

## *Chapitre I*

### *Recherche bibliographique*

#### **1 Introduction**

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 (Guy 2001). Cependant, selon Vergnes et Puissant (2002b) 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.

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 (Guy 2001). 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 (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 (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 (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 (Balaji et al. 1991; Nagpal et al. 1979; Gunasekera et Hoshino 1992; 1985). 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, 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. Bien que, 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. 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 modelé 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. 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 résultats analytiques obtenue avec ceux trouvés expérimentalement par Keife (1993) montre une bonne validité de la méthode numérique utilisée.

D'autre part, non seulement les paramètres géométriques influent sur l'extrusion mais aussi bien les paramètres hydrodynamiques. Pour de faible débit l'extrudât est lisse et transparent, plus on augmente le débit, des défauts apparaissent (Carreras 2005). Den Ottre (1970) ont étudié expérimentalement l'influence du débit sur la qualité de forme de l'extrudât. Dépendant du débit, l'extrudât peut prendre des aspects différents qui dépendent de la nature du polymère. On distingue généralement trois grands types de défauts : le défaut de peau de requin, le défaut bouchon, la rupture d'extrudât. Le défaut de "peau de requin" se manifeste par la formation de rayures à la surface de l'extrudât.

Les rayures superficielles se développent et se rejoignent pour former des plis organisés et périodiques Piau et al. (1990). Le défaut "bouchon" se présente comme une succession régulière et périodique de zones lisses et de zones en peau de requin, il est causé par des fluctuations du débit et de la perte de charge dans la filière. Ces oscillations sont dues à l'apparition d'un glissement macroscopique du polymère en écoulement. Enfin, à des débits très élevés, le volume du jonc est dans la plupart des cas très perturbé. L'extrudât peut prendre l'aspect d'une hélice ondulée régulière ou être complètement chaotique : c'est le défaut de rupture d'extrudât.

Récemment, 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'amont à l'aval de l'extrudeuse n'influe pratiquement pas sur la contrainte de cisaillement et l'élongation. D'autre part, l'auteur a signalé que des instabilités peuvent naître pour une contrainte de cisaillement critique caractérise l'apparition des instabilités viscoélastiques quelle que soit la pression moyenne.

Pour remédier à ces problèmes d'instabilités, Goutille et al (2002) ont mené une étude expérimentale du défaut de rupture d'extrudât à l'aide d'un rhéomètre capillaire. Leurs résultats montrent qu'en jouant sur les paramètres géométriques (longueur et angle d'entrée de la filière)

et opératoires (température, empilements de filtres) on peut limiter les perturbations dues à la rupture d'extrudât, et même dans certains cas les supprimer.

L'étude numérique des écoulements des polymères rend nécessaire de disposer de modèles pour le comportement rhéologique, d'une part, et pour des phénomènes physiques à décrire, d'autre part. Nous considérons dans ce travail les polymères comme incompressibles et, compte tenu de leurs propriétés physiques, ils obéissent à une loi constitutive plus complexe que celle du liquide newtonien (Carrot et Guillet 2002 et Shenoy 1999). La loi des fluides newtonien généralisé est la plus utilisée pour décrire le comportement rhéologique des polymères en phase d'extrusion (Nassehi 2002). McKelvey et Ito (1971) ont analysé numériquement l'uniformité d'un écoulement isotherme décrit par la loi de puissance dans une matrice d'extrusion. Ils ont défini l'indice d'uniformité. La méthode présentée permet d'établir les dimensions de la matrice pour un débit et un gradient de pression particulier. Ils ont conclu que l'indice de la loi de puissance est un paramètre clé pour la détermination de l'uniformité d'écoulement à travers la matrice.

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'isothermie 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.

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.

Les formulations de Galerkin et de pénalité sont largement utilisées pour prédire les écoulements incompressibles et visqueux. La méthode classique de Galerkin est utilisée pour les écoulements potentiels, la méthode de pénalité retrouve son application pour les écoulements visqueux (Carey et Oden 1986; Ghoreishy and Razavi Nouri 1998). Ces méthodes sont peut stables et ne peuvent pas capturer les écoulement fortement convectifs ou les tourbillons et des contre courant apparaissent. Cependant, pour remédier à ce problème d'instabilité d'autre formulations ont été développé à savoir: La méthode de Galerkin/écarts carrés (Eason 1976; Jiang et Povinelli 1989), et la méthode de Petrov-Galerkin (Donea et al. 1987; Baker et al. 1987).

Cette recherche aborde un thème d'actualité domaine de formage du polymère qui est conception de la matrice d'extrusion. La conception d'une matrice à écoulement uniforme à la sortie est un problème difficile qui peut être résolu en utilisant les méthodes d'optimisation par éléments finis. Par ailleurs, l'optimisation par simulation 3D pour des formes arbitraires ou réalistes seraient d'un coût de mémoire de calcul important et excéderaient les ressources de mémoire disponibles (CPU et espace mémoire). Par conséquent, afin d'obtenir quelques compréhensions sur la conception du palier, une conception géométrique bidimensionnelle de la matrice est adoptée.

Les modèles bidimensionnels de matrice d'extrusion axisymétriques peuvent être utiles pour de mince section d'extrusions où l'écoulement traversant l'orifice de la matrice est pratiquement bidimensionnel.