

Etude de la conductivité thermique des polymères dans les conditions industrielles de mise en forme

Abdellah HADDOUT^{1*}, Mariam BENHADOU¹, Mohamed MAZOUZI¹, Gilbert VILLOUTREIX²

(1) : Equipe Rhéologie et Mise en forme des Matières Plastiques - ENSEM
BP 8118 Oasis Route d'Eljadida Casablanca

(2) : Laboratoire des Matériaux Polymères Industriels – CNAM- PARIS
292, Rue Saint Martin 75141 Paris 03

* E-mail : abhaddout@yahoo.fr

Résumé

Nous présentons dans cet article un appareil développé au laboratoire permettant la détermination de la conductivité thermique des polymères thermoplastiques dans les conditions industrielles de températures et de pressions rencontrées dans le processus de mise en forme par injection. Ensuite, nous présentons des résultats de mesures de conductivités thermiques de différents polymères thermoplastiques en fonction de leur structure, de la température et de la pression rencontrées en production industrielle

Nomenclature

T_0	température d'injection à l'instant initial, K
$T_{(e/2, t)}$	température à cœur, K
T_m	température à la paroi du moule à l'instant initial, K
C	capacité thermique massique, $J.kg^{-1}.K^{-1}$
λ	conductivité thermique, $W.m^{-1}.K^{-1}$
ρ	masse volumique, $Kg.m^{-3}$
e	épaisseur de la pièce, m
Q	flux de chaleur
R_1	rayon du cylindre chauffant
R_2	rayon du fourreau,
L	longueur du cylindre
T_1	température à la paroi du cylindre chauffant,
T_2	température à la paroi du fourreau

1. Introduction

L'injection des polymères est une technique de fabrication de pièces ou objets encore mal maîtrisée sur le plan de la recherche. Cette technique doit cependant répondre à une demande industrielle de plus en plus pressante et exigeante. Il s'agit, dans le cas des thermoplastiques de fondre un polymère initialement sous forme de poudres ou de granulés dans une presse à injecter et de le forcer à s'écouler à l'état fondu dans un moule fixé sur la presse. Le polymère se refroidit alors en épousant la forme de l'empreinte. Les paramètres de base de la transformation sont la température, la pression, le volume et le temps [1].

L'étude des phénomènes thermiques intervenant au cours du cycle de mise en œuvre par injection des polymères est d'un intérêt fondamental et technique évident. En effet, Les

polymères thermoplastiques sont constitués de macromolécules aisément déformables dans un écoulement. Il en résulte que la structure et la morphologie de tels polymères dépendent fortement des conditions de mise en forme par injection en particulier, de la pression, de la vitesse de refroidissement et des caractéristiques intrinsèques du matériau [2].

La détermination expérimentale des grandeurs thermophysiques des polymères dans les conditions industrielles de mise en forme, permet une maîtrise du processus de production par l'utilisation rationnelle de l'énergie thermique conduisant à l'accroissement des cadences de fabrication et à l'amélioration de la qualité des pièces réalisées. Par ailleurs, le temps de refroidissement moyen "t" du polymère dans le moule représente jusqu'à 65% du temps total du cycle d'injection. Ce temps est souvent calculé à partir de la relation approchée suivante :

$$t = \frac{C \rho e^2}{\pi^2 \lambda} \ln \left[\frac{4 (T_0 - T_m)}{\pi (T_{\frac{e}{2}, t} - T_m)} \right] \quad (1)$$

La maîtrise du temps de refroidissement d'une pièce injectée, permet de déterminer le temps total du cycle de moulage et conduit à l'estimation des coûts de fabrication. Cela ne peut être possible que par la connaissance exacte des caractéristiques du polymère dans les conditions réelles de production et notamment de la conductivité thermique et du volume spécifique en fonction de la pression et la température [3,4].

Le Principe de la méthode du fil chauffant, fort connue et souvent utilisée [5], a fait l'objet d'une nouvelle analyse conduisant à une méthode permettant l'étude de la conductivité thermique des polymères dans les conditions de température et de pression rencontrées en production industrielle [6].

