



Caractérisation du comportement HIPS sous tension uni axiale et modélisation de la loi de comportement thermomécanique du module de Young dans le domaine élastique.

H.EL BHILAT ¹

A.HACHIM ²

K.EL HAD ²

¹ « Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique, Laboratoire de Contrôle et Caractérisation Mécanique des Matériaux et des Structures, Casablanca »

Hanan.el.bhilat@gmail.com

² « ISEM, Mécanique, route d'El Jadida, Casablanca, Maroc »

Résumé :

Ce travail est une contribution la caractérisation du comportement du polystyrène choc lors d'une sollicitation en traction ainsi que les différentes phases qui caractérisent l'évolution de la courbe de traction unidirectionnelle. Ce modèle théorique du module de Young du HIPS appliqué à ce matériau donne des bons résultats vers des températures élevées à partir de 60 °C pour décrire le comportement thermomécanique du polystyrène choc comparé à celui issu des essais en traction sous différentes températures.

1. Introduction :

La maîtrise du comportement des matériaux polymères et des structures exposés à des variations de températures est nécessaire lors de la conception et de l'utilisation de ces matériaux afin de prévenir la température critique, l'objectifs de ce travail et de caractériser le comportement du polystyrène choc (High Impact Polystyrene HIPS) lors de la sollicitation en traction unidirectionnelle et de modéliser la variation du module de Young en fonction de la température à partir de la loi de comportement thermomécanique [1] dans le domaine élastique et de le comparer avec les résultats expérimentaux.

2. Expérimentation et méthode :

1. Caractérisation du matériau:

Les essais de traction ont été réalisés sur une machine universelle «Zwick ROELL» au laboratoire LPEE de Casablanca, avec une charge maximale de 2,5 KN, ce qui nous a permis d'obtenir plus de précision dans nos tests, compte tenu de la nature du matériel d'essai la géométrie de l'éprouvette qui a une faible épaisseur. La machine d'essai de traction se compose normalement de deux mâchoires qui peuvent être déplacées à une gamme de vitesses constantes choisies par l'opérateur. Une cellule de charge est montée sur une mâchoire et, à l'aide d'une paire de poignées, un échantillon est fixé entre la cellule de charge et une plaque de base fixe. Lorsque le faisceau se déplace, la force sur l'échantillon est enregistrée par la cellule de charge et la contrainte est mesurée à l'aide d'un extensomètre.

Les courbes d'essai donnant la contrainte en fonction de l'allongement sont données sur la figure 3:

