

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
المركز الجامعي بلحاج بوشعيب لعين تموشنت
Centre Universitaire Belhadj Bochaib d'Ain-Temouchent
Institut de Sciences et Technologie
Département de Génie Mécanique



Projet de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : Sciences et Technologie
Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Energétique

Thème

Etude transfert de chaleur dans un écoulement de
polymère fondu en régime non stationnaire

Présenté Par :

- 1) HADJ Abedrrahmane rabie
- 2) BENYAROU Ali Mokhtar

Devant les jurys composés de :

Nehari Tayeb	Docteur Bouafia	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Président
	Docteur Amirat	C.U.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant

Année universitaire 2017/2018

Car on ne réussit jamais seul....

Les travaux présentés dans ce mémoire ont été réalisés en Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent. Nous tenons à remercions vivement le chef de département Mr .Sari hassoun zakaria, et BENSAAD Bourassia directrice institue science de la technologie et tous personnels administratif pour fournir l'atmosphère idéale pour travailler et un soutien continu.

Cette mémoire n'aurait pu voir le jour sans notre encadreur : Monsieur, NEHARI Tayeb Docteur au Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent, qui nous a fait confiance et nous a laissé une large liberté dans le travail, nous lui adressons notre profonde reconnaissance pour toutes les qualités avec lesquelles il a encadré ces travaux et le soutien que nous témoignons, pour sa gentillesse et ses précieux conseils tout au long de cette mémoire.

Nous tient à exprimer nos remerciements à monsieur Sari hassoun zakaria Docteur au Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent, qui nos a fait l'honneur d'accepter la présidence du jury. Qu'il trouve ici l'expression de nos profondes gratitudes.

Nous exprimons nos vifs remerciements à monsieur Guendouz bouhalal Docteur au Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent, pour avoir accepté de faire partie du jury, montrant ainsi l'intérêt qu'ils portent au sujet de ce travail. A tous, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements

Je tiens également à remercier nos amis et nos familles pour leur présence et leur soutien durant ces années.

Enfin, un grand merci du fond du cœur à nos parents, qui sont nos éternels soutiens, et qui nous ont donné bien plus que nous ne pourrions jamais leur rendre, et à nos frères, nos sœurs et toute notre familles pour leur soutient infini et leurs encouragements.

DEDICACE

A mon Père et ma mère

Smain et yasmina

A mes frères

Karin et imed

A mes amis et ma famille.

,med ,zino,morad,faycal,Yasser

BENYAROU Ali mokhtar

*A mon Père et ma mère
Ahmed et karima
A mes frères et mes seur
Walid , abdelljalili, salma
A mes amis et ma famille.
Hamid ,med, abdelkader,omar*

HADJ ABDERRAHMANE Rabie

المخلص

البثق هو عملية تشكيل تستخدم على نطاق واسع في صناعات مختلفة مثل البلاستيك والمعادن والسيراميك وصناعة الأغذية. ومع ذلك ، يجب أن تخضع المواد لضغط عالي ومستويات إجهاد ليتم بثها بمعدلات تدفق كافية.

الهدف من هذه المذكرة هو تحديد الخصائص الانسيابية للبوليمر (إيثيلين منخفض الكثافة) من خلال مصفوفة واحدة ، محاور محايد. هذا البوليمر يعتبر سائل نيوتوني معمم. تم تنفيذ المحاكاة العددية بفضل برنامج "POLYFLOW" الذي طوره شركته ANSYS، وتستند شفرة الحساب هذه إلى طريقة العناصر المحدودة ، وهي مصممة خصيصاً لتدفقات البوليمرات. يتطلب برنامج "POLYFLOW" شفرة GAMBIT كمعالج مسبق لشبكة العناصر المحدودة. معلمات الحساب التي توفرها شفرة Polyflow هي السرعة ، ومعدل القص ، والضغط واللزوجة الديناميكية.

توضح هذه المذكرة بوضوح أنه بالنسبة لمعدلات تدفق منخفضة بما فيه الكفاية ، يكون البثق سلساً وشفافاً وخالي من العيوب. كلما ازداد التدفق ، يصبح سطح البثق غير لامع وتظهر الشقوق على السطح بشكل متزايد تدريجياً عند خروج المول من المعروف حالياً أن تشقق البثق هو خلل سطحي ناتج عن التفرد ، ووجود تركيز الإجهاد المصاحب عند مخرج القالب حيث يمر البوليمر من تدفق محصور إلى نفاث سطح حر.

Résumé

L'extrusion est un procédé de mise en forme très répandu dans des industries variées telles que la plasturgie, la métallurgie, les céramiques, ou encore l'industrie agroalimentaire. Les matériaux doivent cependant être soumis à des niveaux de pression et de contrainte élevés pour être extrudés à des débits suffisants.

L'objectif de cette étude est de déterminer les caractéristiques rhéologiques du polymère LDPE (Lower density Polyethylene) en extrusion à travers une matrice simple et axisymétrique. Ce polymère est considéré comme un fluide Newtonien généralisé. Les simulations numériques ont été réalisées grâce au logiciel « POLYFLOW » développé par la firme ANSYS, ce code de calcul est basé sur la méthode des éléments finis, il est spécialement conçu pour les écoulements des polymères. Le logiciel « POLYFLOW » nécessite le code GAMBIT comme un préprocesseur pour le maillage par éléments finis. Les paramètres de calcul fournis par le code Polyflow sont la vitesse, le taux de cisaillement, la pression et la viscosité dynamique, et l'angle de courant.

Cette étude nous montre clairement que pour des débits suffisamment faibles, l'extrudât est lisse, transparent et exempt de défauts. Lorsque le débit augmente, la surface de l'extrudât devient mate et des fissures sur la surface de plus en plus prononcées apparaissent progressivement à la sortie de la filière. Actuellement, on sait que cette fissuration de l'extrudât est un défaut surfacique dû à la singularité, et à la concentration de contraintes associée, présente en sortie de filière où le polymère passe d'un écoulement confiné à un jet à surface libre.

Abstract

Extrusion is a shaping process that is widely used in various industries such as plastics, metallurgy, ceramics, and the food industry. The materials, however, must be subjected to high pressure and stress levels to be extruded at sufficient flow rates. The objective of this study is to determine the rheological characteristics of LDPE (Lower Density Polyethylene) polymer extrusion through a single, axisymmetric matrix. This polymer is considered a generalized Newtonian fluid. The numerical simulation was carried out thanks to the software "POLYFLOW" developed by the firm ANSYS, this calculation code is based on the finite element method; it is specially designed for the flows of polymers. The "POLYFLOW" software requires the GAMBIT code as a preprocessor for the finite element mesh.

The calculation parameters provided by the « Polyflow » code are velocity, shear rate, pressure and dynamic viscosity, and current cloths. This study clearly shows us that for sufficiently low flow rates, the extrudate is smooth, transparent and free of defects. As the flow increases, the surface of the extrudate becomes matte and cracks on the surface increasingly pronounced gradually appear at the exit of the die. Currently, it is known that this cracking of the extrudate is a surface defect due to the singularity, and the associated stress concentration present at the die exit where the polymer passes from a confined flow to a free surface jet.

Sommaire

Remerciement	i.
Dédicace	ii.
ملخص	iii.
Résumé	iv.
Abstracts	v.
Sommaire	vi.
Liste des figures	vii.
Liste de tableaux	viii.
Nomenclature	ix.
Introduction générale	2
Chapitre I Recherche bibliographique	5
I.1 Introduction	5
Chapitre II Généralités sur les polymères	10
II.1 Introduction	10
II.2 Définition d'un polymère	11
II.3 Différentes classes de polymères	11
II.3.1 Classification selon l'origine	11
II.3.1.1 Classification selon l'architecture	12
II.3.1.2 Classification selon la structure chimique	12
1. Les homopolymères	12
2. Les copolymères	12
II.3.1.3 Classification selon le comportement thermique	13
A. Les thermoplastiques	13
B. Les thermodurcissables	13
C. Les élastomères	14
II.4 Le Polymère utilisé pour la simulation	15
II.5 La rhéologie	17
Chapitre III Formulation mathématique et méthode numérique	19
III.1 Introduction	20
III.2 La Propriétés des Polymère	20
III.3 Modèle mathématique	20
III.1 Equation de Bilan de Matière	22
III.2 Equation de quantité de mouvement	22
III.3 Equation d'énergie (équation de la chaleur)	22
III.4 Méthodes numérique	22
III.5 Méthodes des éléments finis	23
III.6 La rhéologie du polymère	24
III.6.1 Viscosité Constant	24
III.6.2 Loi de puissance	24
III.6.3 Loi Bird-Carreau	24

III.6.4 Loi de Cross	25
III.6.5 La loi de Cross modifiée	25
III.6.6 Loi de Bingham	25
III.6.7 loi de Bingham modifiée	26
III.6.8 Lois De Herschel-Bulkley	26
III.6.9 Lois De Herschel-Bulkley modifiée	26
III.6.10 Loi de Log Log	27
III.6.11 Loi de Carreau-Yasuda	27
III.7 Etude de quelques grandeurs caractéristiques de l'écoulement	
III.7.1 Le nombre de Reynolds	28
III.7.2 Le nombre de Stokes	28
III.7.3 Le nombre de Peclet	29
III.7.4 Le nombre de Cameron-Ca	29
III.7.5 Le nombre de Brinkman – Br	30
Chapitre IV Résultats et discussion	
IV.1 Introduction	35
IV.2 Présentation du logiciel polyflow	39
IV.2.1 Pré-processeur GAMBIT	40
IV.2.2 solveur POLYFLOW	41
IV.3 Le problème à résoudre	42
IV.4 Génération du maillage	42
IV.5 Résultats et discussions	43
IV.5.1 Etude de l'influence du débit en fonction de pression	43
IV.5.2 Etude de l'influence du débit en fonction de la vitesse	45
IV.5.3 Etude de l'influence du débit en fonction l'ingé de courant	46
IV.5.4 Etude de l'influence du débit en fonction de contrainte de cisaillement	47
IV.5.5 Etude de l'influence du débit en fonction la distribution de la température	48
IV.5.6 Etude le profil de la pression long de la ligne ($y=0.003$ m) pour différents débits	49
IV.5.7 Etude le profil de la vitesse long de la ligne ($y=0.003$ m) pour différents débits	50
IV.5.8 Etude le profil de la température long de la ligne ($y=0.003$ m) pour différents débits	51
Conclusion générale et perspectives	55
Référence bibliographiques	58

INDICE DES FIGURES

	Page
<u>Chapitre II</u>	
Fig. 2.1.- Classification des architectures macromoléculaires	11
<u>Chapitre III</u>	17
Fig. 3.1 Extrudeuse mono vis	20
Fig. 3.2 Profile étudié (Filière d'extrudeuse)	21
<u>Chapitre IV</u>	
Fig.4. 1 organigramme (structure de base du code « Polyflow »)	36
Fig. 4.2 Simulation de l'extrusion par le code « Polyflow »	37
Fig. 4.3 : Description des frontières du domaine de calcul	39
Fig. 4.4: Génération du maillage par Gambit.	40
Fig. 4.5 : Simulation de l'extrusion par le code « Polyflow »	41
Fig. 4.6 Description du problème	42
Fig. 4.7 Maillage par éléments finis	43
Fig. 4.8 La pression pour différents débits	44
Fig. 4.9 La vitesse pour différents débits	45
Fig. 4.10 Le vecteur de vitesse pour différents débits	46
Fig. 4.10 distribution de taux de cisaillement local pour différents débits	47
Fig. 4.11 La distribution de la température pour différents débits	48
Fig. 4.12 la variation de la pression suivant l'axe (xx) pour différents débits	49
Fig. 4.13 la variation de la vitesse suivant l'axe (xx) pour différents débits	50
Fig. 4.14 la variation de la température suivant l'axe (xx) pour différents débits	51

Liste des tableaux

	Page
<u>Chapitre III</u>	
Tableau 3.1 : Les caractéristiques des matériaux polymères	21

Symboles

D_{ij}	tenseur de déformation	s^{-1}
g	Accélération de la pesanteur	m/s^2
n	indice de la loi puissance	
P	pression	Pa
Q	débit volumique	cm^3/s
Re	nombre de Reynolds	
St	nombre de stokes	
Br	Nombre de Brinkman	
Ca	Nombre de Cameron	
t	le temps	s
x,y,z	Composent cartésienne	m
u,v,w	les trois composants de la vitesse	$m.s^{-1}$

Symboles Grecs

$\dot{\gamma}$	Taux de cisaillement	s^{-1}
μ	Viscosité apparent	Pa.s
ρ	Masse volumique	kg/m^3
τ	Contrainte de cisaillement	Pa
ω	vitesse angulaire de rotation	rad/s

Symboles Mathématiques

exp	exponentielle
δ_{ij}	symbole de Kronecker
∇	vecteur gradient
∂	Différentielle partielle
∞	Infini
\sim	Tenseur
\rightarrow	Vecteur

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

A la fin du XIX^{ème} siècle, le travail de la fonte et de l'acier croit notablement au sein de l'Europe et ces matériaux continuent de nos jours à être largement employés. Cependant, un nouveau type de matériau va entrer sur la scène industrielle mondiale progressivement à partir de la seconde moitié du XIX^{ème} siècle, il s'agit des polymères. La première matière plastique est née aux USA vers les années 1860, c'était de l'acétate de cellulose, qui fut utilisé par les frères Hyatt pour remplacer l'ivoire dans la fabrication des boules de billard. Néanmoins ce n'est que dans la première partie du vingtième siècle que fut développée la chimie de synthèse qui allait donner naissance aux « Grands thermoplastiques » tels le Polystyrène ou le Polychlorure de Vinyle, dont les noms nous sont familiers. Néanmoins, avant de devenir des produits communs, il a fallu développer un certain nombre de procédés industriels de mise en forme de ces polymères. . Notons à ce propos que la plasturgie (discipline qui étudie ces procédés de mise en forme) est peu utilisée en Algérie.

Si les polymères connaissent aujourd'hui un tel succès, les procédés de mise en forme sont encore loin d'être parfaitement maîtrisés. En effet, les polymères sont des matériaux aux propriétés complexes, évoluant avec les contraintes appliquées, la température et la pression.

Gonflements, retraits, déformations sont quelques uns des problèmes rencontrés lors de la mise en forme, que ce soit par moulage, extrusion ou autre. Ceci rend l'optimisation des procédés très difficile. Pour ajouter à cette situation, le prix d'un moule ou d'une filière d'extrusion est très élevé. Le moindre défaut de conception coûte extrêmement cher à l'entreprise et il n'est pas envisageable de tester plusieurs moules « juste pour voir ».

Fort heureusement le développement de l'informatique permet aujourd'hui de simuler des écoulements complexes dans des géométries tridimensionnelles élaborées. De fait, la simulation numérique constitue une alternative appréciable, notamment en termes de coût. Les résultats de cette technique sont toutefois fortement tributaires de la qualité de la modélisation et du paramétrisation. Ainsi la simulation est d'autant

plus fiable qu'on connaît avec précision la masse volumique, la loi de comportement rhéologique, la température imposée, le débit, la pression etc.... Bien entendu, il est souvent impossible de connaître avec précision tous ces paramètres. Ainsi la température imposée au moyen d'une chaufferette ne sera pas forcément homogène sur tout l'espace recouvert. De même, la dépendance de la masse volumique à la température n'est Pas forcément connue avec précision.

