

## Etude de cas d'application

Dans ce chapitre, on va étudier deux cas :

- Un cas de géométrie élémentaire de forme secteur avec un angle variant.
- Un cas d'une pièce constitué par trois géométrie élémentaires (Canal, Secteur et Plaque).

Avec :

- l'influence des lois de comportement sur les calcul de paramètres mécaniques et thermiques pour un l'élément secteur (loi de puissances et d'Arrhenius).

### V.1.GEOMETRIE DU SECTEUR :

#### V.1.1.Donnees géométriques :

On a pris un secteur qui à les dimensions suivantes :

ro : rayon intérieur.	ro =0.01 [m]
R : rayon total .	R=0.2 [m]
$\alpha$ : angle .	$\alpha=30^\circ$
h : hauteur .	h=0.005 [m]

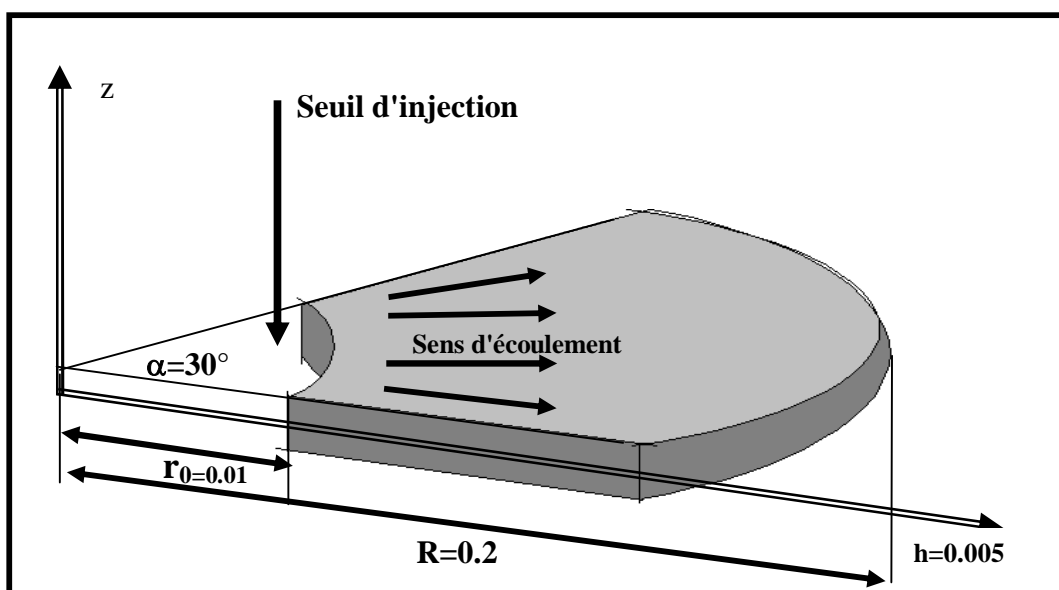


Fig.V.1.Representation d'un secteur

#### VI.1.2.Maillage :

On a divisé le rayon en quatre domaines dans le sens de l'écoulement soit :

La longueur d'un domaine

$$L1=(R-ro)/4$$

Le maillage est composé de  $N_x$  nœuds suivant le sens d'écoulement et  $N_z$  nœuds dans le sens transversal

$$\Delta x = L1 / (N_x - 1) \text{ et } \Delta z = h / (N_z - 1)$$

Cette discrétisation est représentée par la figure ci – dessous :

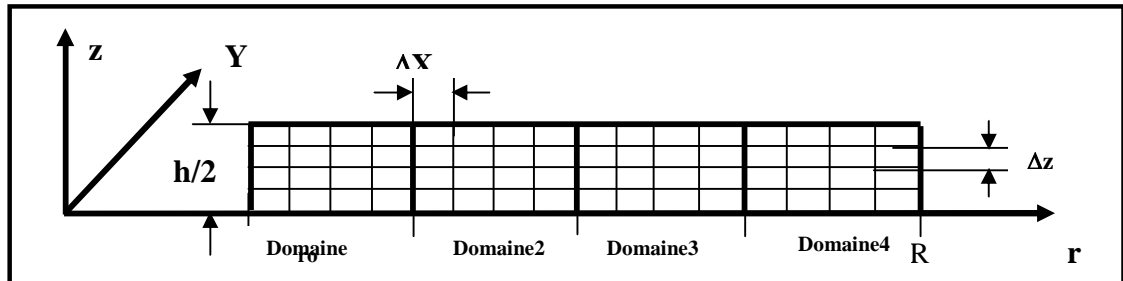


Fig.V.2.maillage de la moitié supérieure du secteur

### V.1.3.Matériau :

Le matériau choisi pour cette modélisation est le : **polypropylène**, les caractéristiques de ce matériau sont [23] :

La viscosité :

- Pour le modèle pseudo-plastique thermo-dépendant  $\eta$  est donnée par :

$$\eta(\dot{\gamma}, T) = A \exp(C \cdot T) \dot{\gamma}^B \text{ pour la loi de puissance}$$

Avec

$$A = 43350$$

$$B = -0.61971$$

$$C = -0.0088522$$

$$\eta(\dot{\gamma}, T) = \eta_{Tréf} \cdot \exp\left[\frac{E}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{Tréf}}\right)\right] \text{ pour la loi d'Arrhenius}$$