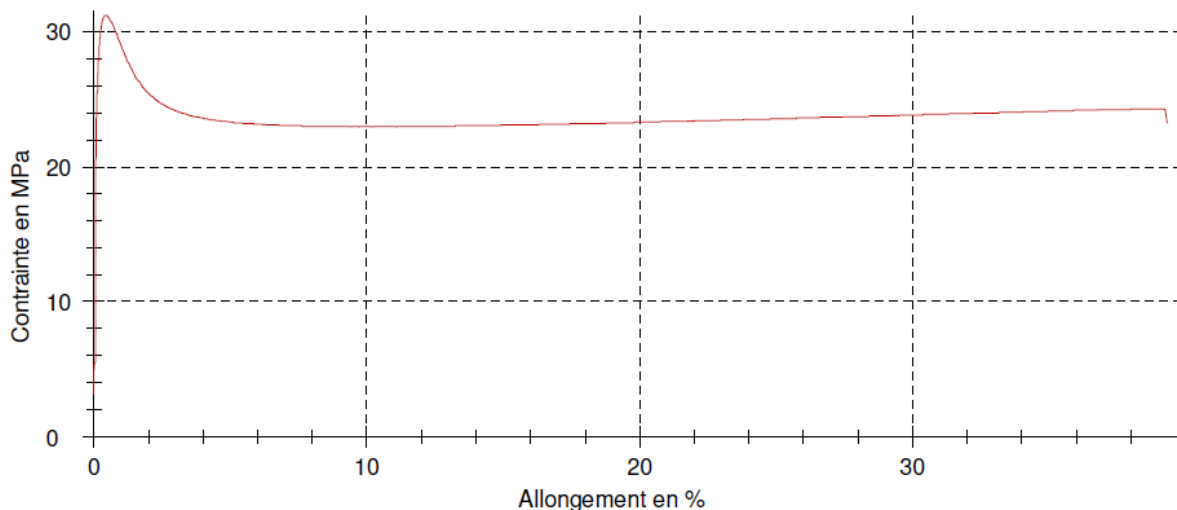


Figure 3: La courbe contrainte-déformation des éprouvettes en HIPS

2. Détermination de la loi de comportement thermoélastique d'un matériau

Soit un matériau isotrope unidirectionnel, soumis à des contraintes mécaniques et à un gradient thermique $\phi = \Delta T$. La contrainte totale σ subie par le matériau est la somme des contraintes thermique et mécanique.

La loi de Hooke établie entre les contraintes mécaniques et les déformations élastiques donne la relation suivante [2] :

$$\varepsilon = \frac{1}{E} (\sigma - \sigma_{thermique}) \quad (1)$$

Où la contrainte thermique est définie par la relation:

$$\sigma_{thermique} = E_0 \alpha \Delta T \quad (2)$$

Avec : $\Delta T = T - T_0$

Où E_0 est le module d'Young du matériau à la température T_0 et α est le coefficient de dilatation thermique du matériau.

Le comportement élastique, caractérisé par la réversibilité des déformations lors de la suppression des contraintes, ne se manifeste seul que pour des contraintes inférieures à une valeur limite, notée R_e qui est appelée limite d'élasticité [3], comme l'indique la figure suivante :