1.2 OBJECTIFS DU MEMOIRE

L'objectif de mon travail est donc de simuler et développer un outil d'analyse numérique servant à reconstituer l'évolution temporelle du profil spatial de la température du polymère en entrée de la filière d'extrusion. Ceci permettra de connaître le champ thermique du polymère le long de la filière.

1.3 ORGANISATION DU MEMOIRE

Ce manuscrit est organise en quatre chapitres. Le premier est consacre a l'état de l'art ou l'on détaillera notamment une recherche bibliographique.

Le deuxième chapitre est dédié à la formulation mathématique et méthode numérique.

Dans le troisième chapitre on discute les résultats de la modélisation numérique, la variation le débit sur la pression, la viscosité dynamique et du taux de cisaillement et linges de courant. On utilisera la méthode des éléments finis pour la résolution de l'équation de la chaleur.

Enfin, le quatrième chapitre, est une conclusion générale résume les résultats trouvés. Des perspectives pour des études futures sont aussi présentées.

chapitre I

Recherche bibliographique

Chapitre I

Recherche bibliographique

I.1. Introduction

1- Guy 2001 :

Au cours de ces dernières années, de nombreux progrès ont été faites dans le domaine des nouveaux matériaux et particulièrement dans celui des polymères. La diversité des propriétés des polymères et leur facilité de mise en forme ont contribué au large développement de l'industrie des matières plastiques. Souvent les ingénieurs s'intéressent à trouver des formes optimales de la matrice de l'extrudeuse afin de réduire les charges et contrôler la microstructure des matériaux à former, ceci est fait dans l'objectif de réduire les coûts de production au minimum et d'obtenir un produit sain ou avec peu de défauts.

2- Vergnes et Puissant 2002 :

Des défauts d'extrusion peuvent apparaître en limitant sensiblement ces procédés de transformation. Ce problème industriel crucial dans la mise en forme des matières plastiques a donné lieu à de nombreuses recherches sur les écoulements des polymères fondus. Dans l'extrusion, le procédé de conception de la matrice est très souvent un processus d'essai et correction et un certain nombre d'essais d'extrusion est nécessaire avant d'atteindre une conception satisfaisante.

3- Vergnes et Puissant 2002a, 2000b :

Une matrice d'extrusion bien conçue devrait avoir une vitesse uniforme à la sortie afin d'éviter la distorsion et être capable de fournir une section dans la gamme des tolérances indiquées.

4- Michaeli 1992 :

Une des premières techniques de corriger ou de contrôler l'écoulement du matériau dans les matrices d'extrusion est en changeant la longueur du palier de la matrice ou la profondeur de l'ouverture de la matrice

5- Ulysse 1999 :

Selon ce dernier auteur en réduisant la longueur du palier à un endroit particulier de l'ouverture de la matrice, la résistance à l'écoulement diminue et le débit augmente. L'effet opposé est réalisé quand la longueur du palier est augmentée. Une vitesse uniforme à la sortie de la matrice peut être obtenue donc, en changeant la longueur du

palier. En ce sens, des matrices profilées sont utilisées de profils conçus pour s'adapter à l'écoulement plastique.

Le tracé d'écoulement dans ces matrices est habituellement plus uniforme que celui trouvé dans les matrices carrées. Quelques tentatives ont été faites dans le domaine de la conception de la matrice d'extrusion. La plupart d'entre elles sont orientées vers des matrices profilées optimales pour réduire au minimum la pression d'extrusion

6- Balaji et al.1991; Nagpal et al.1979; Gunasekera et Hoshino1985 ;Nagpal et al. 1979 :

Ont utilisé des méthodes simplifiées pour concevoir la surface profilée de la matrice pour une extrusion de section "T" de sorte que le matériau extrudé sort de la matrice sans se plier ou se tordre.

Récemment.

7- Maniatty et Chen 1996 :

Ont effectué une analyse de sensibilité de la forme en utilisant une matrice profilée. Ils ont déterminé la sensibilité de la puissance totale d'extrusion à la géométrie de la matrice. Cependant, ces matrices tendent à être chères à fabriquer et par conséquent ne sont pas largement utilisées dans la pratique.

8- Kusiak et Thompson 1989 :

Aient aussi considéré une matrice profilée, ils ont également étudié les problèmes d'équilibre d'écoulement dans l'analyse de l'extrusion d'une tige bimétallique.

9- Ulysse et Johnson 1999 :

Ont adopté des méthodes de la théorie asymptotique pour l'extrusion des sections minces et ont conçu des longueurs de palier pour aboutir un écoulement uniforme à la sortie de la matrice. L'écoulement du métal a été modélisé comme un fluide linéairement visqueux. En outre, l'effet du fourreau sur l'écoulement du métal n'a pas été pris en compte dans leur travail.

La conception de la matrice d'extrusion à deux sorties est utile pour de mince section d'extrusions où l'écoulement traversant l'orifice de la matrice est pratiquement bidimensionnel. Concevoir des paliers d'une matrice à deux orifices carrés de sorte que le matériau sort des deux orifices avec un écoulement parallèle équilibré a fait l'objet de beaucoup de recherches.

10- Ulysse 1999 :

A utilisé la méthode des éléments finis combinée avec une technique d'optimisation pour pouvoir déterminer la longueur optimale du palier tout en obtenant une distribution la plus uniforme que possible de vitesse de sortie. La comparaison des résultants analytiques obtenue avec ceux trouvé expérimentalement par (Keife 1993) montre une bonne validité de la méthode numérique utilisée.

11- Carreras 2005 :

Ont étudié expérimentalement l'effet de la pression sur la stabilité de l'écoulement lors de la mise en forme par extrusion des polymères. Les résultats obtenus montrent que le changement de la pression de l'amant à l'aval de l'extrudeuse n'influe pratiquement pas sur la contrainte de cisaillement et l'élongation. D'autre part, l'auteur a signé que des instabilités peuvent naître pour une contrainte de cisaillement critique caractérise l'apparition des instabilités viscoélastiques quelle que soit la pression moyenne.

12- Pujos 2006 :

A réussi par la mise en place d'une méthode d'estimation de rhéologie à partir de mesures des débits et des températures pour une filière bien isolée. Ainsi, la méthode développée permet d'obtenir une connaissance du comportement rhéologique précise, sans l'hypothèse d'isotherme habituellement faite pour les mesures rhéologiques expérimentales. Elle génère un modèle rhéologique adapté au code de simulation numérique du point de vue de l'écoulement et de la thermique.

13- Mr.CHAABANE Fouad 2009 :

Est définir que l'état de la matière à l'intérieur du moule d'injection conditionne en grande partie la qualité de la pièce obtenue par le moulage à injection. La modélisation des phénomènes thermomécaniques a été basée sur les équations de la mécanique des milieux continus. L'utilisation des modèles pseudo-plastiques thermo-dépendants de la viscosité nécessite d'établir un couplage des équations d'échange thermique et les équations de la mécanique. La méthode des volumes finis a été utilisée pour la résolution numérique de l'équation de l'échange thermique. La température de figeage du polymère posé comme condition aux limites de solidification, l'effet de la formation de couches solidifiées au contact des parois froides du moule d'où nécessité de tenir en compte l'écoulement et l'échange thermique à travers l'épaisseur. La programmation de ces méthodes de résolution a été effectuée sous l'environnement MATLAB. Deux

formes géométriques de l’empreinte du moule ont été étudiées. L’une à section régulière (plaque) et la deuxième à section variable (secteur).

Cette étude a permis de mettre en évidence la sensibilité des paramètres décrivent l’état de la matière le moule vis-à-vis des conditions d’injection, la géométrie de l’empreinte, la loi de comportement du polymère ainsi que la formation de couches solidifiées en contact des parois du moule.

14- Guy DEFAYE 2006 :

Etudié l’estimation de la rhéologie de polymères fondus lors de leur écoulement dans une filière plate d’extrusion. Pour ne pas fixer la forme du modèle rhéologique à l’avance, la rhéologie est modélisée comme un ensemble discret de couples taux de cisaillement – viscosité. La continuité du modèle est assurée par interpolation. Plus le nombre de paramètres n’est grand et plus le modèle est précis. L’étude du système a démontré qu’un modèle 2D est suffisant dans ce cas, et la symétrie du problème permet d’alléger considérablement les temps de calculs.

Pour estimer les paramètres de viscosité du modèle rhéologique proposé, une technique inverse basée sur la minimisation du Lagrangien a été programmée. Elle s’appuie sur les équations adjointes de la température et de la vitesse, qui permettent le calcul de la direction de descente. Un calcul de sensibilité permet de déduire la profondeur de descente. Néanmoins le problème étant extrêmement mal posé au sens d’Hadamard, une technique de régularisation a été appliquée pour obtenir le caractère rhéofluidifiant des polymères considérés.

15- Yanneck Wielhorski 2012 :

Etudier transferts de chaleur dans un écoulement de polymère fondu en régime non stationnaire, La difficulté de modéliser ce type d’écoulement avec le dispositif expérimental est due, entre autre, aux propriétés thermomécaniques complexes du matériau et aux conditions aux limites du domaine spatial d’intégration. En effet, ils varient spatialement et temporellement et leur élaboration est souvent délicate. Les résultats expérimentaux confirment que les mesures dans les parois métalliques sont bien sensibles aux variations de température d’entrée. Un algorithme d’inversion de ces mesures a été développé et appliqué avec succès aux mesures réalisées sur l’extrudeuse.

16- L. Achab, S. Benhadid 2005 :

L'objectif de ce travail est double : modélisation du comportement rhéologique du sang par deux lois constitutives donnant la variation de la contrainte de cisaillement en fonction de la vitesse de cisaillement, afin d'approcher la courbe expérimentale et de comparer les deux modèles; simulation numérique par la méthode des éléments finis de l'écoulement non-newtonien du sang à travers une artère sténosée. On montre que la prise en compte du comportement non-newtonien du sang entraîne des changements non négligeables dans la structure de l'écoulement.

Dans le passé, la prédiction numérique de l'extrusion des polymères était un procédé de grand challenge. Cependant, avec le développement continu et rapide des moyens de calcul et avec le développement des nouvelles techniques numériques, il est maintenant possible de simuler, d'analyser, et d'optimiser les processus d'extrusion de géométries complexes, tenant compte du comportement non linéaire et viscoélastique du polymère fondu.

Avec les simulations numériques, les champs de la vitesse, de la pression, et de la température à l'intérieur de la matrice d'extrusion peuvent être obtenus, qui est autrement impossible expérimentalement. La méthode des éléments finis (MEF) est l'une des méthodes les plus employées aujourd'hui pour résoudre les équations aux dérivées partielles de Navier-Stokes régissant l'extrusion. Elle a été d'abord utilisée pour résoudre des équations d'élasticité et de mécanique des structures et adaptée plus tard à la Mécanique des Fluides (MDF). La MEF est une méthode générale qui s'applique à la majorité des problèmes rencontrés dans la pratique : problèmes stationnaires ou non stationnaires, linéaires ou non linéaires, définis dans un domaine géométrique quelconque à une, deux ou trois dimensions. En plus, elle s'adapte bien aux milieux hétérogènes.

Chapitre II

Généralités sur les polymères

Chapitre II

Généralités sur les polymères

II.1 INTRODUCTION

Les polymères, appelés communément "matières plastiques", sont indissociables de notre environnement et de notre vie pratique. Ils se sont imposés dans tous les domaines de nos activités: des objets les plus banals jusqu'à des applications techniques sophistiquées, en passant par leur utilisation dans les produits d'hygiène ou alimentaires.

Le plus souvent synthétiques, quelquefois naturels, ils doivent cet essor à leurs larges gammes de caractéristiques, durs, mous ou élastiques, transparents ou opaques, isolants et quelquefois conducteurs, plus ou moins résistants aux conditions agressives de leur usage, toujours légers. (Chabane Fouad 2009)

II.2 Définition d'un polymère :

Un polymère est une macromolécule dans laquelle se répète un (ou plusieurs) motif(s) moléculaire(s). La chimie du carbone étant très adaptée à la création de longues chaînes atomiques, les polymères appartiennent aux espèces chimiques dites organiques, c'est-à-dire principalement constituées de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote, à la base de la chimie du vivant.

Les polymères peuvent être d'origine naturelle ou artificielle. La synthèse de telles molécules appartient à la chimie macromoléculaire dont Hermann Staudinger fut le précurseur dans les années 1920 à 1930. Elle passe par la modification chimique d'un polymère naturel ou bien l'utilisation d'une réaction de polymérisation. Cette polymérisation se décline en plusieurs types que nous ne développerons pas ici. Il nous suffit de retenir que la polymérisation consiste à établir des liaisons covalentes entre petites molécules (les motifs de base du polymère) appelées monomères. Les polymères peuvent être générés à partir d'un seul type de monomère (on parle alors d'homopolymère, c'est le cas du polyéthylène) ou de différents monomères (on parle cette fois-ci de copolymères). Ce dernier cas est utilisé pour combiner les propriétés

physiques des différents monomères, permettant l'obtention d'un polymère aux propriétés « ajustées ». (PUJOS2006)

II.3 Différentes classes de polymères:

Plusieurs classifications des composés macromoléculaires peuvent être proposées selon qu'on choisit l'origine, le type d'architecture, la structure chimique des motifs ou le types de polymérisation, comme base de la classification.

II.3.1 Classification selon l'origine:

Les polymères classés selon l'origine peuvent être:

des polymères naturels : ce sont des composés organiques formant la matière vivante, comme les protéines, les acides nucléiques, la cellulose, la chitine...

- ✓ des polymères obtenus par modification chimique d'un polymère naturel, exemple: méthylcellulose.
- ✓ des polymères synthétiques: ce sont les matières plastiques, les élastomères, les fibres, les adhésifs.

II.3.1.1 Classification selon l'architecture:

Les architectures macromoléculaires peuvent être divisées en quatre grandes familles : les polymères linéaires, ramifiés, réticulés et plus récemment, les polymères dendritiques

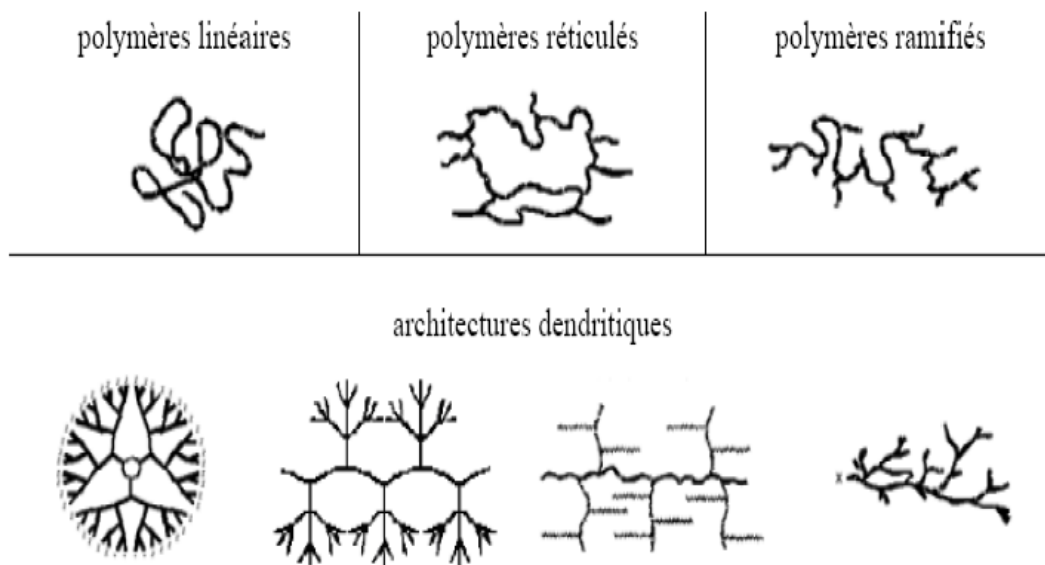


Figure (II-1): Classification des architectures macromoléculaires (Tomalia 2001)

II.3.1.2 Classification selon la structure chimique:

La structure chimique des motifs permet une classification des composés macromoléculaires en homopolymères et copolymères.