Avec

$\eta_{Tréf}$  est donnée par la loi de Carreau-Yasuda

$$\eta_{Tréf}(\dot{\gamma}) = \eta_0 \left(1 + (\lambda \dot{\gamma})^b\right)^{m-1/b}$$

$$\eta_0 = 4000 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\lambda = 0,008 \text{ s}$$

$$b = 0,25$$

$$m = 0,026$$

$$T_{Tréf} = 220 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$E/R = 4800 \text{ [}^\circ\text{K]}$$

- Conductivité thermique du plastique :  $K_p = 0.175 \text{ [W/m} \cdot \text{}^\circ\text{C]}$
- Capacité calorifique :  $C_c = 2.02 \cdot 10^6 \text{ [J/}^\circ\text{C} \cdot \text{m}^3]$

**V.1.4. Moule (acier) :**

- Distance entre le canal de refroidissement et la proi de contact :  $e = 4.10^{-3} \text{ m}$ .
- Conductivité de l'acier :  $K_{ac} = 14.6 \quad [\text{W/m.}^\circ\text{c}]$ .

**VI.1.5. Condition d'injection :**

- Temps de remplissage :  $t_r = 4 \quad [\text{s}]$ .
- Température d'injection :  $T_{inj} = 250 \quad [^\circ\text{c}]$ .
- Température de refroidissement :  $T_{ref} = 20 \quad [^\circ\text{c}]$ .

V.1.6. LES RESULTAT:

Ces graphes présentent les résultats pour la méthode des volumes finis.

