèle rhéologique à deux variantes bilinéaire et à viscoplasticité non linéaire a été considéré. Le modèle prend en compte à la fois l'élasticité, la viscoélasticité, la viscoplasticité et l'écrouissage. Il a été investi dans le but de prédire le comportement d'un thermoplastique, un polyamide 6. Les équations des deux variantes du modèle ont été d'abord formulées. Un essai de traction à vitesse de déformation constante a été mené en vue de déterminer les paramètres du modèle. Une fonction objectif établissant l'écart entre les enregistrements expérimentaux et les résultats du modèle a été mise en place. Cette fonction étant très compliquée dans le domaine viscoplastique non linéaire, une identification par analyse inverse basée sur la technique des algorithmes génétiques a été privilégiée. L'équation régissant la loi de comportement viscoplastique étant non linéaire et très compliquée, un recours aux calculs numériques s'est avéré nécessaire. La méthode de dichotomie a été favorisée pour sa résolution.

Le modèle bilinéaire est un modèle simplifié permettant de simuler le comportement viscoélastique viscoplastique des thermoplastiques sans faire appel à des calculs numériques compliqués. Un gain de temps est ainsi assuré mais sans avoir en revanche des résultats satisfaisants. Par ailleurs, le modèle viscoélastique viscoplastique non linéaire offre des

résultats pertinents. Mais avec un cout de calcul élevé et des techniques numériques en contrepartie.

Le processus d'identification adapté a donné des résultats convaincants dans les deux variantes du modèle. Son originalité consiste en sa capacité d'identifier tous les paramètres du modèle y compris la contrainte seuil de plasticité. Il se fait en deux étapes, dont la première permet une identification préalable à la lumière de laquelle se fonde une réidentification finale plus précise.

REFERENCES

- [1] A. Maurel-Pantel, E. Baquet, J. Bikard, J. L. Bouvard, and N. Billon, "A thermo-mechanical large deformation constitutive model for polymers based on material network description: Application to a semi-crystalline polyamide 66," *International Journal of Plasticity*, vol. 67, pp. 102-126, 2015.
- [2] H. Abdul-Hameed, T. Messenger, F. Zaïri, and M. Naït-Abdelaziz, "Large-strain viscoelastic-viscoplastic constitutive modeling of semi-crystalline polymers and model identification by deterministic/evolutionary approach," *Computational Materials Science*, vol. 90, pp. 241-252, 2014.
- [3] K. Nakai and T. Yokoyama, "Strain Rate Dependence of Compressive Stress-Strain Loops of Several Polymers," *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, vol. 2, pp. 557-566, 2008.
- [4] H. Pouriayevali, S. Arabnejad, Y. B. Guo, and V. P. W. Shim, "A constitutive description of the rate-sensitive response of semi-crystalline polymers," *International Journal of Impact Engineering*, vol. 62, pp. 35-47, 2013.
- [5] C. R. Siviour and J. L. Jordan, "High Strain Rate Mechanics of Polymers: A Review," *Journal of Dynamic Behavior of Materials*, vol. 2, pp. 15-32, 2016.
- [6] D. Morin, G. Haugou, F. Lauro, B. Bennani, and B. Bourel, "Elasto-viscoplasticity Behaviour of a Structural Adhesive Under Compression Loadings at Low, Moderate and High Strain Rates," *Journal of Dynamic Behavior of Materials*, vol. 1, pp. 124-135, 2015.
- [7] O. U. Colak, "Modeling deformation behavior of polymers with viscoplasticity theory based on overstress," *International Journal of Plasticity*, vol. 21, pp. 145-160, 2005.
- [8] A. Gavras, "Identification automatique des paramètres rhéologiques par analyse inverse," *École Nationale Supérieure des Mines de Paris*, 1996.
- [9] N. Dusunceli, O. U. Colak, and C. Filiz, "Determination of material parameters of a viscoplastic model by genetic algorithm," *Materials & Design*, vol. 31, pp. 1250-1255, 2010.
- [10] T. Harth, S. Schwan, J. Lehn, and F. G. Kollmann, "Identification of material parameters for inelastic constitutive models: statistical analysis and design of experiments," *International Journal of Plasticity*, vol. 20, pp. 1403-1440, 2004.
- [11] S. Gerlach and A. Matzenmiller, "Comparison of numerical methods for identification of viscoelastic line spectra from static test data," *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 63, pp. 428-454, 2005.
- [12] L.-O. Nordin and J. Varna, "Methodology for parameter identification in nonlinear viscoelastic material model," *Mechanics of Time-Dependent Materials*, vol. 9, pp. 57-78, 2005.
- [13] X.-T. Feng, B.-R. Chen, C. Yang, H. Zhou, and X. Ding, "Identification of visco-elastic models for rocks using genetic programming coupled with the modified particle swarm optimization algorithm," *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 43, pp. 789-801, 2006.
- [14] R. Lewandowski and B. Chorążyczewski, "Identification of the parameters of the Kelvin-Voigt and the Maxwell fractional models, used to modeling of viscoelastic dampers," *Computers & Structures*, vol. 88, pp. 1-17, 2010.
- [15] G. Y. Wang and M. Wang, "Multi-Parameter Identification of Geomembrane Viscoelastic-Plastic Creep Constitutive Model by Genetic Algorithm," in *Applied Mechanics and Materials*, 2011, pp. 182-188.
- [16] A. Andrade-Campos, R. de-Carvalho, and R. A. F. Valente, "Novel criteria for determination of material model parameters," *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 54, pp. 294-305, 2012.
- [17] Z. Xiao, Y. Haitian, and H. Yiqian, "Identification of constitutive parameters for fractional viscoelasticity," *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, vol. 19, pp. 311-322, 2014.
- [18] W. Zhang, C. Cho, and Y. Xiao, "An effective inverse procedure for identifying viscoplastic material properties of polymer Nafion," *Computational Materials Science*, vol. 95, pp. 159-165, 2014.
- [19] S. S. Rao and S. Rao, *Engineering optimization: theory and practice*: John Wiley & Sons, 2009.
- [20] D. E. Golberg, "Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning," *Addison wesley*, vol. 1989, 1989.
- [21] J. H. Holland, *Adaptation in natural and artificial systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*: U Michigan Press, 1975.
- [22] J. McCall, "Genetic algorithms for modelling and optimisation," *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 184, pp. 205-222, 2005.
- [23] M. Kohandel, S. Sivaloganathan, and G. Tenti, "Estimation of the quasi-linear viscoelastic parameters using a genetic algorithm," *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 47, pp. 266-270, 2008.
- [24] M. Hadid, Y. Saadallah, A. Debilou, B. Guerira, and A. Guerrah, "The creep of an elastoviscoplastic beam under a bending loading," *Mechanics of Time-Dependent Materials*, pp. 1-15, 2014/08/08 2014.