1. Les homopolymères:

Sont des polymères qui ne possèdent qu'une seule unité, ces homopolymères sont des longues chaînes formées par la répétition d'un monomère, leurs propriétés mécaniques, écoulement à l'état fondu, optique, sont dues à la structure chimique des monomères et à la longueur des chaînes. Il existe au sein des homopolymères différentes familles, on trouve: les homopolymères linéaires, branchés et étoilés.

2. Les copolymères:

Sont des polymères qui possèdent plusieurs unités, comme pour les homopolymères, les copolymères peuvent se classer dans différentes familles, citons: le mode statistique, alterné, séquencé et greffé.

II.3.1.3 Classification selon le comportement thermique:

Les polymères sont souvent classés d'après leurs propriétés thermodynamiques en trois types:

Les thermoplastiques: ramollissent sous l'effet de la chaleur, ils deviennent souples, malléables et durcissent à nouveau quand on les refroidit, ces matériaux conservent leurs propriétés et ils sont facilement recyclables. Leurs polymères de base sont constitués par des macromolécules linéaires reliées par des liaisons faibles qui peuvent être rompues sous l'effet de la chaleur ou de fortes contraintes, elles peuvent alors glisser les unes par rapport aux autres pour prendre une forme différente et quand la matière refroidit, les liaisons se reforment et les thermoplastiques gardent leurs nouvelles formes.

- a. **Les thermodurcissables:** les matières thermodurcissables sont les produits dont la transformation conduit, par une réaction chimique, à des composés macromoléculaires tridimensionnels qui sont des matières thermodurcies ou thermorigides. Dans ce cas les chaînes de départ sont beaucoup plus courtes et plus réactives, ces chaînes vont se lier ensemble chimiquement, cette réaction conduit à des liens chimiques rigides et met en jeu toutes les molécules présentes pour former un réseau tridimensionnel.

- b. **Les élastomères:** ces polymères présentent les mêmes qualités élastiques que le caoutchouc, un élastomère au repos est constitué de longues chaînes moléculaires repliées sur elles mêmes, sous l'action d'une contrainte, les molécules peuvent glisser les unes par rapport aux autres et se déformer.

II.4 Le Polymère utilisé pour la simulation

Un polymère est une macromolécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif, le monomère, reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes. Un polymère peut être naturel (ex.: polysaccharides, ADN), obtenu par modification chimique d'un polymère naturel (ex.: méthylcellulose), ou bien entièrement synthétisé par voie chimique (ex.: polystyrène, polyisoprène) par une réaction de polymérisation.

Le polyéthylène est probablement le polymère industriel le plus couramment utilisé dans la vie de tous les jours. Le polyéthylène est le plastique le plus populaire du monde. C'est le polymère dont sont faits les sacs, les bouteilles de shampoing, les jouets des enfants, et même les gilets pare-balle. Et ce matériau qui a des usages aussi variés a une structure très simple, la plus simple de tous les polymères du commerce. Une molécule de polyéthylène n'est rien de plus qu'une longue chaîne d'atomes de carbone, avec deux atomes d'hydrogène attachés à chaque atome de carbone: $(\text{CH}_2 - \text{CH}_2)_n$

Quelques fois c'est un petit peu plus compliqué. Parfois les atomes de carbone au lieu d'être liés à des atomes d'hydrogène, sont liés à de longues chaînes de polyéthylène. On appelle cela polyéthylène ramifié, ou PEBD (polyéthylène basse densité), ou LDPE (low density polyéthylène). Quand il n'y a pas de ramifications, on appelle cela du polyéthylène linéaire, ou PEHD (polyéthylène haute densité), ou HDPE (high density polyéthylène). Le polyéthylène linéaire est beaucoup plus résistant que le polyéthylène ramifié, mais le LDPE est moins cher et plus facile à fabriquer.

La masse moléculaire du polyéthylène linéaire est généralement de l'ordre de 200'000 à 500'000, mais elle peut être beaucoup plus élevée. Le polyéthylène dont la masse moléculaire est de l'ordre de 3 à 6 millions est appelé polyéthylène ultra haute masse moléculaire, ou UHMWPE (ultra high molecular weight polyéthylène). L'UHMWPE peut être utilisé pour fabriquer des fibres si solides qu'elles remplacent le Kevlar pour la fabrication des gilets pare-balle. De grandes plaques d'UHMWPE sont également utilisées pour remplacer la glace des patinoires.

II.5 La rhéologie

La rhéologie est la science qui étudie la déformation des corps sous l'effet des contraintes appliquées en tenant compte du temps (ou vitesse d'application de contraintes). Plus généralement, elle étudie la relation entre la contrainte et la déformation en fonction du temps dans le matériau. Dans le cas des polymères, la rhéologie n'étudie donc que les déplacements qui sont grands par rapport à la taille des macromolécules. Les mouvements intramoléculaires et l'enchevêtrement des chaînes sont des mouvements que la rhéologie par nature ne peut pas décrire. En revanche, ces mouvements locaux sont à la base de l'explication du comportement rhéologique des polymères fondus.

La viscosité est un paramètre très important dans l'étude de l'écoulement du polymère, cette dernière fonction de certain paramètre qui est:

Le poids moléculaire du polymère;

La température;

La pression;

Le taux de cisaillement ;

Chapitre III

Formulation mathématique et méthodes numérique

Chapitre III

Formulation mathématique et méthode numérique

II.1 Introduction

Le schéma de principe d'une extrudeuse monovis est présenté dans la figure 3.1. Celle-ci comporte une vis sans fin à filetage trapézoïdale en forme de V qui tourne à l'intérieur d'un fourreau cylindrique F, régulé en température par des systèmes de chauffe et de refroidissement. Le polymère sous forme solide (granulés, poudre) est introduit dans la trémie T située à une extrémité de la machine. La principale fonction de l'extrudeuse est de convoier le polymère, de le fondre et enfin, de le mettre en pression, pour qu'il puisse franchir la filière placée à son extrémité. D'un point de vue industriel, on cherche à obtenir à la sortie de la machine un débit régulier, avec un matériau homogène, à la température contrôlée, et des conditions de production satisfaisantes (débit maximal, consommation énergétique limitée). Pour cela, la compréhension des mécanismes mis en jeu, ainsi que leur modélisation est un point capital.

D'après les observations qui ont été faites sur l'état du polymère dans la machine, on peut distinguer trois zones phénoménologiques:

- la zone de convoyage solide, dans laquelle le polymère est entièrement solide ;
- la zone de fusion, dans laquelle coexistent du polymère encore solide et du polymère déjà fondu ;
- la zone de pompage, dans laquelle le polymère est totalement fondu.

L'énergie nécessaire à la fusion et à la mise en pression du polymère est issue de deux sources principales :

- l'énergie mécanique, fournie par la rotation de la vis, qui engendre des déformations au sein d'un milieu très visqueux ;

- l'énergie thermique, fournie par la régulation du fourreau.

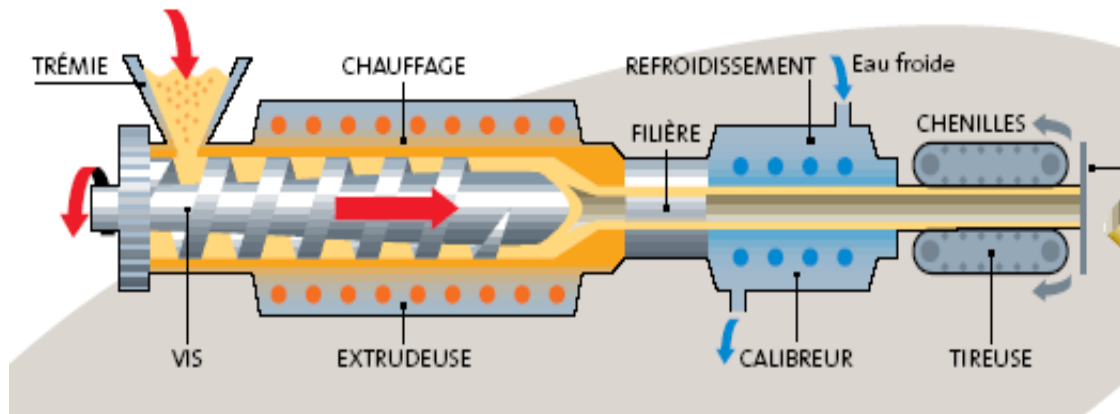


Figure 3.1 Extrudeuse mono vis

Cette étude s'intéresse à la simulation de l'écoulement d'un polymère fondu au sein d'une filière d'extrusion. L'objectif poursuivi est la prédiction numérique de l'écoulement lors de la mise en œuvre du procédé. Pour parvenir à atteindre cet objectif on a utilisé le code commercial "polyflow" pour réaliser l'ensemble des simulations numériques. Les simulations numériques fournissent des résultats sur le champ de vitesse, la contrainte de cisaillement et le champ de pression et la viscosité dans la filière.

Les principes de base qui sont appliqués dans l'analyse numérique de la simulation sont décrits en ce chapitre. La simulation de l'écoulement dans une matrice exige la résolution de l'équation de continuité, et les équations de quantité de mouvement, équation énergie pour un ensemble d'états de frontières, couplées aux équations constitutives reliant la viscosité avec le taux de cisaillement.

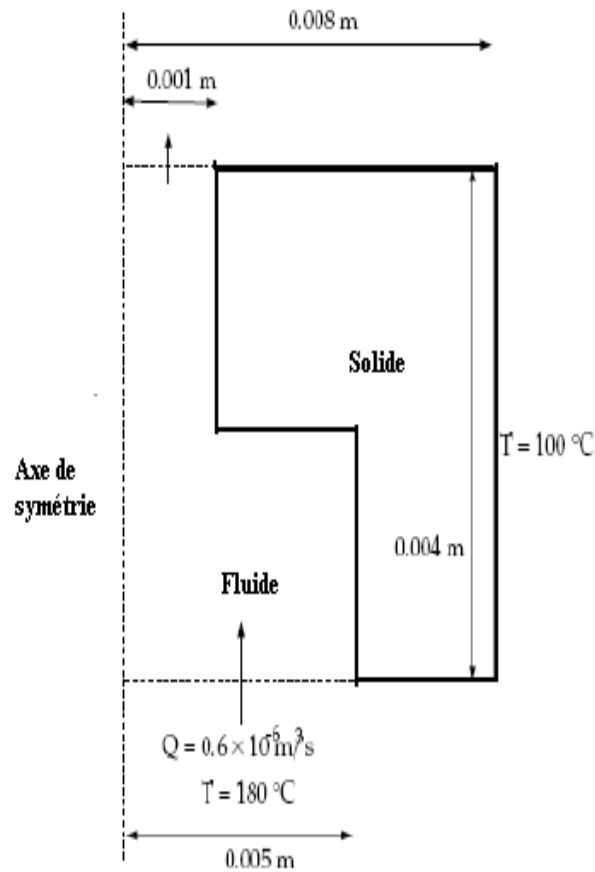


Figure 3.2 Profile étudié (Filière d'extrudeuse)

III.2 Propriétés des polymères

Dans notre étude, on va utiliser le polyéthylène à basse densité LDPE à cause de sa disponibilité et son coût le moins cher, dont leur propriété est résumée dans le Tableau 3-1, utilise dans le procédé d'extrusion.

Masse volumique à l'état fondu	$\rho=950 \text{ kg/m}^3$
viscosité dynamique du fluide	$\mu =2500 \text{ pa.s}$
Capacité calorifique du fluide	$C_p=2300 \text{ j/kg.K}$
Conductivité thermique	$K=0.5 \text{ w/m.k}$

Tableau 3.1 : Caractéristiques des matériaux polymères

III.4 Modèle mathématique

La modélisation mathématique générale des écoulements des fluides est représentée par un ensemble d'équations aux dérivées partielles. Le code de calcul POLYFLOW basé sur la méthode des éléments finis (FEM) résout les équations de quantité de mouvement, de continuité, d'énergie et l'équation rhéologique. Nous considérons dans notre travail un écoulement laminaire stationnaire, bidimensionnel axisymétrique d'un fluide incompressible. Les équations s'écrivent, alors, dans le système des coordonnées cartésiennes (x, y, z) comme suit :

III.4.1 Equation de Bilan de Matière

L'équation de bilan de matière, également désignée sous le nom de l'équation de continuité, est simplement une formulation du principe de la conservation de la masse est donnée pour un fluide sous la forme :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad 3.1$$

Pour le cas d'écoulement du polymère à travers la filière de l'extrudeuse le fluide est considéré comme un fluide incompressible, donc l'équation de continuité devient :

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0 \quad 3.2$$

III.4.2 Equation de quantité de mouvement :

Cette équation s'écrit sous la forme suivante :

$$\frac{d}{dt} \rho \vec{v} + \left[\nabla \cdot \rho \vec{v} \vec{v} \right] = -[\nabla \cdot \tilde{\pi}] + \rho \vec{g} \quad 3.3$$

Avec π est défini comme étant le tenseur des contraintes :

$$\tilde{\pi} = p \tilde{\delta} + \tilde{\tau} \quad 3.4$$

Où τ est la contrainte dynamique ou supplémentaire lié à l'écoulement, P est une grandeur scalaire appelée "pression" et δ est le tenseur d'unité (identité) :

$$\tilde{\delta} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

Donc, l'équation de quantité de mouvement sera :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + [\nabla \cdot \rho \vec{v} \vec{v}] = -\nabla p - [\nabla \cdot \vec{\tau}] + \rho \vec{g} \quad 3.6$$

Les composantes de l'équation de mouvement dans des coordonnées cartésiennes peuvent s'écrire :

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} - \left(\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \right) + \rho g_x \quad 3.7$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} - \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \right) + \rho g_y \quad 3.8$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} - \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \right) + \rho g_z \quad 3.9$$

Dans les systèmes d'écoulement de polymère, les forces d'inerties et de corps sont généralement négligeables en comparaison aux efforts visqueux. Par suite les équations de quantité de mouvement sont données par :

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \quad 3.10$$

$$-\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} \quad 3.11$$

$$-\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \quad 3.12$$

III.4.3 Equation d'énergie (équation de la chaleur)

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial t} + u \text{grad}(\Gamma) = K \cdot \text{grad}(\text{div}(\Gamma)) + \phi \quad 3.13$$

Le bilan global s'écrit finalement :

$$\rho \cdot c \frac{d\Gamma}{dt} = \rho \cdot c \frac{\partial \Gamma}{\partial t} + \rho \cdot c \cdot \left(u \frac{\partial \Gamma}{\partial x} + v \frac{\partial \Gamma}{\partial y} + w \frac{\partial \Gamma}{\partial z} \right) = K_p \Delta \Gamma + \phi \quad 3.14$$

III.5 Méthode numérique

La modélisation mathématique générale du problème des écoulements des fluides viscoélastiques avec transfert thermique est faite par des équations de conservation telles que les équations de quantité de mouvement, de continuité.