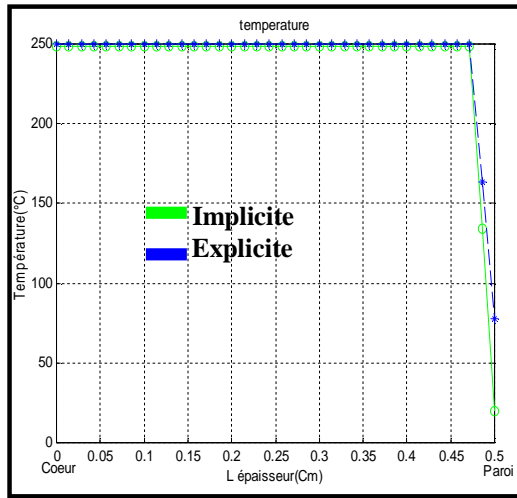


Fig.V.3. Température dans le moule

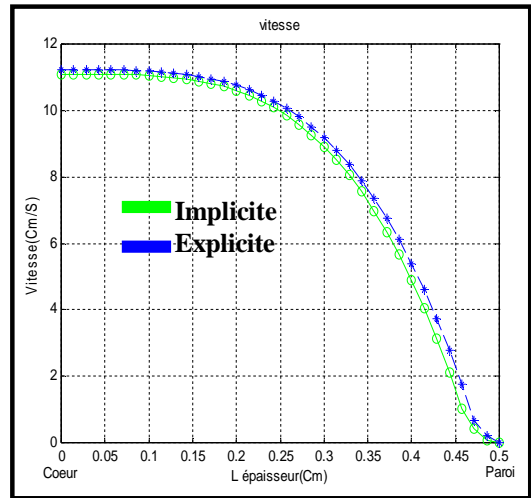


Fig.V.4. Champs du vitesse

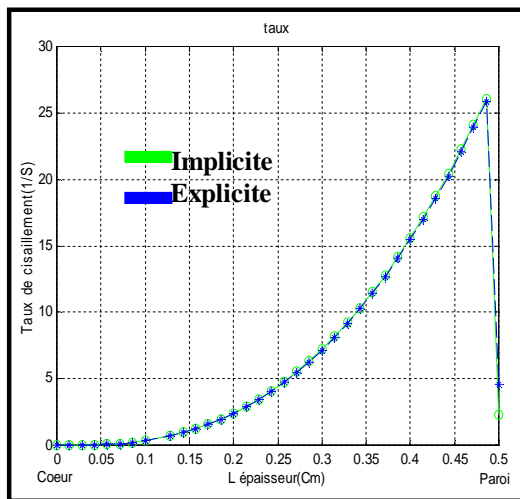


Fig.V.5. Taux de cisaillement

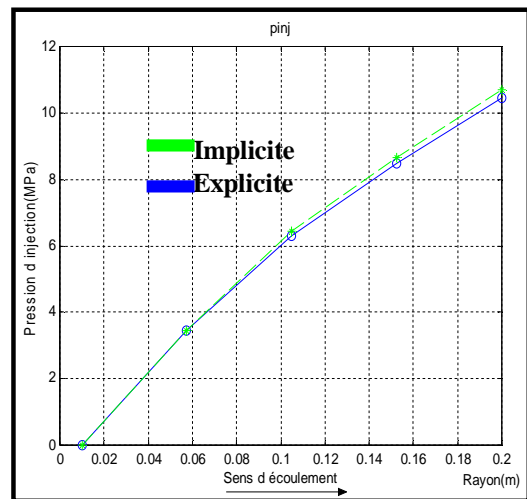


Fig.V.6. Pression d'injection

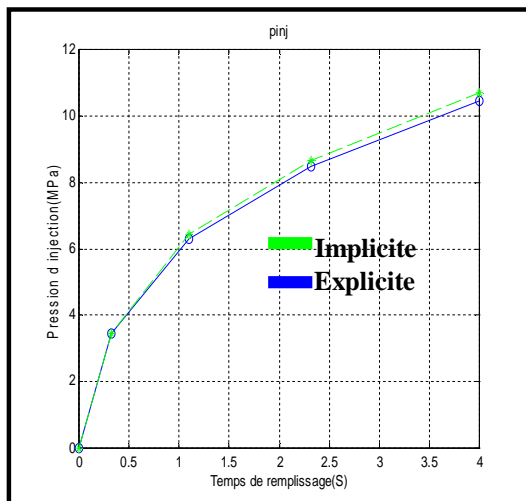


Fig.V.7. Pression d'injection

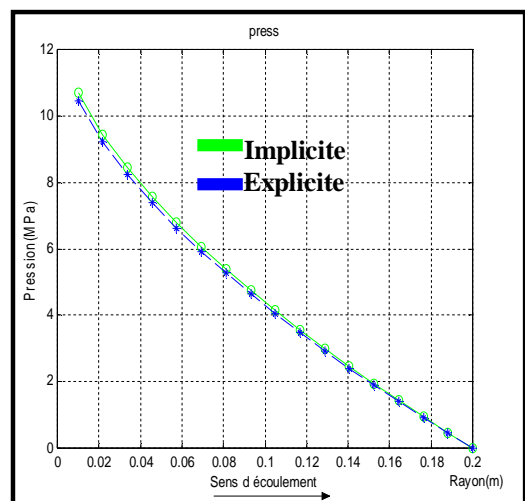


Fig.V.8. Pression dans le moule

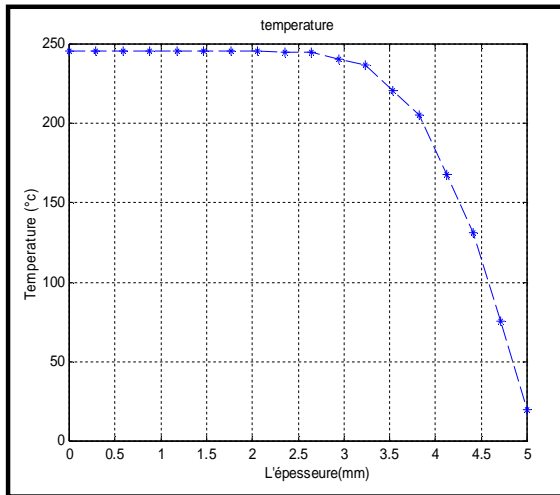


Fig.V.9. Température dans le moule

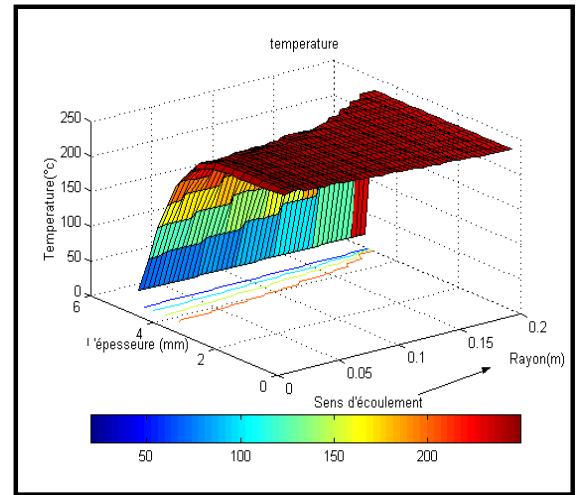


Fig.V.10. Carte de température dans le moule