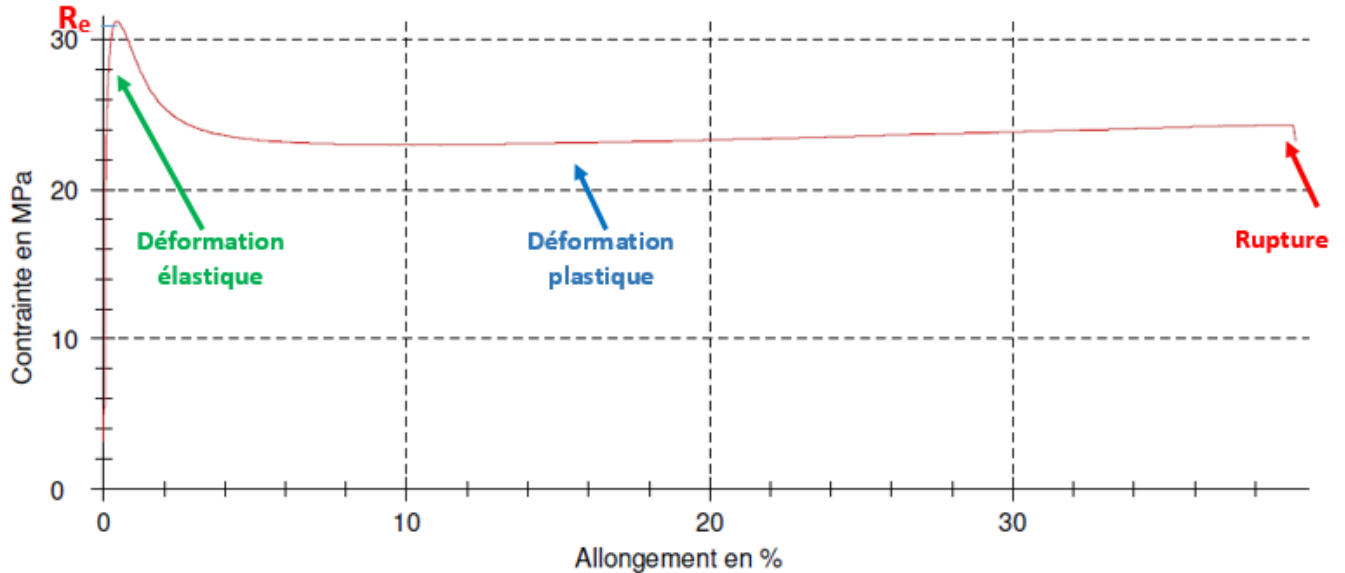


Figure 2 : Courbe de traction unidirectionnelle des polymères

Au-delà de cette valeur limite, les déformations permanentes s'ajoutent aux déformations élastiques et/ou bien la rupture se produit. Sachant que le module d'élasticité est la pente de la courbe contrainte-déformation [4,5], il est nécessaire, pour avoir une valeur optimale du module E de supposer que la contrainte totale σ ne doit pas dépasser la limite d'élasticité R_e du matériau. Cette approximation permet également de rester dans la zone des déformations

élastiques. On pose donc :

$$\sigma = R_e \quad (3)$$

En considérant les relations (2) et (3), la relation (4) devient:

$$\varepsilon = \frac{1}{E} (R_e - E_0 \alpha \Delta T) \quad (4)$$

Soit :

$$E = \frac{1}{\varepsilon} (R_e - E_0 \alpha \Delta T) \quad (5)$$

On suppose qu'à la température T_0 , $E = E_0$. Et $\varepsilon_{\text{thermique}} = \alpha \Delta T = 0$. Avec cette hypothèse, nous obtenons:

$$\varepsilon = \frac{R_e}{E} \quad (6)$$

Les relations (5) et (6) conduisent alors à l'équation:

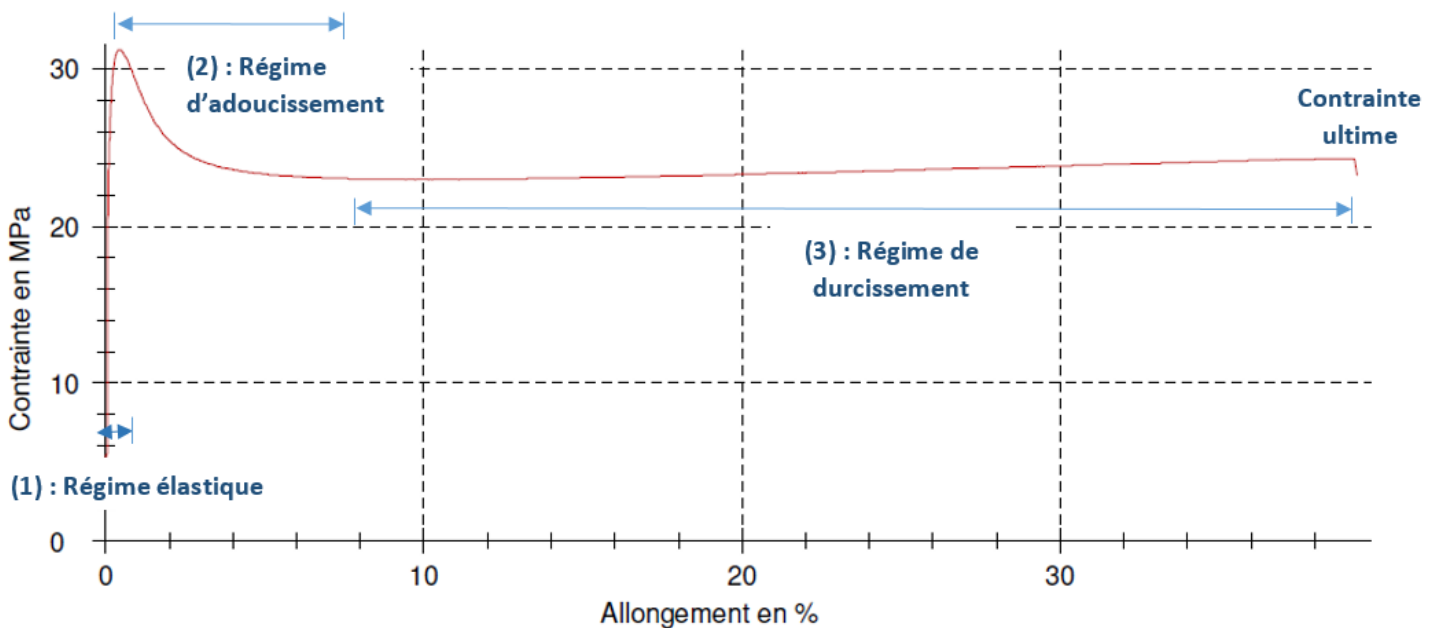
$$E = \frac{E_0}{R_e} (R_e - E_0 \alpha \Delta T) \quad (7)$$

La relation (7) permet de calculer théoriquement le module d'Young d'un matériau en fonction de la température. Nous l'utiliserons pour la détermination du module d'élasticité de deux matériaux à diverses températures.