La résolution numérique des équations aux dérivées partielles (EDP) nécessite leur discrétisation, qui permet de les transformer en un système d'équations algébriques. Le résultat obtenu à partir de la discrétisation d'une équation aux dérivées partielles est un ensemble fini de valeurs qui permet de reconstruire la forme de la solution.

La méthode numérique utilisée dans cette étude incorporée dans le code de calcul POLYFLOW est celle des éléments finis.

III.5.1 Méthodes des éléments finis

C'est une méthode très générale qui s'applique à la majorité des problèmes rencontrés dans la pratique: problèmes stationnaires ou non, linéaires ou non, définis dans un domaine géométrique quelconque. La méthode des éléments finis consiste à discrétiser un solide ou un fluide en éléments de géométries simples rattachés à des nœuds auxquels sont associées des grandeurs cinématiques. A chaque nœud sont associées des variables, ou degrés de liberté (ddl) qui peuvent être de différentes natures : déplacements, vitesse, températures. Les champs sont alors approximés en tout point des éléments par une interpolation à partir des valeurs associées aux différents nœuds. Les fonctions choisies doivent satisfaire des conditions de continuité entre les différents éléments.

III.6 La rhéologie du polymère

Les polymères sont connus pour leur comportement rhéologique complexe. Pour les écoulements isothermes, la viscosité reste une fonction de la vitesse de cisaillement. Selon la littérature, un grand nombre de lois classiques permettant de décrire les comportements rhéologiques des polymères sont donnés. La loi constitutive pour les fluides Newtoniens généralisés utilisée dans cette étude (Nassehi 2002).

$$\tilde{\tau} = 2\mu \mathbf{D} \quad 3.15$$

Où \mathbf{D} est le tenseur de taux de déformation défini comme suit :

$$D_{i,j} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad 3.16$$

Avec x_i est la composante cartésienne suivant la direction i ; tandis que u_i est la composante du vecteur vitesse suivant la direction i .

$$D = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 2 \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} & \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} & 2 \frac{\partial v}{\partial y} & \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \\ \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} & \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} & 2 \frac{\partial w}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

D'autre part, μ est la viscosité apparente qui peut être une fonction du taux de cisaillement $\dot{\gamma}$, la température T , ou les deux à la fois. Le taux local de cisaillement :

$$\dot{\gamma} = \sqrt{2tr(D^2)} \quad 3.18$$

Où tr signifie la trace de la matrice.

Dans un écoulement simple de cisaillement, $\dot{\gamma}$ réduit au gradient de vitesse.

Plusieurs lois de viscosité sont disponibles pour des écoulements newtoniens généralisés.

III.6.1 Viscosité Constant

Pour les fluides newtoniens, une viscosité constante peut être indiquée

$$\mu = \mu_0 \quad 3.19$$

Avec μ_0 est désignée sous le nom de la viscosité newtonienne.

III.6.2 Loi de puissance

La loi de puissance pour la viscosité est de la forme suivante

$$\mu = K(\lambda\dot{\gamma})^{n-1} \quad 3.20$$

Où K est le facteur d'uniformité, λ est le temps normal, et n sont l'indice de la loi de puissance, qui est une propriété du matériel donné.

La loi de puissance est généralement employée pour décrire le comportement visqueux de matériaux polymères, tels que le polyéthylène, elle varie en fonction du cisaillement. Si le comportement à la base cisaillement évalue les besoins d'être adapté bien, la loi Carreau ou de croix capturera la zone de plateau de la courbe de viscosité pour le bas taux cisaillement évalue mieux que la loi de puissance.

III.6.3 Loi Bird-Carreau

La loi de Bird-Carreau pour la viscosité est:

$$\mu = \mu_\infty + (\mu_0 - \mu_\infty) (1 + \lambda^2 \dot{\gamma}^2)^{\frac{n-1}{2}} \quad 3.21$$

μ_∞ : Viscosité pour un taux cisaillement à l'infinité.

μ_0 : Viscosité pour un taux cisaillement égal à zéro.

λ : Temps normal (c.-à-d., l'inverse du taux de cisaillement pour lequel le fluide change son comportement newtonien à celui de la loi puissance).

n : l'exposant de la loi de puissance.

La loi de Bird-Carreau est généralement utilisée quand il est nécessaire de décrire le comportement de viscosité pour les faibles valeurs du taux de cisaillement.

III.6.4 Loi de Cross

Elle est définie comme suit :

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + (\lambda \dot{\gamma})^m} \quad 3.22$$

μ_0 : Viscosité pour un taux de cisaillement égal à zéro.

λ : Temps normal (c à d, l'inverse du taux de cisaillement pour lequel le fluide change son comportement newtonien à celui de la loi puissance)

m : l'exposant de la loi de puissance ($m = 1 - n$ pour de grands taux de cisaillement).

Comme la loi de Carreau, la loi de Cross, est généralement utilisée quand il est nécessaire de décrire le comportement de viscosité pour les basses valeurs du taux de cisaillement.

III.6.5 La loi de Cross modifiée

$$\mu = \frac{\mu_0}{(1 + \lambda \dot{\gamma})^m} \quad 3.23$$

Cette loi peut être considérée un cas spécial de la viscosité de la loi Carreau-Yasuda (équation 3.22), où l'exposant " a " à une valeur de 1.

III.6.6 Loi de Bingham

La loi de Bingham pour la viscosité est:

$$\mu = \begin{cases} \mu_0 + \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} & \text{pour } \dot{\gamma} \geq \dot{\gamma}_c \\ \mu_0 + \tau_0 \frac{(2 - \dot{\gamma} / \dot{\gamma}_c)}{\dot{\gamma}_c} & \text{pour } \dot{\gamma} < \dot{\gamma}_c \end{cases} \quad 3.24$$

Où τ_0 est la contrainte seuil et $\dot{\gamma}_c$ est le taux de cisaillement critique pour lequel l'équation constitutive de Bingham est appliquée. Pour des taux de cisaillement inférieur $\dot{\gamma}_c$, le comportement du fluide est normalisé afin de garantir une continuité pour la courbe de viscosité.

La loi de Bingham est généralement employée pour décrire des matériaux tels que le béton, la boue, la pâte, et la pâte dentifrice.

III.6.7 La loi de Bingham modifiée

Ce modèle est formulé sous la forme:

$$\mu = \mu_0 + \tau_0 \left(\frac{1 - \exp(-m\dot{\gamma})}{\dot{\gamma}} \right) \quad 3.25$$

Avec

$$m = 3 / \dot{\gamma}_c$$

En comparaison avec la loi de Bingham standard le model modifié de Bingham est écrit sous une formulation analytique simple et qui donne une solution plus stable. La valeur de $m = 3 / \dot{\gamma}_c$ est choisie pour que le modèle standard et le model modifié de Bingham se comportent de la même manière à partir de la valeur critique du taux de cisaillement $\dot{\gamma}_c$.

III.6.8 Lois De Herschel-Bulkley

$$\mu = \begin{cases} \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} + K \left(\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_c} \right)^{n-1} & \text{pour } \dot{\gamma} > \dot{\gamma}_c \\ \frac{\tau_0(2 - \dot{\gamma}/\dot{\gamma}_c)}{\dot{\gamma}_c} + K \left[(2-n) + (n-1) \frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_c} \right] & \text{pour } \dot{\gamma} \leq \dot{\gamma}_c \end{cases} \quad 3.26$$

Où τ_0 est la contrainte et $\dot{\gamma}_c$ est le taux de cisaillement critique et K est le facteur d'uniformité, n : l'exposant de la loi de puissance.

La loi de Herschel-Bulkley Généralement utilisée comme la loi de Bingham

III.6.9 Lois De Herschel-Bulkley modifiée

Ce modèle est formulé sous la forme:

$$\mu = \tau_0 \left(\frac{1 - \exp\left(\frac{-3\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_c}\right)}{\dot{\gamma}} \right) + K \left(\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_c} \right)^{n-1} \quad 3.27$$

La loi de Bulkley est une expression analytique, qui signifie que ce peut être plus facile pour calculer en polyflow.

III.6.10 Loi de Log Log

Ce modèle est formulé sous la forme :

$$\mu = \mu_0 \mathbf{1} \mathbf{O}^{a_0 + a_1 [\text{Log}(\dot{\gamma} / \dot{\gamma}_c)] + a_{11} [\text{Log}(\dot{\gamma} / \dot{\gamma}_c)^2]} \quad 3.28$$

a_0 , a_1 et a_{11} être coefficient de l'expression de polymère.

Cette loi de viscosité est simplement empirique, mais fournit parfois aux données expérimentales que les autres.

III.6.11 Loi de Carreau-Yasuda

La loi de Carreau-Yasuda pour la viscosité est :

$$\mu = \mu_\infty + (\mu_0 - \mu_\infty) \left[1 + (\lambda \dot{\gamma})^a \right]^{\frac{n-1}{a}} \quad 3.29$$

La loi de Carreau-Yasuda est une légère variation sur la loi Bird-Carreau. L'addition de l'exposant à permettre de contrôler la transition du plateau newtonien à la région loi de puissance. À la valeur basse ($a < 1$) rallonge la transition, et une valeur élevée

($a > 1$) résultats dans une transition brusque.

Ces modèles peuvent être combinés avec n'importe laquelle des lois suivantes de la dépendance de la température.

III.7 Etude de quelques grandeurs caractéristiques de l'écoulement

Dans cette partie nous allons expliciter quelques nombres sans dimension qui caractérisent un écoulement de fluide. Ces nombres permettent de comprendre les comportements mécanique et thermique d'un écoulement et donc d'effectuer d'éventuelles simplifications physiques dans les équations traduisant les phénomènes étudiés.

III.7.1 Le nombre de Reynolds

Le nombre de Reynolds permet de savoir le régime d'écoulement à savoir laminaire ou turbulent. Il représente le rapport entre les forces d'inertie et les forces visqueuses.

On le définit de la manière suivante :

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot \bar{V} \cdot h}{\mu} \quad 3.30$$

- V - vitesse du fluide [m.s⁻¹]
- L - longueur caractéristique [m]
- ρ - masse volumique du fluide [kg.m⁻³]
- μ - viscosité dynamique du fluide [kg.m⁻¹.s⁻¹ ou Pa.s]

Aux très faibles valeurs du nombre de Reynolds (de l'ordre de 10⁻²), comme c'est souvent le cas dans les écoulements de polymère, les forces de viscosité sont prépondérantes. On parle alors d'écoulement de Stokes. L'écoulement est laminaire (des éléments de fluide voisins demeurent voisins).

III.7.2 Le nombre de Stokes (St)

Le nombre de Stokes s'exprime comme étant le rapport entre les forces visqueuse et celles dues à la gravité. Elle permet donc de voir si on peut négliger la gravité dans l'équation de la mécanique des fluides. On le définit de la manière suivante :

$$\text{St} = \frac{\mu \cdot \bar{V}}{\rho \cdot g \cdot h^2} \quad 3.31$$

- V - vitesse du fluide [m.s⁻¹]
- L - longueur caractéristique [m]
- ρ - masse volumique du fluide [kg.m⁻³]
- μ - viscosité dynamique du fluide [kg.m⁻¹.s⁻¹ ou Pa.s]

- g - accélération de pesanteur terrestre [$m.s^{-2}$]

Si le nombre de Stokes est très supérieur à 1, donc les forces de la gravité sont négligeables devant les forces de contraintes visqueuses. Nous pouvons donc simplifier l'équation de Navier Stokes en supprimant le terme lié à la gravité.

III.7.3 Le nombre de Peclet :

Le nombre de Péclet s'exprime comme étant le rapport entre le transfert de chaleur par convection et celui par conduction dans la direction de l'axe de l'écoulement. Il permet de quantifier la prépondérance de ces deux phénomènes l'un par rapport à l'autre. On le définit de la manière suivante :

$$Pe = \frac{\rho D U C_p}{\lambda} \quad 3.32$$

$$Pe = \frac{\rho D U}{\mu} \frac{\mu C_p}{\lambda} = Re \cdot Pr \quad 3.33$$

- V - vitesse moyenne du fluide [$m.s^{-1}$]
- L - longueur de la direction de la convection [m]
- ρ - masse volumique du fluide [$kg.m^{-3}$]
- λ - conductivité thermique du fluide [$W.m.K^{-1}$]
- C_p - capacité calorifique du fluide [$J.kg^{-1}.K^{-1}$]

III.7.3 Nombre de Cameron – Ca

Le nombre de Cameron compare les transferts de chaleur conductifs dans la direction normale à l'écoulement et convectifs dans l'axe de l'écoulement. Il permet ainsi de savoir si la température dans le polymère est régie par la régulation thermique de la paroi du canal ou par la convection dans le canal. On le définit de la manière suivante

$$Pe = \frac{\lambda \cdot L}{\rho C_p \bar{V} D^2} \quad 3.34$$

- V - vitesse moyenne du fluide [$m.s^{-1}$]
- L - longueur de la direction de la convection [m]
- D - longueur relative à la direction selon laquelle on étudie la conduction [m]
- ρ - masse volumique du fluide [$kg.m^{-3}$]
- λ - conductivité thermique du fluide [$W.m.K^{-1}$]

- C_p - capacité calorifique du fluide [$J.kg^{-1}.K^{-1}$]

Selon les valeurs du nombre de Cameron, on peut définir trois types de régimes thermiques :

$Ca \leq 10^{-2}$ \Rightarrow La température moyenne de l'écoulement T évolue linéairement dans l'écoulement. Le régime est alors dit adiabatique.

$10 \leq Ca \leq 1$ Le régime thermique dit de transition

$Ca \geq 10$ la température moyenne de l'écoulement T est constante. Le profil de température au sein du fluide est parabolique avec un maximum de température atteint au centre de l'écoulement. Le régime est alors dit d'équilibre.

III.7.4 Nombre de Brinkman – Br

Le nombre de Brinkman donne le rapport entre l'énergie des forces visqueuses dissipée et l'énergie transférée par conduction thermique. Ce nombre est utilisé dans des problèmes de lubrification ou en mise en forme de polymère à l'aide d'une extrudeuse. Plus le nombre est élevé, plus l'énergie dissipée par les forces visqueuses est importante par rapport à l'évacuation de cette énergie, ce qui indique une hausse de température. On le définit comme suit :

$$Br = \frac{\eta \bar{V}}{\lambda \Delta T} \quad 3.35$$

- V - vitesse moyenne du fluide [$m.s^{-1}$]
- μ - viscosité dynamique du fluide [$Pa.s$]
- λ - conductivité thermique du fluide [$W.m.K^{-1}$]

Chapitre IV

Résultats et discussion

Chapitre IV

Résultats et discussion

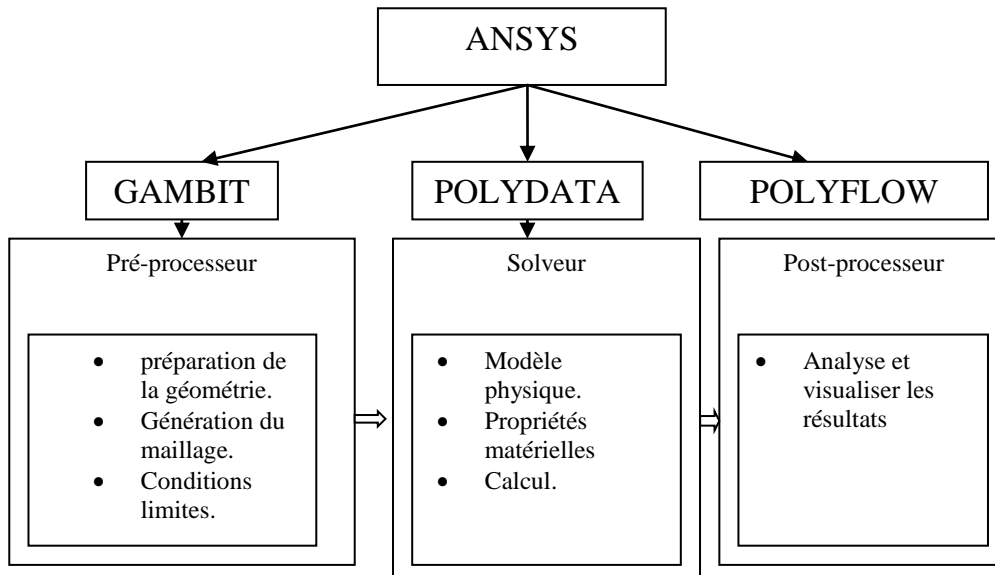
IV. 1 Introduction

L'objectif de cette étude est de simuler l'écoulement du polymère fondu à l'intérieur de la matrice d'extrusion. Le polymère fondu, suit une loi de comportement rhéologique de Cross. La simulation est réalisée à l'aide du code de polyflow.