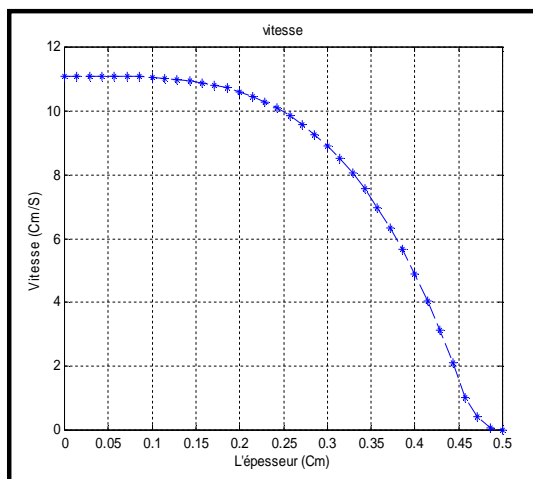


Fig.V.11. Champs du vitesse

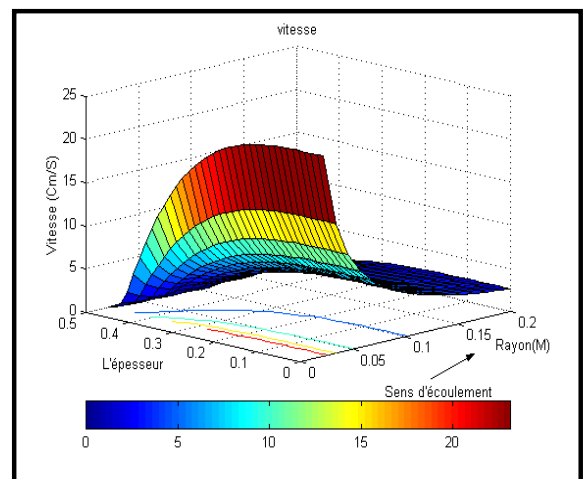


Fig.V.12. Carte du champs de vitesse

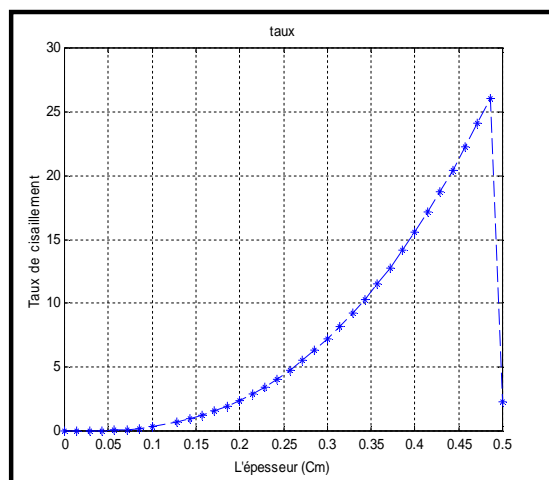


Fig.V.13. Taux de cisaillement

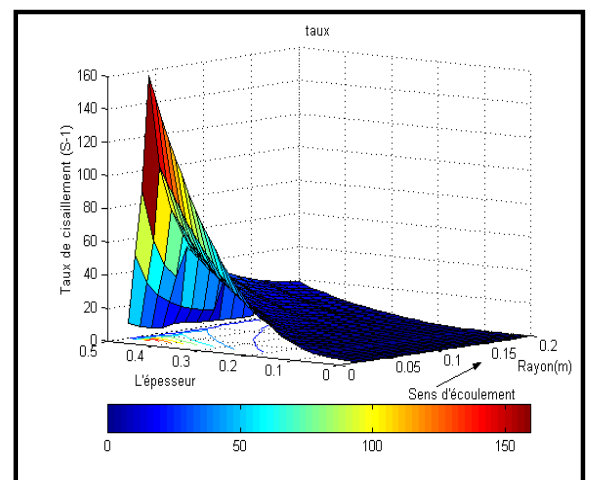


Fig.V.14. Carte de Taux de cisaillement

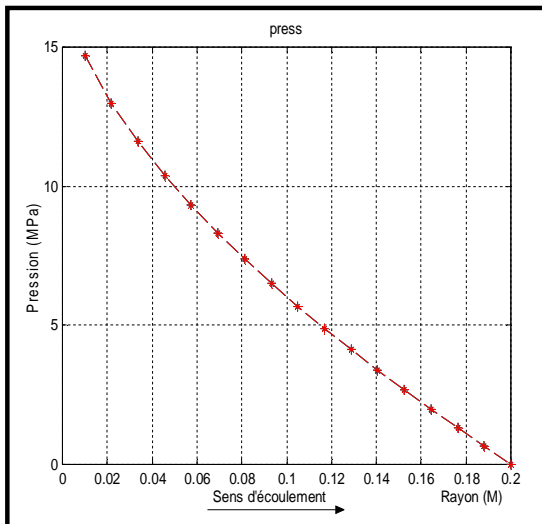


Fig.V.15. Pression dans le moule

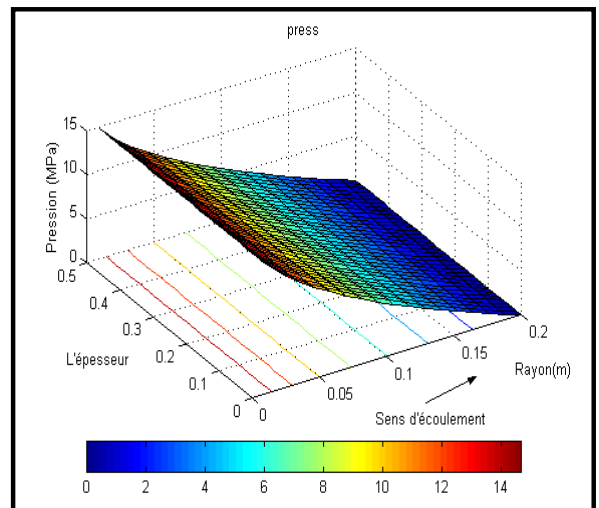


Fig.V.16. Carte de la pression dans le moule

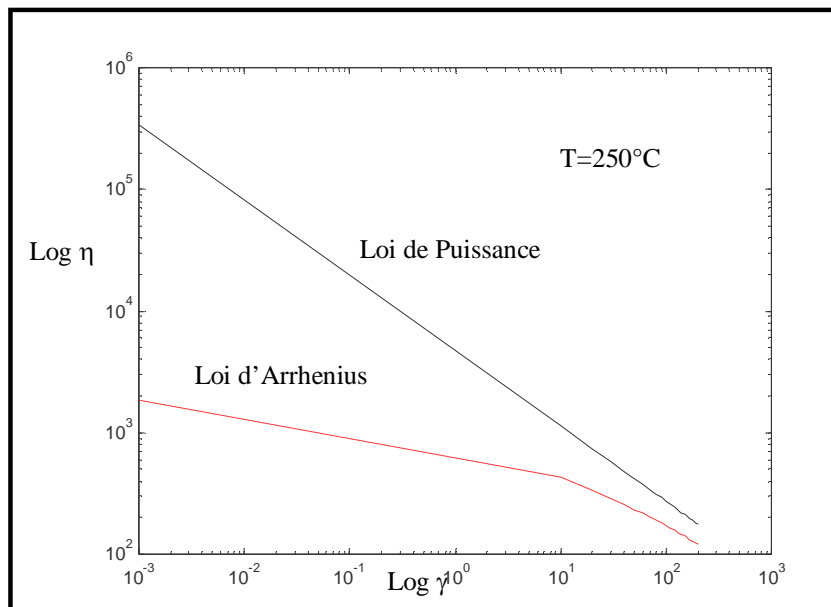


Fig.V.17. Loi de puissance et Loi d'Arrhenius