3. Résultats

1. Réponse du matériau à 25 °C:

La réponse initiale de contrainte-déformation du HIPS est approximativement linéaire, bien que le module soit plus faible en raison de la présence du caoutchouc. Cependant, à une



contrainte de 23 MPa, l'échantillon commence à blanchir, et par la suite les propriétés de contrainte-déformation sont complètement différentes de celles du polystyrène. Il y a une limite d'élasticité à 31,23 MPa, suivie d'une chute de contrainte à 23,7 MPa. La contrainte monte alors très lentement jusqu'à ce que l'éprouvette se rompe à une contrainte de 24,8 MPa et un allongement à la rupture de l'ordre de 40%. Le blanchiment sous contrainte observé à un allongement de 1% devient plus intense au fur et à mesure que le test se déroule et il est évident qu'il n'y a aucun signe de rétreint: la section transversale de l'échantillon change très peu entre la limite d'élasticité et la fissure.

Figure 3: Les différentes phases de la courbe contrainte-déformation du HIPS

Dans la partie initiale de la courbe HIPS (figure 3), le matériau se comporte de manière élastique, c'est-à-dire que la contrainte est proportionnelle à la déformation et que la loi de Hooke est respectée (régime élastique(1)). Ce comportement élastique est réversible. Au fur et à mesure que la contrainte augmente, la courbe diminue jusqu'à ce qu'elle atteigne un maximum, classiquement appelé point d'écoulement. Après déformation, le matériau subit une déformation plastique ou «quasi plastique» qui présente un allongement important à une contrainte presque constante (régime de l'adoucissement(2)). Dans cette région, la déformation appliquée est en partie irréversible. Au-delà du seuil d'écoulement (contrainte d'écoulement), la contrainte augmente à nouveau et le matériau subit un durcissement (3). À un certain point de déformation, le matériau se casse finalement (Young et Lovell, 1986) [6].

2. Application du modèle

Dans nos simulations, nous allons prendre le polystyrène choc dont le module d'Young à la température ambiante T_0 vaut $E_0 = 0.24$ GPa et dont le coefficient de dilatation et la limite d'élasticité valent respectivement $\alpha_{HIPS} = 10.10 \cdot 10^{-5} K^{-1}$ et $Re = 30.5$ Mpa nous prenons $T_0 = 25^\circ C$.

Ensuite nous avons appliqué le modèle thermomécanique à plusieurs températures, en parallèle nous avons effectué une série d'essais de traction des éprouvettes en HIPS allant de la température ambiante $T = 25^\circ C$ jusqu'à la température $T = 100^\circ C$ (le matériau n'est plus manipulable).

La courbe de la figure montre l'évolution du module de Young lors des essais de traction sur les différentes températures :

