



HAL
open science

Intérêt d'une géométrie annulaire dans l'analyse d'un écoulement de polymère

Rémi Deterre, Qiao Lin, Nadine Allanic, Pierre Mousseau, Yves Beraux,
Manuel Girault

► **To cite this version:**

Rémi Deterre, Qiao Lin, Nadine Allanic, Pierre Mousseau, Yves Beraux, et al.. Intérêt d'une géométrie annulaire dans l'analyse d'un écoulement de polymère. CNR IUT 2021, Jun 2021, Lyon, France. hal-03452600

HAL Id: hal-03452600

<https://hal.science/hal-03452600>

Submitted on 27 Nov 2021

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.

Intérêt d'une géométrie annulaire dans l'analyse d'un écoulement de polymère

Qiao Lin¹

qiao.lin@univ-nantes.fr

Nadine Allanic¹

Nadine.Allanic@univ-nantes.fr

Rémi Deterre¹

Remi.Deterre@univ-nantes.fr

Pierre Mousseau¹

Pierre.Mousseau@univ-nantes.fr

Yves Bereaux¹

Yves.Bereaux@univ-nantes.fr

Manuel Girault²

manuel.girault@ensma.fr

¹ IUT de Nantes, Université de Nantes
CNRS, GEPEA, UMR 6144

² Institut P', Université de Poitiers,
CNRS, ENSMA, UPR 3346

Thèmes – Matériaux - Energie

Résumé – *Ce papier propose un nouveau concept de surveillance en ligne des procédés de mise en œuvre des polymères, via des mesures thermiques en aval d'une extrudeuse ou d'une presse. Grâce à une géométrie annulaire, la prise de mesure de température au cœur de l'écoulement est facilitée et isolée des perturbations thermiques extérieures. Ces mesures de température sont des indicateurs de suivi de production. De plus, la géométrie annulaire favorise une forte concentration d'auto-échauffement (dissipation visqueuse) sur la paroi de l'axe central, comparée à une géométrie classique cylindrique soumise à la même puissance mécanique externe. L'analyse sur cet auto-échauffement, lié aux propriétés de la matière, peut aider à mieux connaître l'écoulement et rendre les prédictions numériques fiables.*

Mots-Clés – Thermo-rhéologie, fluide non-newtonien, dissipation visqueuse, annulaire

1 Introduction

La simulation numérique est beaucoup utilisée dans le domaine de la mise en œuvre des polymères pour la conception des moules, l'optimisation des procédés et l'amélioration de la qualité des produits. Afin de mettre en valeur la fiabilité de la modélisation numérique des écoulements polymères, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance sur les propriétés thermo-rhéologiques (notamment la viscosité) du matériau et sur les conditions de mise en œuvre.

Pendant la production, les propriétés du matériau dépendent de la température, de la pression, des réactions chimiques (y compris l'oxydation) et de la contrainte mécanique subie dans des procédés antérieurs [1], sans parler des matériaux recyclés et bio-sourcés aux caractéristiques fluctuantes, mal connues et facilement dégradables [2,3]. Bien que le matériau puisse être caractérisé en laboratoire dans des conditions proches de la mise en œuvre, l'accès à ce type d'équipements reste cependant un frein pour l'industriel. Il existe un réel besoin de mesures de viscosité en ligne pour rendre la production plus flexible et adaptée à l'état des matières premières.

Actuellement, les mesures les plus courantes sur une ligne de production de polymère sont des mesures de pression et de température [4,5]. Les mesures de pression donnent une image de la viscosité de la matière. La plupart des mesures de température sont réalisées avec des thermocouples dans les parois des canaux et facilement perturbées par la régulation de température de l'outillage. Peu d'études [6] utilisent l'auto-échauffement dû à la viscosité comme information pour la caractérisation.

Dans ce travail, une géométrie annulaire est proposée pour un dispositif de surveillance des procédés. Sa capacité de provoquer l'auto-échauffement est d'abord analysée. Ensuite, une étude numérique démontre la robustesse des mesures thermiques dans cette géométrie.

2 Formulation analytique - Sensibilité

Pour décrire un écoulement axial laminaire dans un canal annulaire (figure 1), définissons le rayon extérieur R de l'écoulement, le rayon σR de l'axe central et la position λR où la vitesse d'écoulement atteint sa valeur maximale.

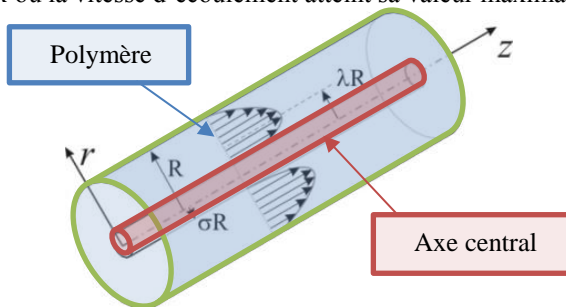


Figure 1 – Schéma d'un écoulement annulaire

Le fluide est supposé pseudo-plastique suivant la loi de puissance :

$$\tau = K|\dot{\gamma}|^{n-1}\dot{\gamma} = \eta\dot{\gamma}$$

avec τ le contrainte de cisaillement (Pa), $\dot{\gamma}$ le taux de cisaillement (s^{-1}), K le coefficient de loi de puissance, n l'indice de loi de puissance et η la viscosité (Pa.s).