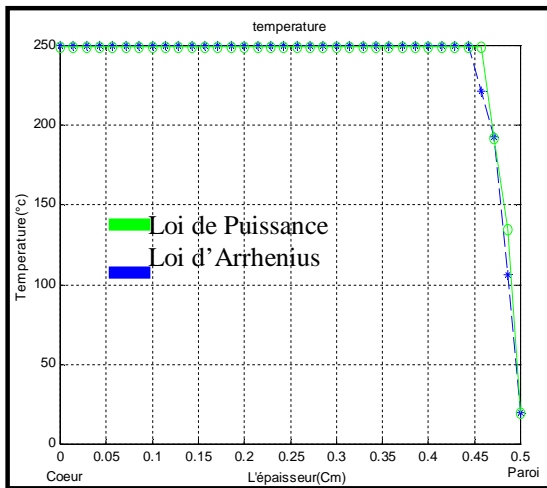


Fig V.18. Température dans le moule

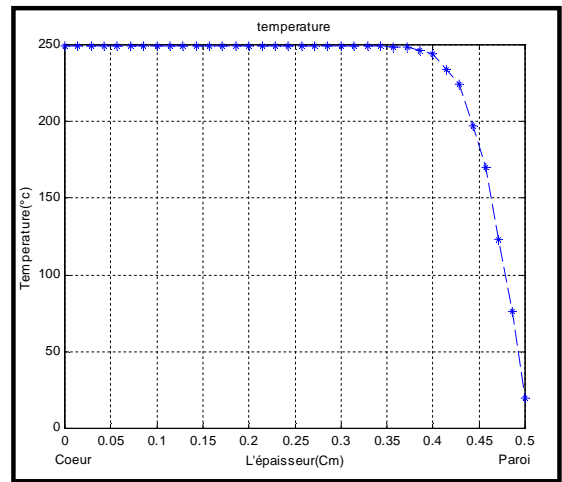


Fig V.19. Température dans le moule (loi d'Arrhenius)

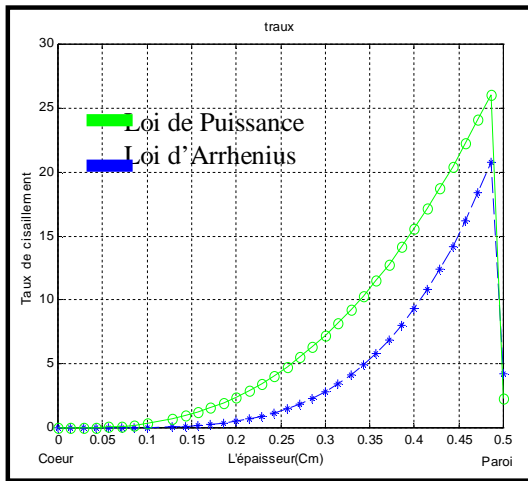


Fig V.20. Taux de cisaillement

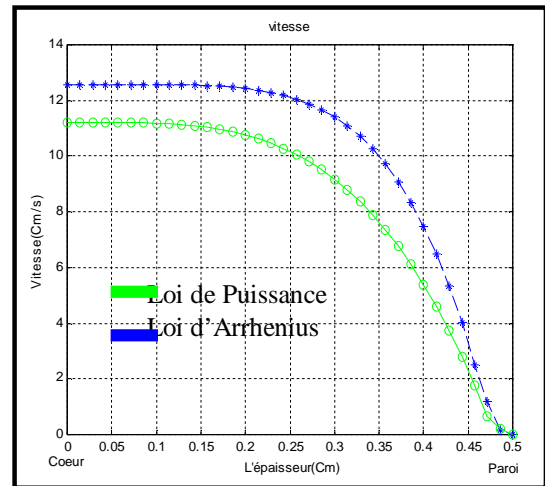


Fig V.21. Champs de vitesse dans l'épaisseur

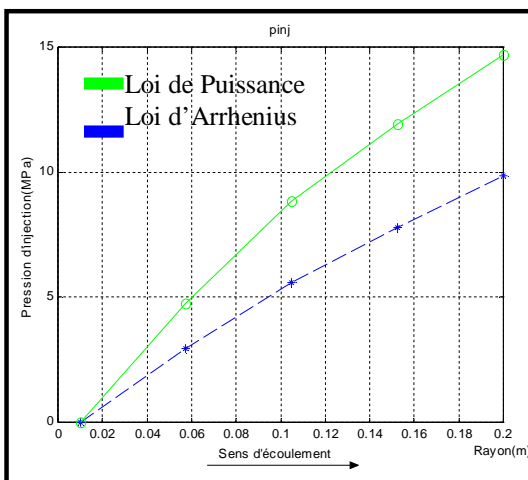


Fig V.22. Pression d'injection

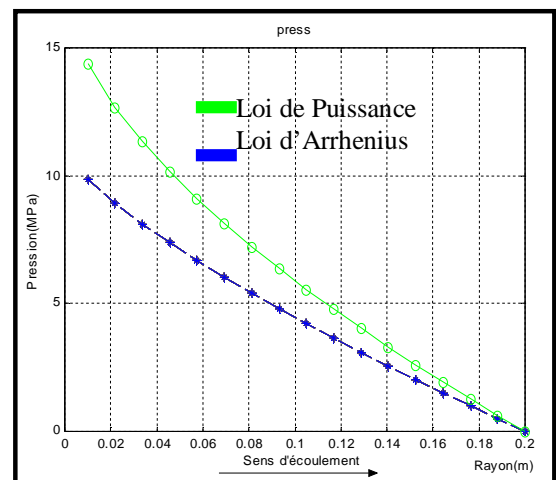


Fig V.23. Pression dans le moule

Ces graphes présentent les résultats graphique pour la méthode des différences finis et volumes finis.