2. Procédure Expérimentale

Le dispositif expérimental comprend une cellule cylindrique en acier inoxydable thermorégulée, d'un diamètre de 9,5mm et de longueur 400mm. Cette cellule possède un orifice supérieur qui permet le centrage du cylindre chauffant, le remplissage de la matière et l'application de la pression à l'aide d'un piston coulissant. Le cylindre chauffant d'une longueur de 90mm et d'un diamètre de 1,5mm est constitué de fil de constantan. La puissance est fournie par une alimentation stabilisée. L'évolution de la température en fonction du temps à différentes distances de l'axe de la cellule est mesurée à l'aide de thermocouples. L'ensemble est relié à un système d'acquisition et de traitement des données. La figure 1 montre le schéma de principe de l'installation de mesure que nous avons développé au laboratoire.

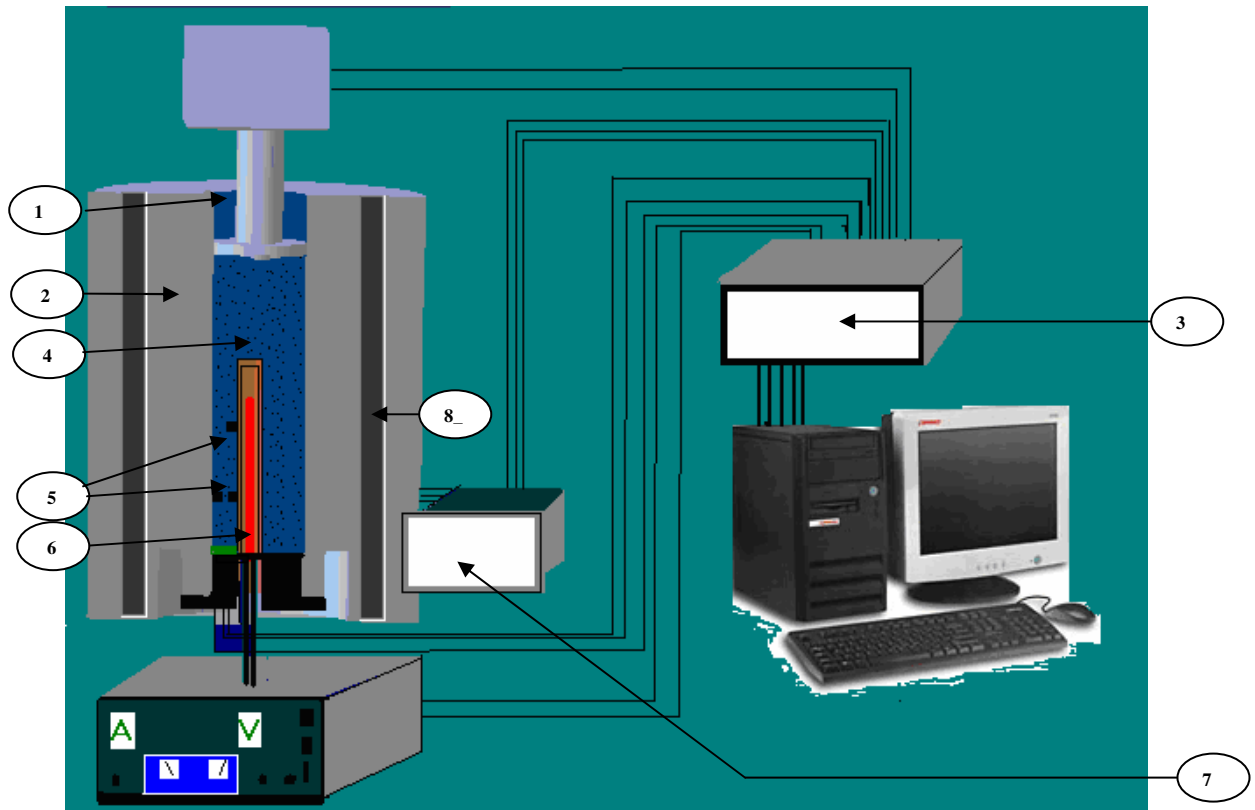


Figure 1 : Schéma global de l'installation

1-Piston, 2- Fourreau, 3- Carte d'acquisition, 4- Matière, 5-Capteurs de température, 6- Fil chauffant, 7- Amplificateur, 8-Resistances Chauffantes

L'appareil permet l'étude de la compressibilité des polymères dans les conditions d'injection. Les essais peuvent être effectués sur les polymères amorphes ou semi cristallins. L'appareil permet aussi de déterminer les propriétés thermo physiques telles que la conductivité thermique, la masse volumique, la diffusivité thermique pour les matériaux thermoplastique (vierges, recyclés, mélanges, composites) dans les conditions d'injection et d'extrusion.