En prenant en compte les conditions de mise en œuvre industrielles et les matériaux classiques qui couvrent une grande plage de viscosité, les dimensions $\sigma = 0,4$ et $R = 10$ mm sont choisies pour optimiser l'auto-échauffement de la matière dans notre géométrie annulaire afin d'en servir comme information liée aux propriétés du matériau. Grâce aux études de Bird & al. [7] et de Hanks & Larsen [8], la puissance volumique P de l'auto-échauffement (en W/m^3) dans une géométrie annulaire et cylindrique (sans l'axe central) s'écrit respectivement :

$$P = \frac{3n+1}{2\pi n} \frac{1}{R^2} \frac{dP_m}{dz} \frac{\left| \lambda^2 \left(\frac{r}{R}\right)^{-1} - \frac{r}{R} \right|^{\frac{1}{n}+1}}{\left[(1-\lambda^2)^{\frac{1}{n}+1} - \sigma^{1-\frac{1}{n}} (\lambda^2 - \sigma^2)^{\frac{1}{n}+1} \right]} \quad (1)$$

$$P = \frac{3n+1}{2\pi n} \frac{1}{R^2} \frac{dP_m}{dz} \left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{n}+1} \quad (2)$$

avec P_m la puissance mécanique (débit fois pression) fournie par l'extrudeuse ou la presse à injecter. λ peut être calculé avec des méthodes numériques ou des modèles approximatifs [9]. On introduit aussi :

- r/R la position relative au rayon extérieur R
- P^* le rapport entre P la puissance de l'auto-échauffement et $\frac{1}{R^2} \frac{dP_m}{dz}$ la puissance mécanique externe sur une unité de volume.

La puissance relative P^* est tracée sur la figure 2. Car on a choisi $\sigma = 0,4$ pour la géométrie annulaire, la paroi de l'axe central ($r = \sigma R$) se situe à la position relative $r/R = 0,4$. Trois matériaux avec un indice n de 1, 0,5 et 0,3 sont étudiés et représentent une large gamme des plastiques courants.

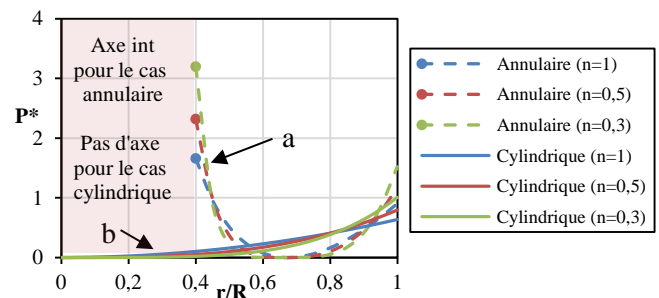


Figure 2 – P^* pour les matériaux ayant un indice n de 1, 0,5 et 0,3 dans une géométrie (a) annulaire ($\sigma = 0,4$) et (b) cylindrique

La figure 2 montre qu'avec la même puissance mécanique externe, la puissance d'auto-échauffement est plus forte sur la paroi de l'axe central à $r/R = 0,4$. Les mesures à l'axe central de la géométrie annulaire ont donc des signaux thermiques plus sensibles aux propriétés du fluide, comparées à celles d'une géométrie cylindrique.

3 Simulation numérique – Robustesse

Une simulation numérique d'un écoulement annulaire est réalisée en 2D axisymétrique avec le logiciel Polyflow. La configuration de simulation est décrite dans la figure 3.

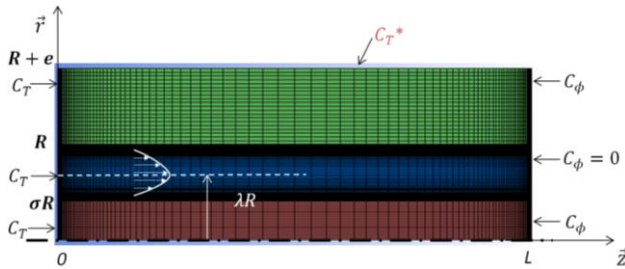


Figure 3 – Configuration de simulation numérique

Le canal annulaire (en rouge et vert dans la figure 3) est en acier avec une conductivité thermique de $49 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{°C})$, une masse volumique de $7800 \text{ kg}/\text{m}^3$ et une capacité calorifique de $444 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$. Sa longueur L et le rayon R sont fixés à 50 mm et à 10 mm . L'épaisseur e vaut 8 mm . On notera le faible encombrement de ce dispositif de surveillance. Le polymère fondu (en bleu dans la figure 3) est du polypropylène (viscosité : $K = 4636$; $n = 0,332$) avec une conductivité thermique de $49 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, une masse volumique de $7800 \text{ kg}/\text{m}^3$ et une capacité calorifique de $444 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$. Son débit est fixé à $60 \text{ cm}^3/\text{s}$. C_T représente une condition aux limites de type température imposée (180 °C). C_ϕ représente une condition aux limites convective.