IV. 2 Présentation du logiciel POLYFLOW

La simulation numérique de ce travail est effectuée en utilisant le logiciel (ANSYS POLYFLOW). Le code de calcul POLYFLOW est un des codes commerciaux les plus populaires pour la simulation numérique des écoulements de liquides polymères. Ce code a été développé dans les années 1980 par l'équipe CESAME de l'université catholique de Louvain. Ce code permet d'utiliser, en 2D et 3D, un grand nombre de modèles rhéologiques différentiels.

Ce code est largement utilisé dans l'industrie polymère, et offre une interface sophistiquée qui facilite son utilisation. Le logiciel Polyflow modélise par la méthode des éléments finis des écoulements très variés dans des configurations plus ou moins complexes. Il nécessite l'utilisation, comme tout logiciel de type CFD, de deux éléments clés qui sont : le préprocesseur et le post-processeur en plus de son module solveur (POLYDATA). L'organigramme ci-dessous montre l'enchaînement du logiciel POLYFLOW avec les autres logiciels. L'organigramme 4.1, montre l'enchaînement des logiciels de calcul.

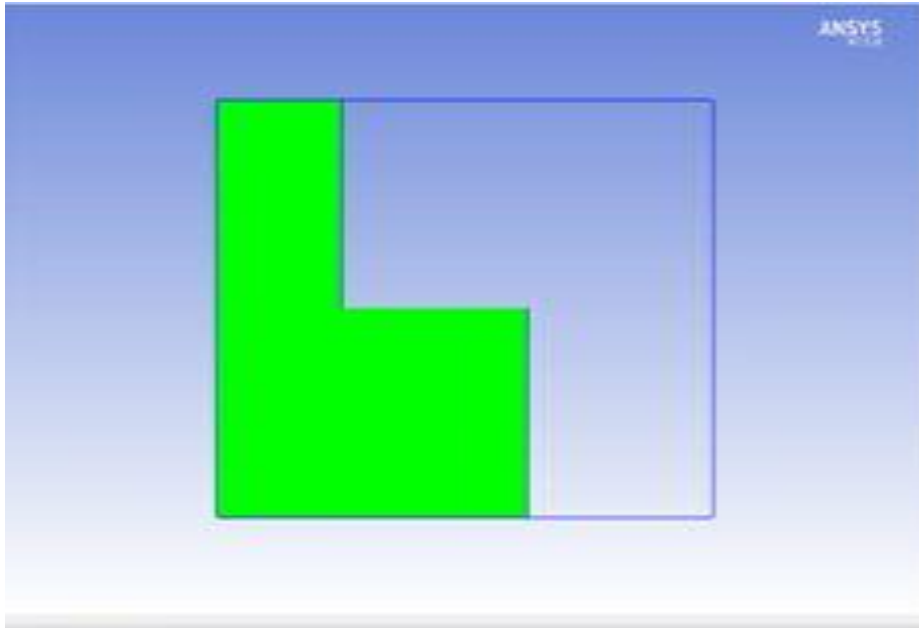


Organigramme 4.1 : structure de base du code « Polyflow »

La création de la géométrie et la génération du maillage ont été effectués en utilisant le logiciel « GAMBIT », ensuite la modélisation du problème est effectuée en utilisant le code POLYDATA et la solution en utilisant POLYFLOW en suivant les étapes suivantes où les étapes sélectionnées engeras sont celles considérées dans notre étude :

1. Lecture du fichier importé par GAMBIT
2. Création d'un nouveau projet
 - Projet M.E.F
 - 2D géométrie axisymétrique
 - régime permanent
3. Choix du type de problème

Problème newtonien généralisé non-isotherme (pour le cas newtonien)



*Figure 4.2 Simulation de l'extrusion par le code « Polyflow »
(Choix du type de problème)*

4. Définition des Sous-domaine (figure 4.3)

- Sous-domaine 1
- Sous-domaine 2

5. Choix du modèle rhéologique

POLYDATA indique qu'elles propriétés du matériau sont pertinentes pour votre sous-domaine en aggravant les propriétés non pertinentes. Dans ce cas, la viscosité, la densité, les termes d'inertie et la gravité sont disponibles pour la spécification. Pour ce modèle, nous ne définirons que la viscosité du matériau. Les effets d'inertie sont négligés et la densité n'est spécifiée que lorsque l'inertie, la gravité, la convection thermique ou la convection naturelle sont prises en compte. Étant donné que les effets gravitationnels ne sont pas inclus dans le modèle, la valeur par défaut de zéro est retenue pour la gravité

Alor on utilise la loi de cross

$$\eta = \frac{\eta_0}{1+(\lambda\dot{\gamma})^m} \quad (3.1)$$

Ou

η_0 = Viscosité à taux de cisaillement nul = 85000

λ = temps naturel = 0.2

m = indice du loi de Cross = 0.3

$\dot{\gamma}$ = contrainte de cisaillement

6. Conditions aux limites

Frontière 1 : Entré du fluide $T_1=180^\circ\text{C}$, $Q=0.6 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$

Intersection de sous-domaine 1 et sous-domaine 2 : interface

Frontière 2 : isolé

Frontière 3 : $T=100^\circ\text{C}$

Frontière 4 : isolé

Frontière 5 : sortie du fluide

Frontière 6 : axe de symétrie

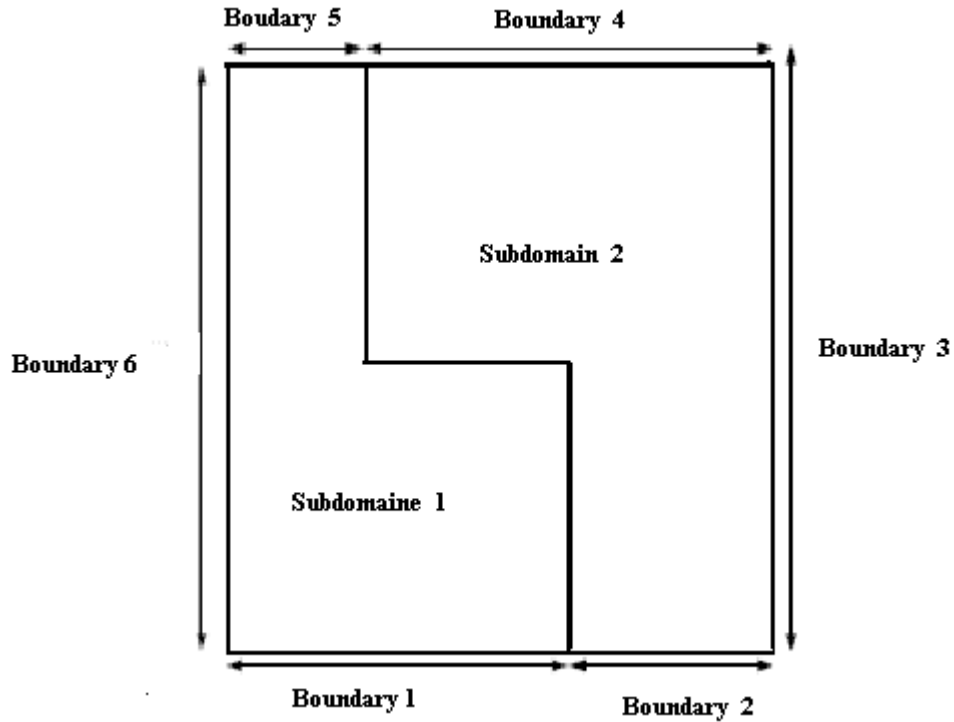


Figure 4.3 : Description des frontières du domaine de calcul

IV. 2. 1 Pré-processeur GAMBIT

Il permet à l'utilisateur de construire la géométrie du domaine de calcul et de subdiviser ce dernier en petits volumes de contrôle ou cellules de calcul. L'ensemble de ces volumes élémentaires constitue le maillage. La définition des conditions aux limites appropriées, au niveau des cellules qui coïncident ou touchent la frontière du domaine de calcul, se fait également à ce niveau (voir figure 4.4).

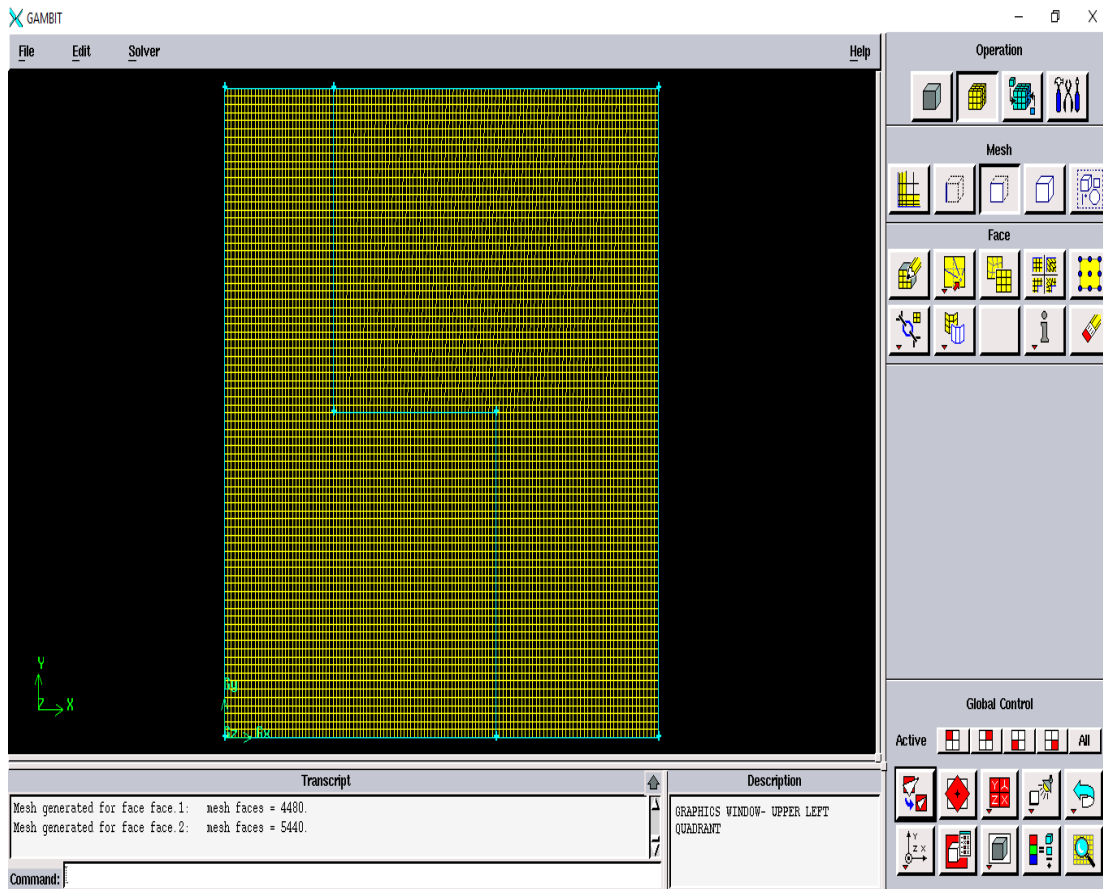


Figure 4.4: Génération du maillage par Gambit.

IV.2.2 Solveur POLYFLOW

Ce code utilise la méthode des éléments finis pour pouvoir intégrée numériquement les équations aux dérivées partielles régissant le problème en question. Les étapes de calcul sont les suivantes :

- Discrétisation en espace et en temps des équations : substitution des dérivées partielles par des approximations algébriques ; transformation du système d'équations différentielle en système d'équations algébriques,
- Résolution du système algébrique par un processus itératif de convergence assurée.
- Stockage des résultats obtenu en archive pour pouvoir les visualisé graphiquement par un post-processeur.

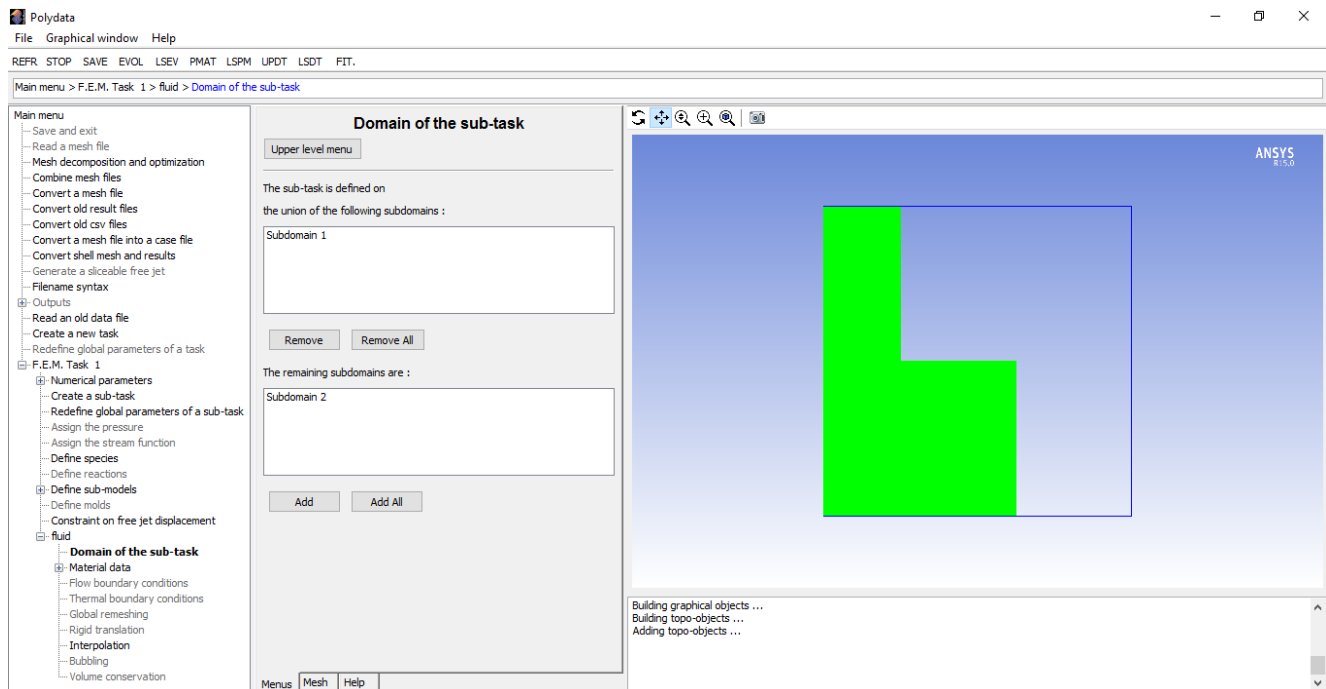


Figure 4.5 : Simulation de l'extrusion par le code « Polyflow »

IV.3 Le problème à résoudre

Dans ce mémoire on s'intéresse en premier lieu à prédire l'écoulement du polymère de type LDPE (polyéthylène basse densité) qui se trouve à l'état fondu dans une extrudeuse axisymétrique simple et de géométrie bien déterminée (voir figure 3.1). En second lieu, on s'intéresse à améliorer cette extrudeuse et ce par l'étude de l'influence le débit d'entrée, sur la viscosité dynamique, la pression et le taux de cisaillement. Ces simulations numériques ont été conduites pour les différents paramètres.