3. Mesure de la conductivité thermique

Pour effectuer les mesures de conductivité thermique du polymère à température et à pression données, le remplissage du fourreau est réalisé avec une masse déterminée de polymère; le centrage de la sonde est obtenu grâce à un système de fixation adapté. Le système de fixation du cylindre intérieur est conçu de telle sorte à dégager l'air emprisonné dans la cellule lors du remplissage de la matière et éviter toute perte de matière. L'équilibre thermique atteint, un faible courant régulé est maintenu dans la sonde chauffante. Les conditions opératoires mises en place, nous permettent d'assurer un meilleur contact entre la matière et le cylindre chauffant ce qui permet de rendre l'effet de la résistance de contact négligeable.

Nous enregistrons la variation de la température mesurée par les différents couples thermoélectriques à l'aide de la chaîne d'acquisition informatisée étalonnée. En connaissant la puissance dissipée Q et en s'assurant de la coaxialité des cylindres et du régime d'équilibre thermique, la conductivité thermique est déterminée à température et à pression données par l'expression classique suivante:

$$\lambda = \frac{Q}{2\pi L} \frac{\log(R_2/R_1)}{(T_1 - T_2)} \quad (2)$$

4. Résultats et discussions

Les résultats obtenus par le dispositif permettent : La maîtrise des phénomènes thermiques rencontrés en injection : auto-échauffement au cours de la plastification et refroidissement dans les moules d'injection. La maîtrise des problèmes de retrait et de glissement liés à la compressibilité du matériau. Ainsi, nous avons mis en évidence des différences très sensibles entre les valeurs de conductivité des échantillons de même produit, cristallisés à haute et à basse température. L'évolution de la conductivité thermique en fonction de la température, de la pression et de l'état structural du polymère a fait l'objet d'une analyse fine et comparative entre polymères thermoplastiques, amorphes et semi cristallins. La figure 2 montre l'augmentation non linéaire de la conductivité thermique du polypropylène en fonction de la pression à température donnée. La variation du volume spécifique de la matière en fonction de la pression a une conséquence directe sur la variation de la conductivité thermique.

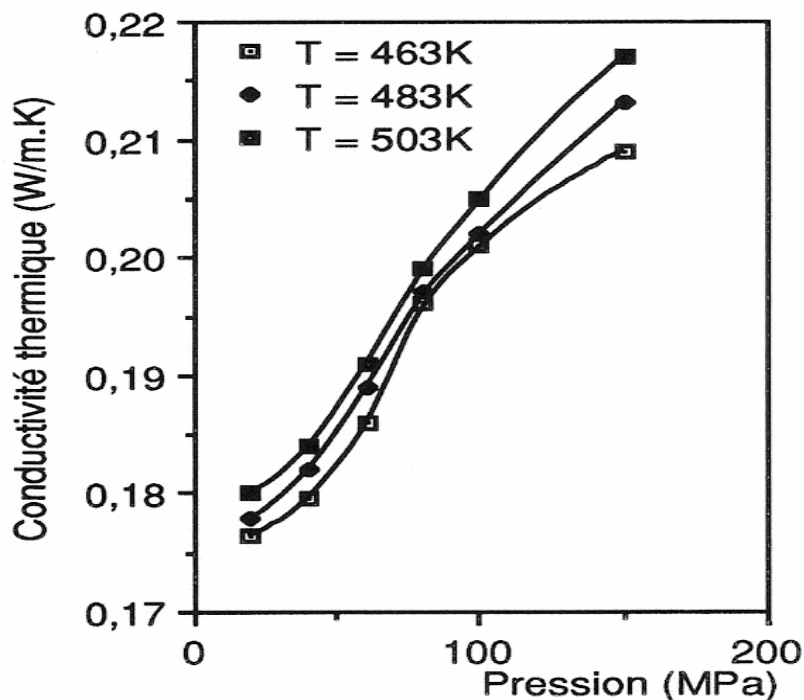


Figure 2 : Evolution de la conductivité thermique du polypropylène en fonction de la pression à température donnée