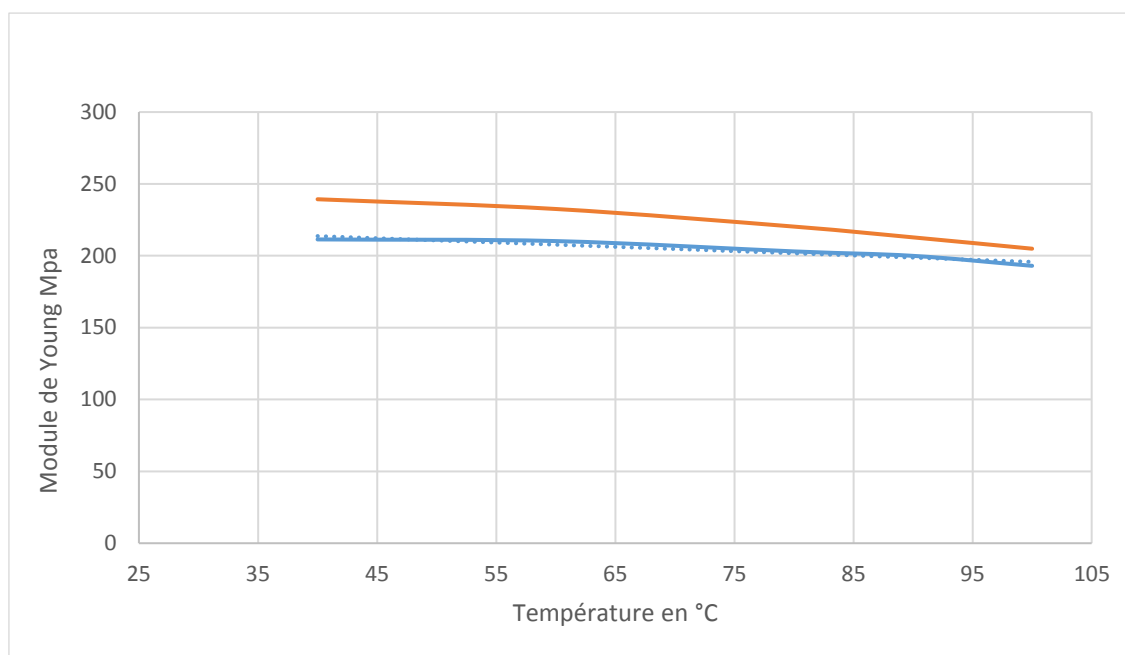


Figure 4 : Variation du module de Young du HIPS théorique et expérimental en fonction de la température

Le tableau 1 regroupe les résultats issus des courbes précédentes :

Tableau 1 : Valeurs du module d'Young du HIPS en fonction de la température

Température (°C)	Module de Young expérimental (Mpa)	Module de Young modélisé (Mpa)	Erreur relative (%)
40	211,37	239,3262754	13,22623
60	210,229	232,5514914	10,61818
80	203,04	220,304717	8,503111
90	199,947	212,8018489	6,429128
100	193,01	204,9202494	6,170794

D'après le tableau des résultats, nous constatons que l'erreur relative dépasse 10% pour des températures inférieures à 60 °C, pour des températures plus élevées cette erreur diminue remarquablement, la cause de cette différence peut être attribuée au comportement du polystyrène choc sous des températures assez proche de la température ambiante, en effet, le matériau rigide semble se déformer élastiquement d'un point de vue macroscopique alors qu'il développe des petits craquelures à l'intérieur même avant l'atteinte de la limite d'écoulement, ce phénomène s'annule vers des températures plus élevées lorsque le matériau devient plus ductile.

4. Conclusion :

Dans ce travail nous avons décrit le comportement du polystyrène choc lors d'une sollicitation en traction ainsi que les différentes phases qui caractérisent l'évolution de la courbe de traction unidirectionnelle. Ensuite nous avons constaté que le modèle théorique du module de Young du HIPS donne des bons résultats vers des températures élevées pour décrire le comportement thermomécanique du polystyrène choc comparé à celui issu des essais en traction sous différentes températures.

5. Bibliographie :

- [1] Lemanle et al. J. Mater. Environ. Sci. 4 (6) (2013) 1034-1041
- [2] Collard, C., Benzineb, T., Patoor, E., Bensalah, O. M., Mater. Sci. Eng., A, 481-482, (2008) 366-370.
- [3] Dour, G., Durand, F. Bréch, Y., Mater. Sci. Eng. 5, (1997) 275-288.
- [4] Michel, D., Aide-mémoire science des matériaux, Dunod, Paris (2004) 89-130.
- [5] Zhonghao, J., Xianli ; L., Hanzhuo, Z., Guangyue, L., Jianshe, L., Comp. Sci. Tech., Volume 65, (2005) 1176-1194
- [6] Bucknall, C B (1977), "Toughened Plastics", Applied Science, London