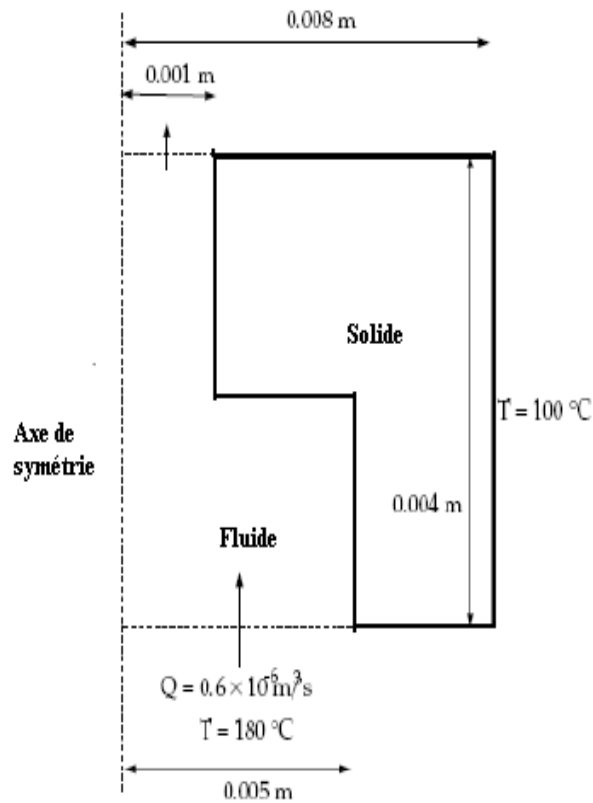


Figure 4.6 Description du problème

IV.4 Génération du maillage

La discrétisation par éléments finis de la structure (partie pompe-filière) a été réalisée par le logiciel GAMBIT(2007) sous la version 2.4.6 C'est un modèle bidimensionnel, les éléments utilisés sont de types iso paramétriques quadratiques à 4 nœuds. Le nombre d'éléments utilisés est de 2000 éléments est de nombre de nœuds de 1164 nœuds, voir figure 4.7. Le quadrillage utilisé est un maillage structure d'éléments quadratiques.

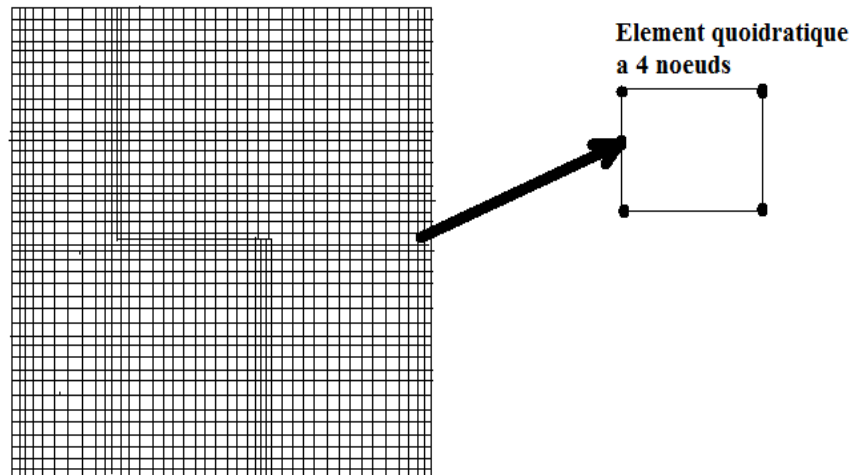


Figure 4.7 Maillage par éléments finis

IV.5 Résultats et discussions

Dans cette partie, on va présenter les différents résultats issus des prédictions numériques de l'extrusion à travers le système présente dans le chapitre précédent (figure 3.4) par le code « Polyflow ». Pour mieux optimiser l'écoulement à travers cette machine on va étudier l'influence de la variation de débit d'entre en fonction du champ de vitesse, de la pression, de la contrainte de cisaillement, de la température et de lignes de courant.

IV.5.1 Etude l'influence du débit en fonction de la pression

La figure 4.8, montre le champ de pression obtenu par simulation numérique pour différents débits d'entré. Pour tous les cas étudié, il est clair que la pression présente des valeurs très faibles à la sortie de la matrice et cela à cause de pertes engendrées et de valeurs élevées à proximité des parois et plus particulièrement au voisinage de l'aval du rétrécissement, cette augmentation est justifiée par le frottement du polymère avec la paroi.

En comparant les trois débits testés, on constate que l'augmentation de pression est proportionnelle avec l'augmentation de débit, résultat logique, puisque l'accroissement de la vitesse résulte des contraintes plus importantes au niveau de paroi et par suite plus de pression.

Si le débit est encore augmenté, l'écoulement de polymères fondus devient soudain instable en entrée de la filière. Cette instabilité en amont, qui résulte du comportement viscoélastique des polymères, se traduit en sortie de la filière par le défaut dit (de façon encore peu justifiée) de « rupture d'extrudât ». La terminologie plus correcte et qui devient de plus en plus courante dénomme ces défauts comme « instabilité viscoélastique en amont ».

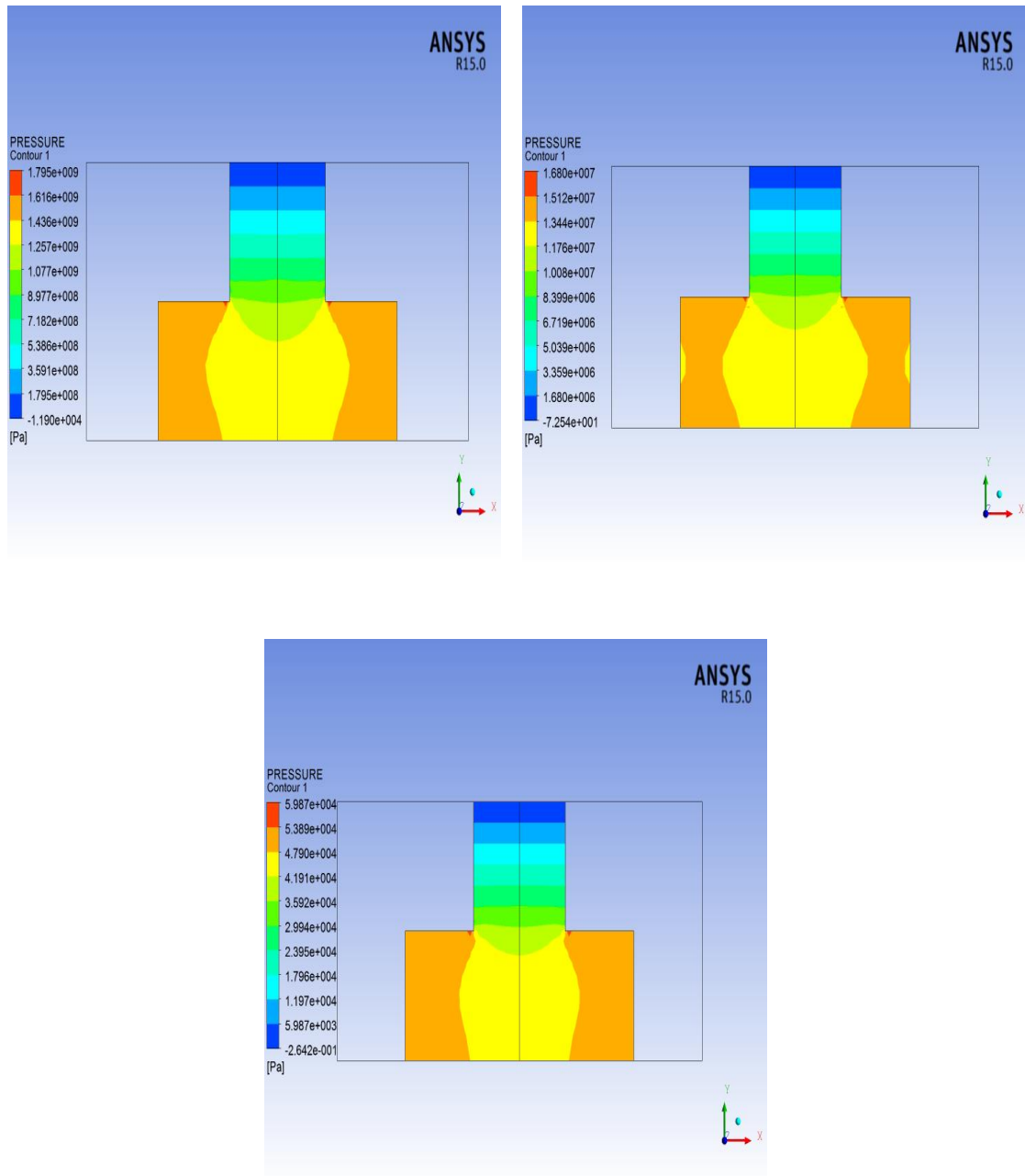


Fig. 4.8 La pression pour différents débits $Q=0.3E^{-03}$, $0.6E^{-06}$, $0.9E^{-09} m^3/s$

IV.5.2 Etude l'influence du débit en fonction de la vitesse

En analysant la figure 4.9, on remarque que la vitesse est plus élevée dans la seconde partie de la matrice où la section est plus petite. Il atteint une valeur maximale au centre du tube mince. Montre la défiance résultat la vitesse. La variation de débit n'influe sur la vitesse de polymère a cause de L'augmentation de débit. Les contours de vitesse pour les trois débits utilisés sont présentés sur la figure 4.9, il est clair que les vitesses les plus faibles sont au voisinage de la base et plus spécialement vers le coin et cela s'explique par la formation d'une zone morte qui se disparue en approchant la section de contraction.

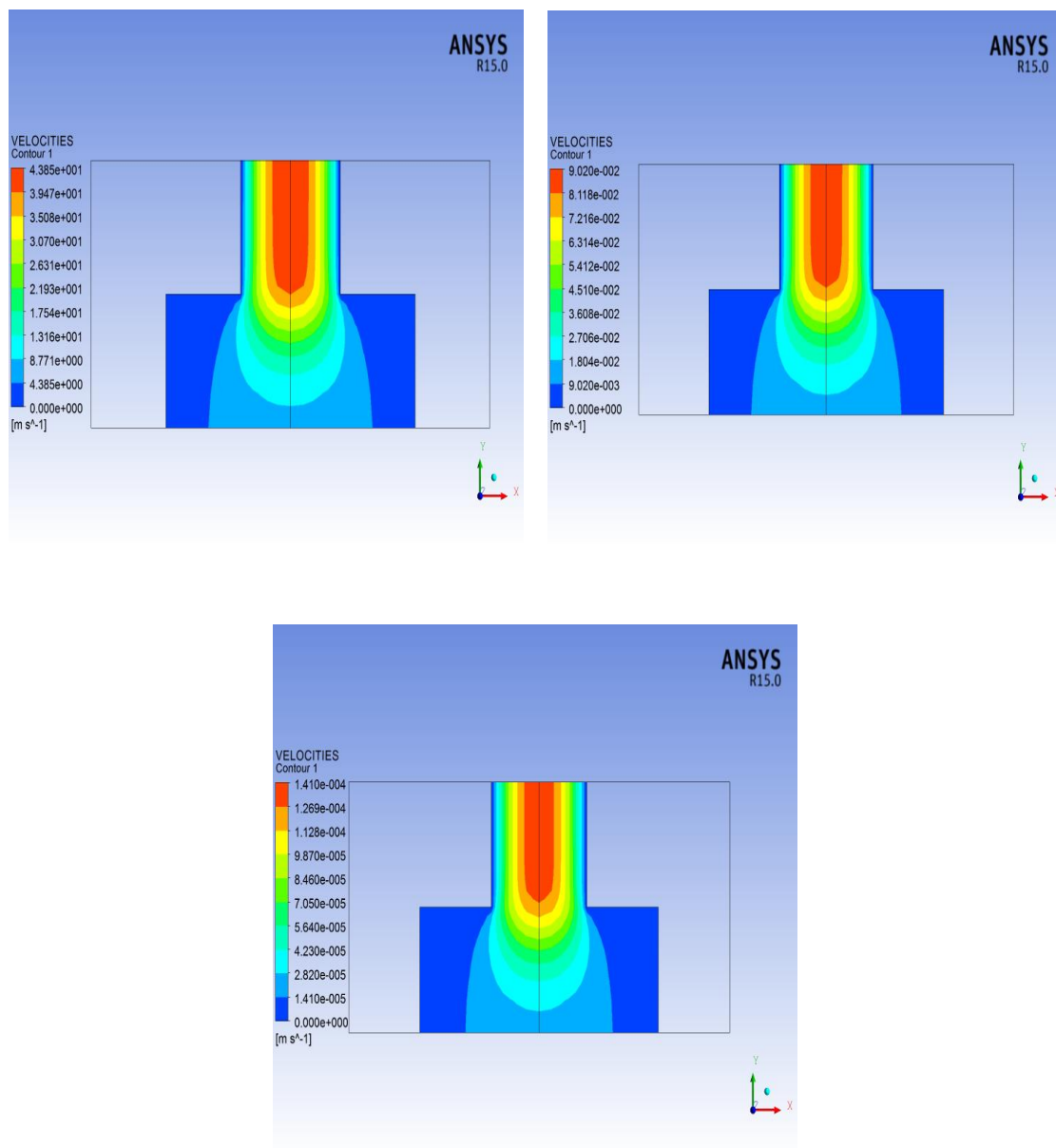


Fig. 4.9 La vitesse pour différents débits $Q=0.3E^{-03}$, $0.6E^{-06}$, $0.9E^{-09}m^3/s$

IV.5.3 Etude l'influence du débit en fonction de la linge de courant

Dans cette partie l'écoulement est lent et laminaire et les lignes de courant restent uniformes comme le montre la figure 4.10 sans présence de contre-courant ou de tourbillons. Donc le profile de vitesse est parabolique classique.