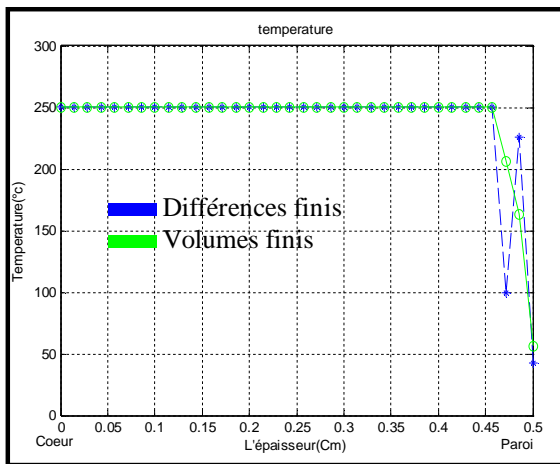


Fig.V.24. La température dans le moule

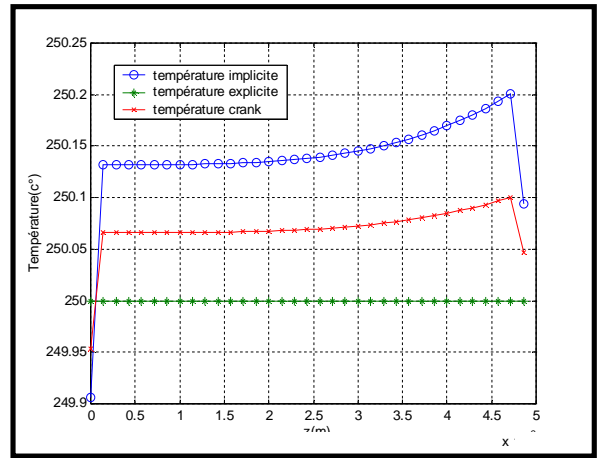


Fig.V.25. La température au milieu de moule

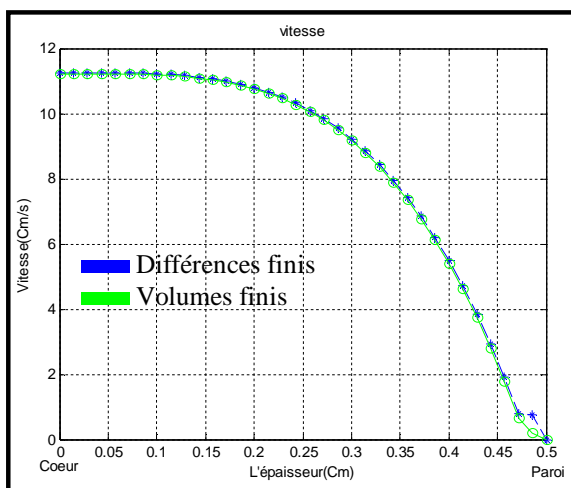


Fig.V.26. Champs de vitesse

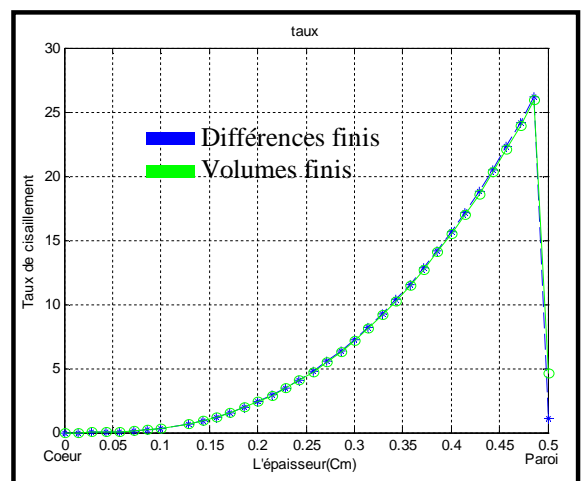


Fig.V.27. Taux de cisaillement

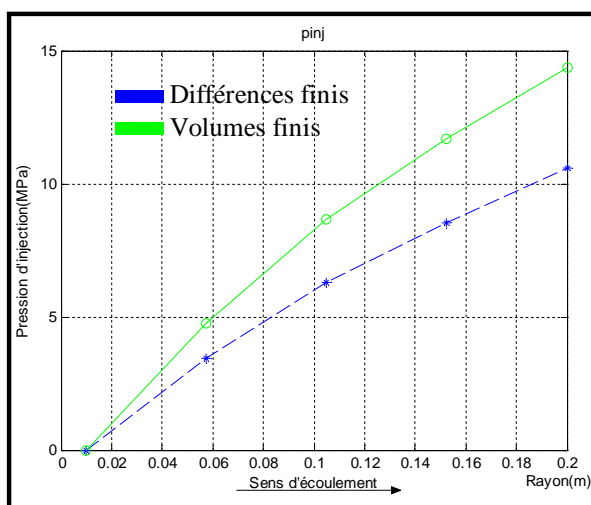


Fig.V.28. Pression d'injection

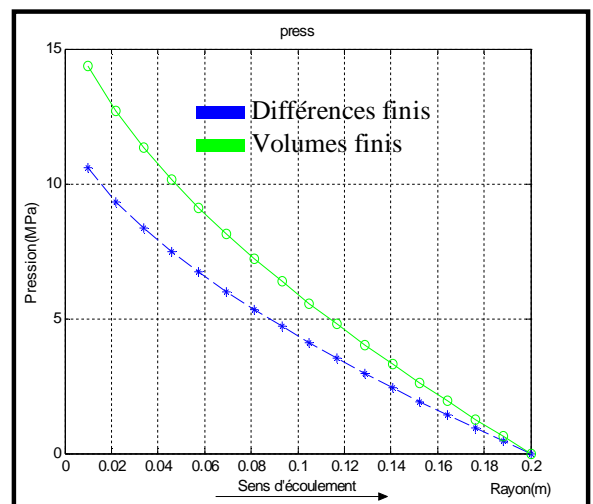


Fig.V.29. Pression dans le moule



Ces graphes présentent les résultats graphique pour un cas d'un disque [25 ].