Une première simulation sert de référence. Ensuite, la température de la condition C_T^* est réduite à 150 °C . Dans la figure 4, les profils de température en fonction de la position relative r/R aux trois différents niveaux z sont présentés pour ces deux cas de simulation.

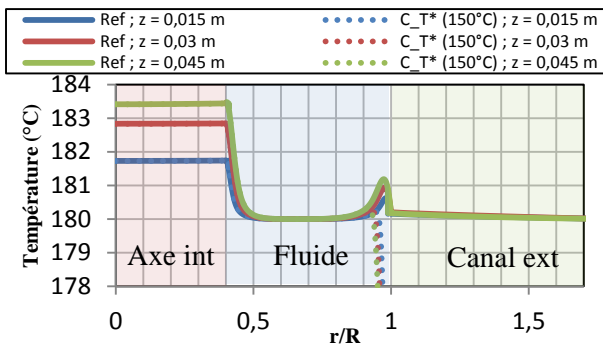


Figure 4 – Température à plusieurs niveaux z

Les courbes (figure 4) de différentes couleurs confirment que la température augmente quand l'écoulement avance dans la direction z et que cet auto-échauffement est plus détectable dans l'axe central ($r/R \leq 0,4$). La comparaison entre les courbes continues et celles discontinues prouve que le champ de température dans l'axe central est peu perturbé par la variation brutale de la température

extérieure (condition C_T^*). Cette robustesse, grâce à l'écoulement du polymère ($0,4 < r/R < 1$) ayant une conductivité thermique faible soumis au débit de mise en œuvre, ne peut pas être obtenue en réalisant des mesures avec des thermocouples installés dans la paroi du canal ($r/R > 1$) d'un écoulement cylindrique.

4 Conclusions

La géométrie annulaire de notre cas d'étude favorise un grand auto-échauffement dû à la viscosité du matériau, sur l'axe central. De plus, le champ de température à l'axe central est isolé des perturbations thermiques extérieures grâce à l'écoulement de polymère autour. Cette géométrie peut être appliquée aux dispositifs de surveillance en ligne de production des polymères, avec des thermocouples installés à l'axe central afin de réaliser des mesures à la fois sensibles et robustes par rapport aux variations des propriétés thermo-rhéologiques des polymères.

Références

- [1] J.-F. Agassant, P. Avenas, P.J. Carreau, B. Vergnes, M. Vincent, Polymer processing: principles and modeling, Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2017.
- [2] E. Ojogbo, E.O. Ogunsona, T.H. Mekonnen, Chemical and physical modifications of starch for renewable polymeric materials, Materials Today Sustainability. 7–8 (2020) 100028. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2019.100028>.
- [3] G.E.H. Sleiman, I. Petit, N. Allanic, S. Belhabib, Y. Madec, J. Launay, R. Deterre, Study of the rheological behavior of polypropylene/polyethylene extruded mixture using an instrumented die, AIP Conference Proceedings. 1914 (2017) 040005. <https://doi.org/10.1063/1.5016715>.
- [4] H.-J. Luger, J. Miethlinger, Development of an online rheometer for simultaneous measurement of shear and extensional viscosity during the polymer extrusion process, Polymer Testing. 77 (2019) 105914. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.105914>.
- [5] V. Mazzanti, F. Mollica, In-line rheometry of polypropylene based Wood Polymer Composites, Polymer Testing. 47 (2015) 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2015.08.003>.
- [6] C. Pujos, Estimation de la rhéologie d'un polymère dans une filière d'extrusion Simulation d'écoulement avec transferts thermiques et inversion de mesures, Thèse de doctorat, Bordeaux 1, 2006. <http://www.theses.fr/2006BOR13253> (accessed December 22, 2020).
- [7] A. Fredrickson, R.B. Bird, Non-Newtonian flow in annuli, Industrial & Engineering Chemistry. 50 (1958) 347–352.
- [8] R.W. Hanks, K.M. Larsen, The flow of power-law non-Newtonian fluids in concentric annuli, Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals. 18 (1979) 33–35.
- [9] R. Deterre, F. Nicoleau, Q. Lin, N. Allanic, P. Mousseau, The flow of power-law fluids in concentric annuli: A full analytical approximate solution, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. 285 (2020) 104392. <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2020.104392>.