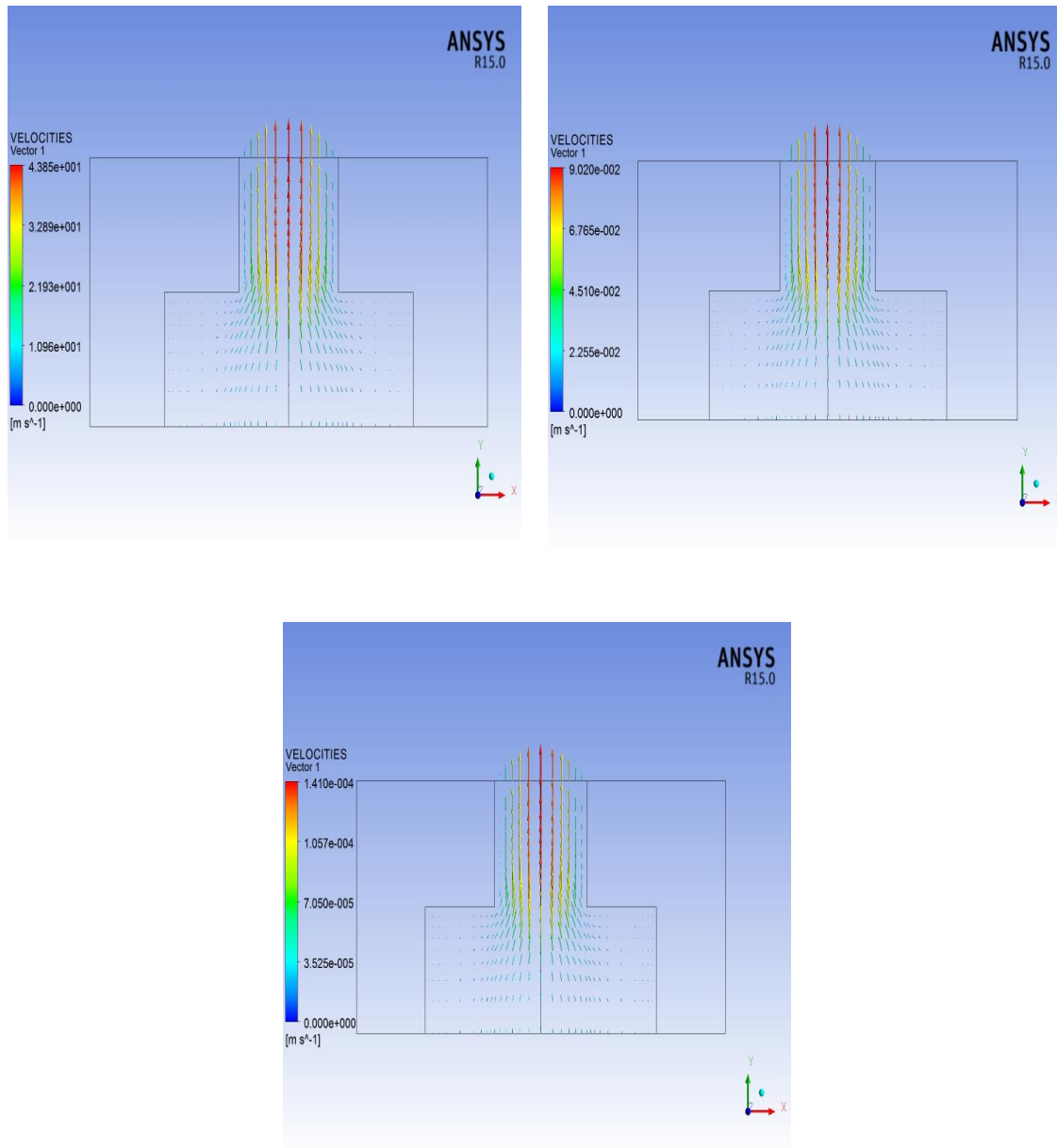


Fig. 4.10 Les lignes de courant pour différents débits $Q=0.3E^{-03}$, $0.6E^{-06}$, $0.9E^{-09}m^3/s$

IV5.4 Effet l'influence du débit en fonction de la distribution de taux de cisaillement local

Les contours de la contrainte de cisaillement présenté sur le domaine de calcul pour les différents débits d'entré sont montrés sur la figure 4,10. On remarque que ces contours reflètent directement le comportement dynamique du polymère dans la matrice, cela s'explique par les faibles vitesses générés par la zone morte résultent des contraintes plus faibles, en s'approchant de la section de contraction, on voit que le pique de la contrainte se réside à partir de la pointe (sommets) et plus près de la paroi, alors que les plus faibles valeurs de vitesse dans cette section se localisent au centre.

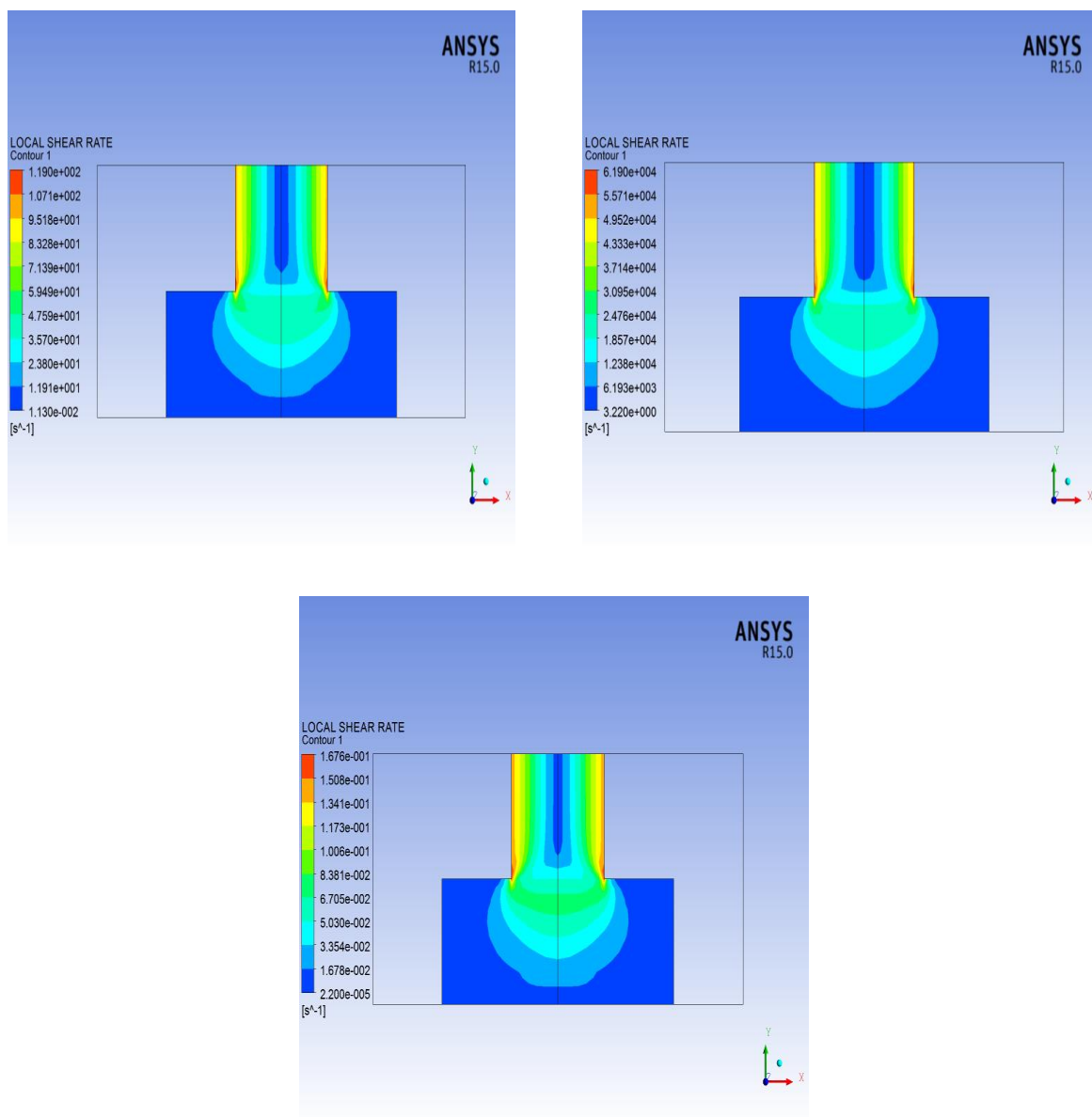


Fig. 4.10 distribution de taux de cisaillement local pour différents débits $Q=0.3E^{-03}$, $0.6E^{-03}$, $0.9E^{-03} m^3/s$

IV.5.5 Etude de l'influence du débit en fonction de la distribution de la température

Les gradients de température sont plus importants dans le fluide que dans la matrice, et les iso lignes sont plus proches ensemble dans le fluide que dans la matrice, voir Figure 4.11. C'est car la conductivité du fluide est très inférieure à la conductivité du solide. La température de iso lignes sont perpendiculaires aux limites où le flux (normal) devient nul. Le chauffage du fluide dû à la dissipation visqueuse peut être clairement.

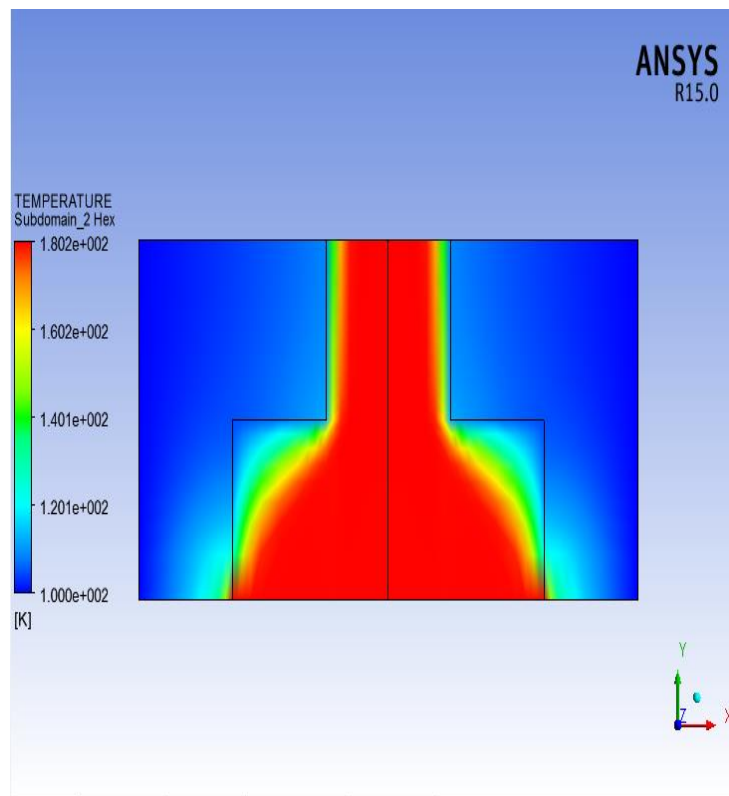


Fig. 4.11 Distribution de la température pour débit $Q= 0.6E^{-06}m^3/s$

IV.5.6 Etude le profil de la pression long de la ligne (y=0.003 m) pour différents débits

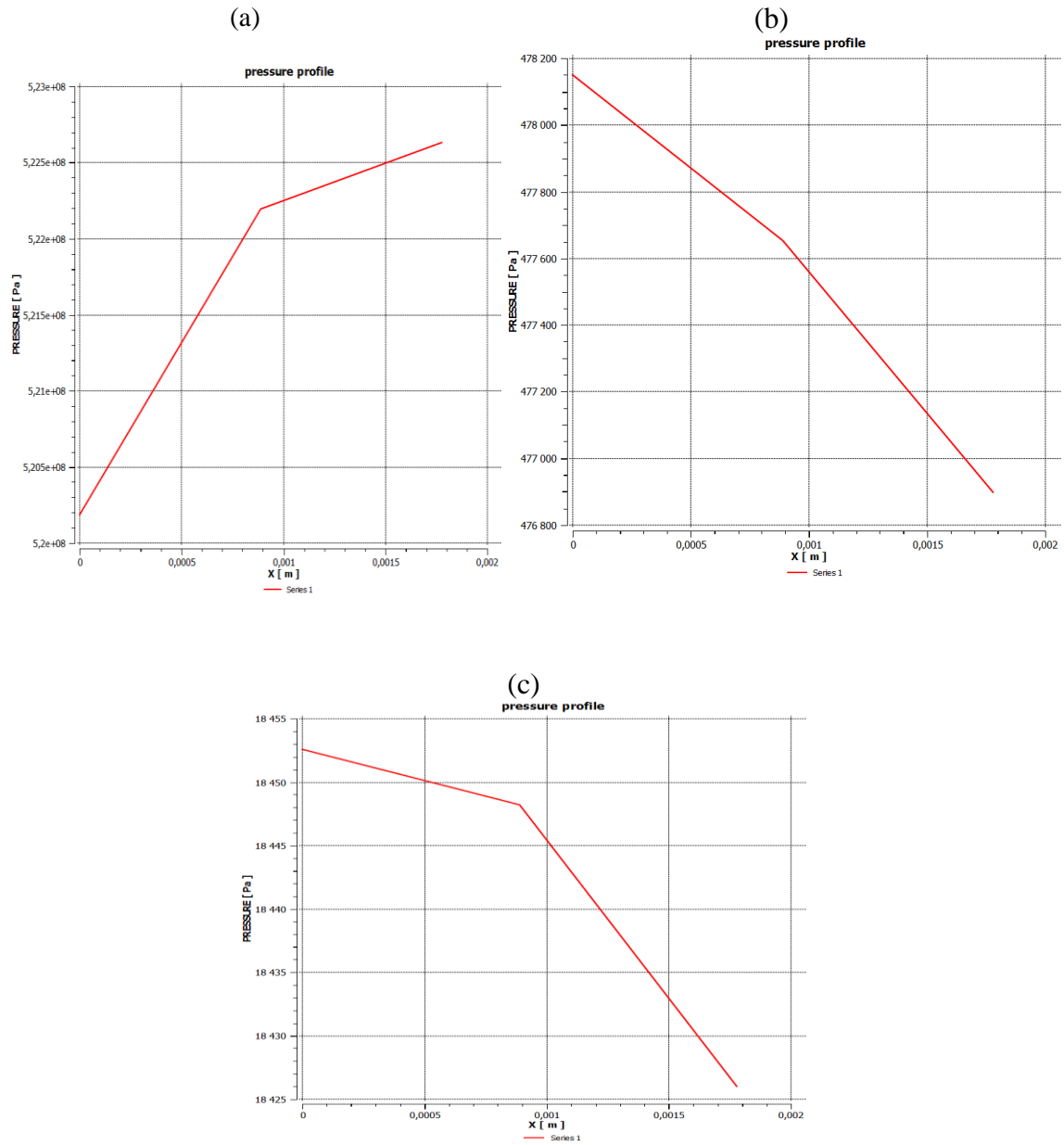


Fig. 4.12 profil de pression le long de la ligne (y=0.003 m) pour différents débits débits $Q=0.3E^{-03}$, $0.6E^{-06}$, $0.9E^{-09}m^3/s$

Le matériau fondu (LDPE) entre sous haute pression ($Pe=1.257E^9$ Pas) et se dirige vers la matrice de l'extrudeuse, La pression du polymère reste pratiquement inchangeable au cours de son passage dans à la sortie filière comme le montre dans la figure 4.12, le champ de pression est trop élevée dans au centre du tube mince et trop faible contrainte plus près de la paroi.