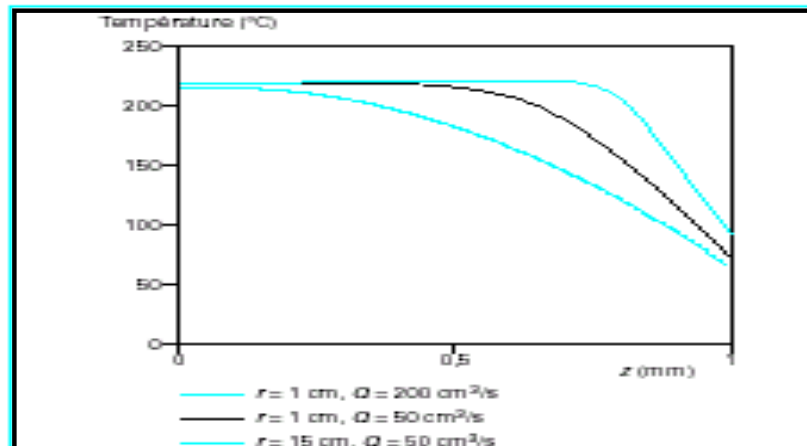


Fig.V.30. Profils de température (loi d'Arrhenius) [ 25 ]

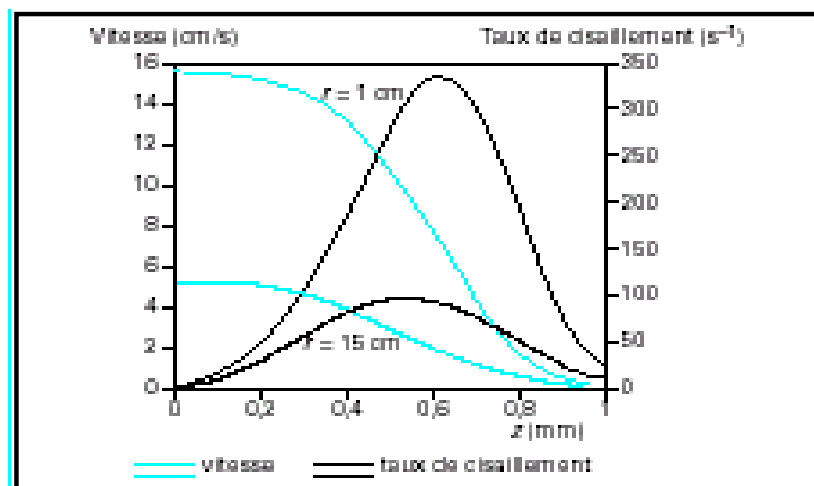


Fig.V.31. Profils de vitesse et de taux de cisaillement (disque)  
Loi d'Arrhenius[ 25 ]

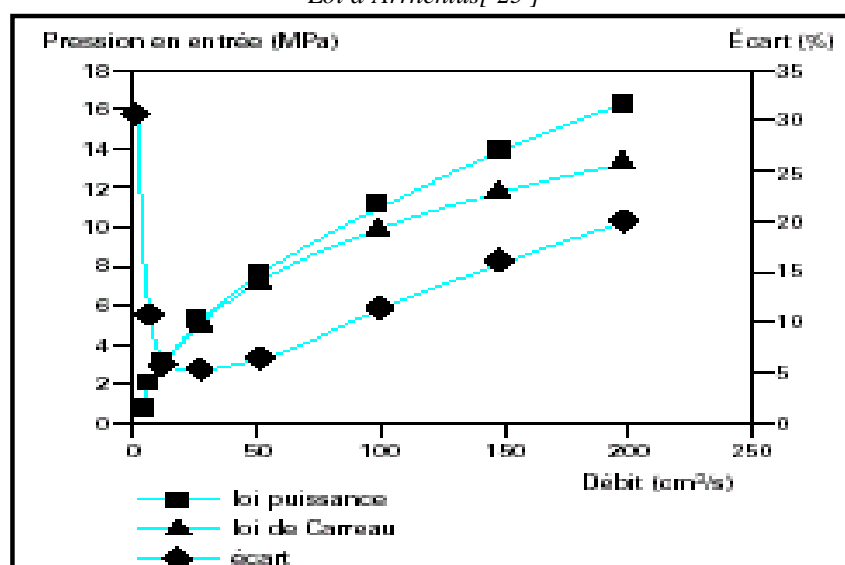


Fig.V.32. La pression d'injection [25]  
Loi puissance et Loi de Carreau

**V.2.CAS D'UNE PIECE:**

Dans notre cas en représente une pièce réelle formée de trois géométries élémentaires (canal, secteur et plaque), pour voir l'influence de la modélisation géométrique de la pièce (la méthode de mise à plat).