La figure 3, montre l'évolution de la conductivité thermique du polystyrène en fonction de la pression à température donnée. L'élévation de la température provoque l'accroissement de la mobilité des chaînes pouvant conduire à l'augmentation de la conductivité. Cependant les difficultés de déplacement des macromolécules qui résultent de la présence et de la disposition irrégulière de groupes volumineux ou polaires, expliquent la faible variation de la conductivité du polystyrène.

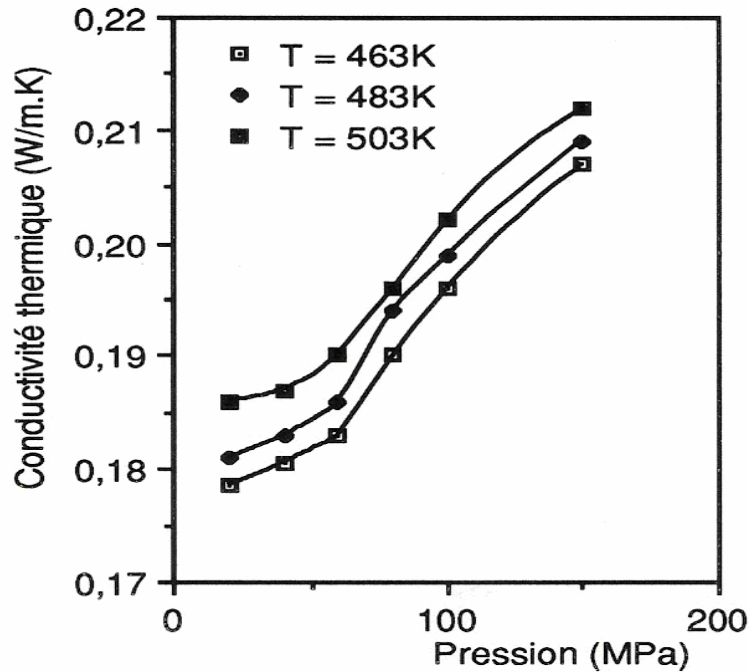


Figure 3 : Evolution de la conductivité thermique du polystyrène en fonction de la pression à température donnée.

Parmi les travaux actuellement en cours nous essayons d'étudier une gamme assez complète de polymères semi cristallins et amorphes ainsi que des mélanges et des composites thermoplastiques, renforcés par des fibres de verre ou fibres de carbone, tout en recherchant à dégager des corrélations avec des modèles semi empiriques existants.

5. Conclusion

Nous avons réalisé nos essais à l'aide d'un dispositif expérimental développé au laboratoire et qui a fait l'objet de brevet international. Cet appareil permet les mesures du volume spécifique et de la conductivité thermique des polymères dans les conditions de température et de pression rencontrées en production industrielle. Ces valeurs permettront par ailleurs d'alimenter la base de données des logiciels de conception assistée par ordinateur et d'améliorer la modélisation des écoulements des polymères à l'état fondu et une meilleure maîtrise des cycles d'injection.

Références

- [1] Y. Shiraishi, H. Norikane, N. Narazaki, T. Kikutani, , International Polymer Processing 17 (2) (2002) 166-175.
- [2] A. Bendada, A. Derdouri, M. Lamontagne, Y. Simard, Review of Scientific Instruments 74 (12) (2003) 5282-5284
- [3] P. Hedvic, Inter. Poly. Sci.Tech.; 17, 9, (1990).
- [4] J. Thomasseta, et coll.; J. Non-Newtonian Fluid Mech. 125 (2005) 25-34
- [5] W.Dietz, thèse de docteur –Ingénieur Université Paris 6 (1976)
- [6] A. Haddout et coll; Brevet d'invention N° 26204 déposé en décembre 2003.