IV.5.7 Etude le profil de la vitesse long de la ligne (y=0.003 m) pour différents débits

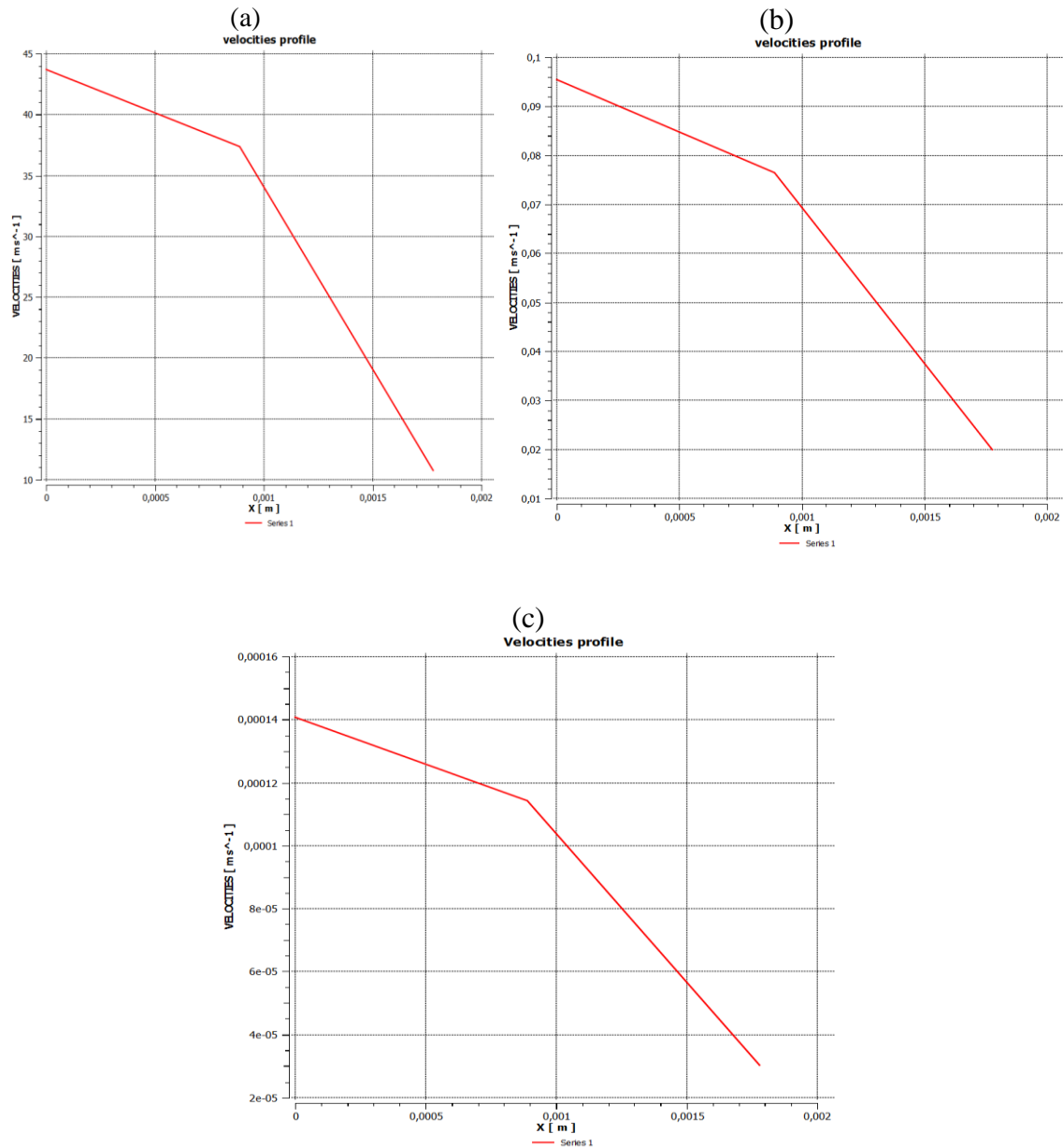


Fig. 4.13 profil de vitesse le long de la ligne (y=0.003 m) pour différents débits débits $Q=0.3E^{-03}$, $0.6E^{-06}$, $0.9E^{-09} m^3/s$

La figure 4.13 visualise le profil de vitesse le long de la ligne (y=0.003 m), En vois que la vitesse est très grande au milieu de la filière du fait que l'énergie cinétique d'écoulement est provoquée par injection du polymère. Et elle est plus faible près de la paroi car le fluide est supposé adhérer à la paroi.

IV.5.8 Etude le profil de la température long de la ligne ($y=0.003$ m) pour différents débits

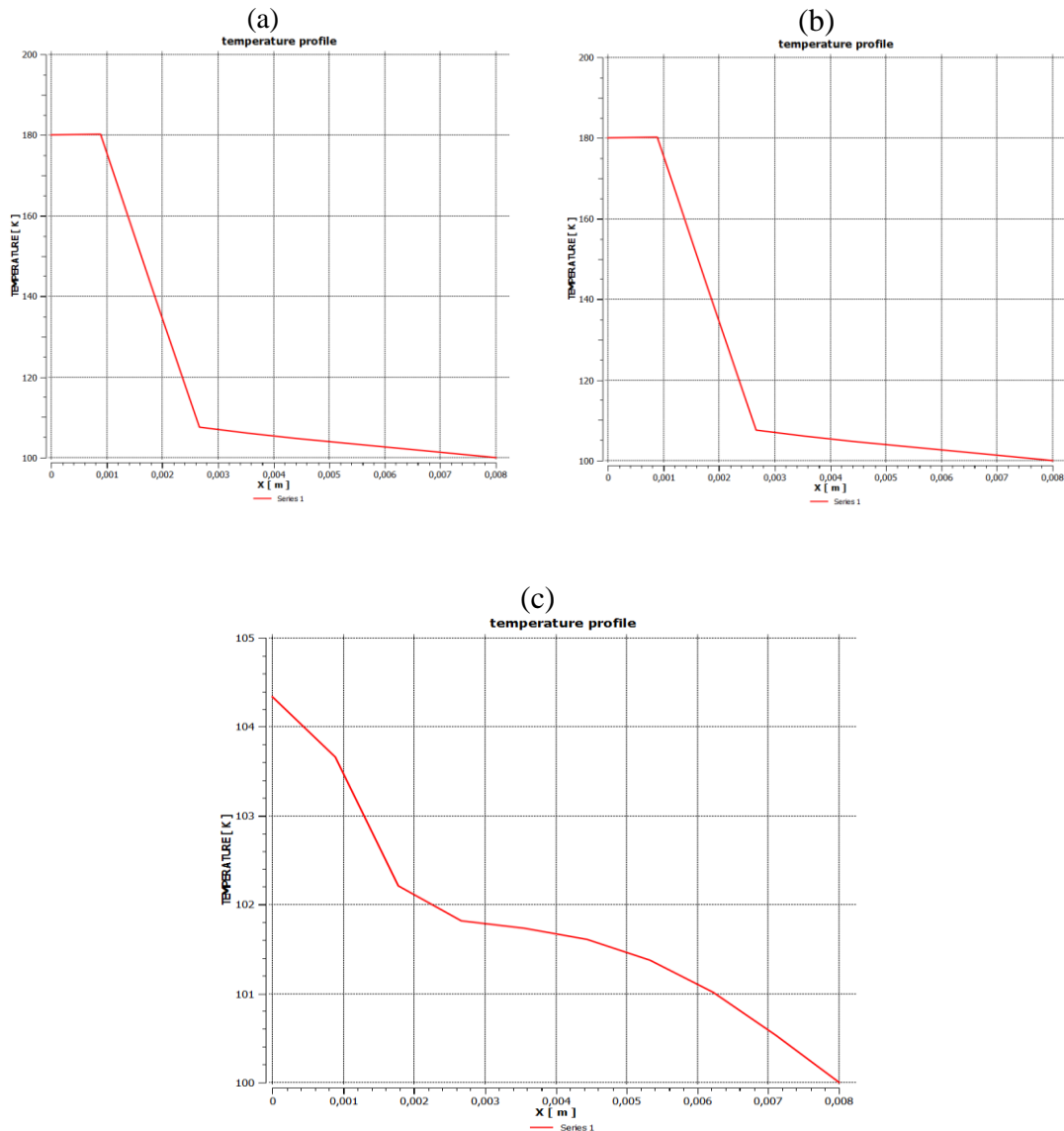


Fig. 4.14 profil de température le long de la ligne ($y=0.003$ m) pour différents débits $Q=0.3E^{-03}$, $0.6E^{-06}$, $0.9E^{-09}m^3/s$

La figure 4.14 visualise le profil de la température le long de la ligne ($y=0.003$ m) pour différents débits, il montre clairement que la couche limite thermique située le long de la paroi de la filière est clairement visible. Cette couche limite est le résultat de la faible conductivité thermique et de la capacité thermique élevée du fluide. La température du fluide au centre n'est pas affectée par la basse température du solide. La chaleur ne diffuse pas assez rapidement à travers la couche de fluide pour atteindre l'axe de symétrie, avant que le fluide sorte de la matrice.

D'après les courbes (a, b, c) on remarque que la température varie le long du sortie filière. L'augmentation de débit diminué la température dans la section mince et aussi diminué prés les parois.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion Générale et perspectives

Cette étude, a caractère numérique, sur les transferts de chaleur dans un écoulement de polymère fondu. Donc l'objectif d'étudier la simulation bidimensionnelle d'écoulement du polymère fondu LDPE (polyéthylène basse densité) à l'intérieur d'une extrudeuse simple et axisymétrique. Le régime d'écoulement étudié est laminaire, isotherme et stationnaire

Cette étude nous a permis d'avoir une idée sur les ordres de grandeur de la pression et de la température du polymère dans la filière. De la, lorsqu'on la connaît, ainsi que la condition de pression en entrée, on peut en déduire le champ de vitesse, de viscosité, de taux de cisaillement, de pression, de flux échange a travers la paroi. Cette modélisation permet donc d'obtenir de nombreuses informations utiles sur la thermique et l'écoulement du polymère dans le procédé extrusion, pour prévoir au mieux la thermique de refroidissement de l'extrudât.

La simulation a été effectuée à l'aide du logiciel ANSYS "Polyflow", qui basé sur la méthode des éléments finis et la résolution des équations de la dynamique des fluides, en plus de l'équation constitutive qui permette d'obtenir la viscosité du polymère. Celui-ci est considéré comme un fluide Newtonien généralisé. Son comportement rhéologique est choisi pour notre cas celui de la loi de cross qui est parmi les plus simples lois.

Pour des débits suffisamment faibles, l'extrudât est lisse, transparent et exempt de défauts. Lorsque le débit augmente, la surface de l'extrudât devient matte et des fissures sur la surface de plus en plus prononcées apparaissent progressivement à la sortie de la filière. Actuellement, on sait que cette fissuration de l'extrudât est un défaut surfacique du à la singularité, et à la concentration de contraintes associée, présente en sortie de filière où le polymère passe d'un écoulement confiné à un jet à surface libre.

Si le débit est encore augmenté, l'écoulement de polymères fondus devient soudain instable en entrée de la filière. Cette instabilité en amont, qui résulte du

comportement viscoélastique des polymères, se traduit en sortie de la filière par le défaut dit (de façon encore peu justifiée) de « rupture d'extrudât ».

Aux grands débits, un glissement permanent à la paroi accompagne souvent le déclenchement de l'instabilité viscoélastique en amont des polymères très enchevêtrés, même si pour certains LDPE cette instabilité peut avoir lieu en même temps que le défaut de fissuration surfacique et avant que le glissement n'apparaisse finalement.

On remarque que la vitesse est plus élevée dans la seconde partie de la matrice où la section est plus petite. Il atteint une valeur maximale au centre du tube mince. Montre la défiance résultat la vitesse. La variation de débit n'influe sur la vitesse de polymère a cause de L'augmentation de débit.

Les gradients de température sont plus importants dans le fluide que dans la matrice, et les iso lignes sont plus proches ensemble dans le fluide que dans la matrice. C'est car la conductivité du fluide est très inférieure à la conductivité du solide. La température de iso lignes sont perpendiculaires aux limites où le flux (normal) devient nul. Le chauffage du fluide dû à la dissipation visqueuse peut être clairement.

Référence bibliographiques

Référence bibliographique

ANSYS POLYFLOW, *15.1 User`s Guide 2015*.

Achab L, S. Benhadid (2005), *Application d'une loi constitutive dans l'étude numérique de l'écoulement sanguin à travers une artère sténosée*, *Rhéologie*, Vol. 7, 28-34

Balaji P.A., Sundararajan T., Lal F.K., (1991) *Viscoplastic deformation analysis and extrusion die design by FEM*, *J. Appl. Mech.* 644.

Carreras s. E. (2005), *stabilite en extrusion des polymeres fondus effets de la pression et de la structure des copolymères triblocs de type aba*, *these de doctorat a l'universite joseph fourier-grenoble i, france*.

CHABANE Fouad « *contribution a la modelisation de transfert de chaleur lors du remplissage d'un moule* » *thèse magistère, université de Batna 2009*.

DJOUDI, Tarek (2005) *Etude De L'écoulement Du Polymère Fondu Dans Les Moules Résolution Par: La Méthode Des Volumes Finis (MVF)*. *Masters thesis, Université Mohamed Khider Biskra*

Gunasekera J., Hoshino S., (1985) *Analysis of extrusion of polygonal sections through streamlined dies*, *J. Eng. Ind.* 107, 229.

Guy R. (2001), *Extrusion cooking Technologies and applications*, *Published by Woodhead Publishing Limited, Cambridge CB1 6AH, England*.

Keife H., (1993) *Extrusion through two die openings: a 2D upper-bound analysis checked by plasticine experiments*, *J. Mater. Process. Technol.* 37 (1993) 189.

Kusiak J., Thompson E.G., (1989) *Optimization techniques for extrusion die shape design. Numerical Methods in Industrial Forming Processes (NUMIFORM)* 569.

Maniatty A.M., Chen M.-F., (1996) *Shape sensitivity analysis for steady metal-forming processes*, *Int. J. for Num. Meth. Eng.* 39, 1199.

Michaeli W. (1992), *Extrusion Dies for plastic and Rubber: design and engineering computations' 2nd Edition* by Hanser Publisher.

Nagpal V., Billhardt T., Altan, (1979) lubricated extrusion of 'T' sections from aluminum, titanium and steel using computer-aided techniques, *J. Eng. Ind.* 101, 319.

Nassehi V. (2002), *practical aspects of finite element modelling of polymer processing*, Published by John Wiley & Sons, Ltd

Polyflow manual (2001), **Generalized Newtonian flow, chapter 8.**

Prasad A. (1999), Polyethylene low-density, *Polymer Data Handbook*, Published by Oxford University Press, pp. 518

Pujos C. (2006), *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, Université Bordeaux I, France.

Ulysse P. (1999), optimal extrusion die design to achieve flow balance, *Inter. J. of Machine Tools & Manufacture* 39, 1047–1064

Ulysse P., Johnson R.E., (1999), A die design model for thin section extrusions, *Int. J. Mech. Sci.* 41, 1067.

VERGNES B. and PUISSANT S. (2002a), extrusion monovis (partie 1), *Techniques de l'Ingénieur. AM 3 650*, pp. 1-16

VERGNES B. and PUISSANT S. (2002b), extrusion monovis (partie 2), *Techniques de l'Ingénieur. AM 3 651*, pp. 1-10

<http://pslc.ws/french/pe.htm>

Yanneck Wielhorski (2012) « Transferts de chaleur dans un écoulement de polymère fondu en régime non stationnaire - Application aux procédés d'extrusion et d'injection » Thèse de doctorat, Ecole polytechnique de l'Université de Nantes.

TABET Sara (2017), « Etude numérique de la convection naturelle dans une enceinte fermée partiellement chauffée » Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle Université d'Oran 2.

Tomalia D.A., J. M .J. Fréchet (2001). *Dendrimers and other Dendritic Polymers*; Wiley, New York.

I. Teraoka (2002), *Polymer Solutions, An introduction to physical properties*, Ed. Polytechnic University Brooklyn, New York.