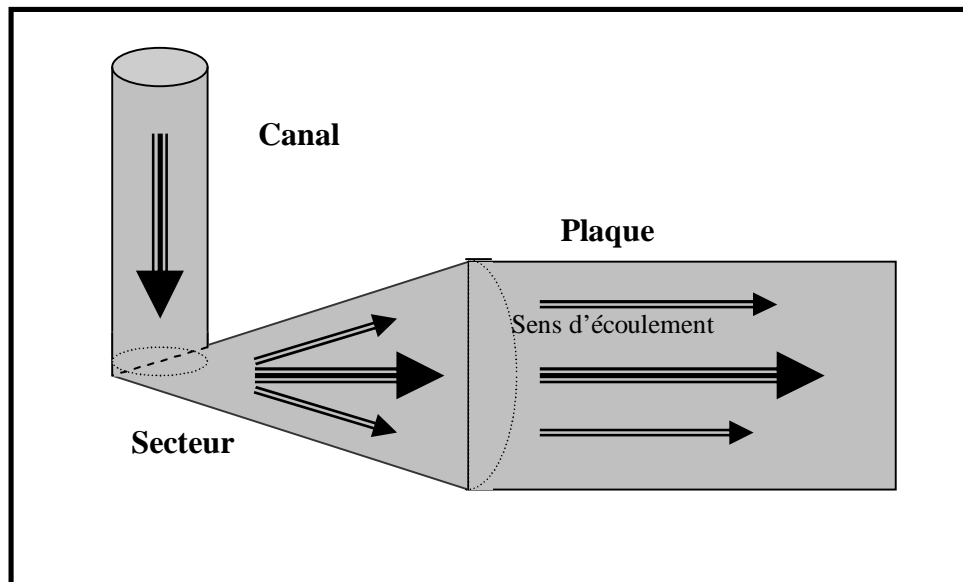


Fig.V.33.La pièce réelle

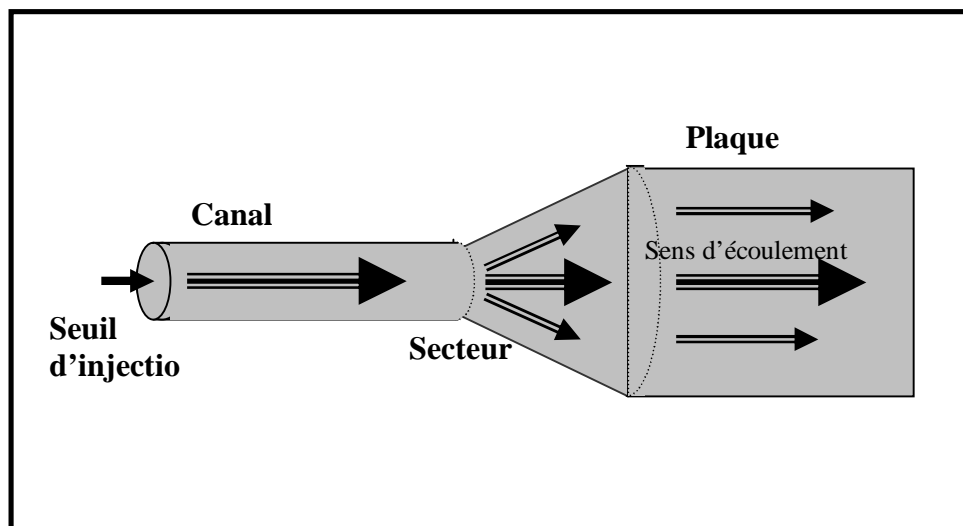


Fig.V.34.Modélisation géométrique de la pièce

**V.2.1. Les données:****Canal:**

Lc:la longueur totale      Lc=0.100m

Rc:rayon total                Rc=0.005m

**Secteur:**

Rro:rayon intérieur        ro=0.005m

Rs:rayon total                Rs=0.100m

hs:hauteur                    hs=0.004m

**Plaque:**

Lp:la longueur total        Lp=0.120m

hp:hauteur                    hp=0.004m

W:la largeur                 W=0.120m

**Le Matériau:**

Les caractéristiques de matériau:

Le matériau choisi pour cette modélisation est le : **polypropylène.**

La viscosité :

- Pour le modèle pseudo-plastique thermo-dépendant  $\eta$  est donnée par :

$$\eta(\dot{\gamma}) = A \exp(C.T) \dot{\gamma}^B$$

Avec

$$A = 43350/10^6$$

$$B = -0.61971$$

$$C = -0.0088522$$

- Conductivité thermique du plastique :  $K_p = 0.175$       [W/m.°C]
- Capacité calorifique :  $C_c = 2.02 \cdot 10^6$                 [J/°C.m<sup>3</sup>]

**Le Moule :**

Les caractéristiques de Moule (acier) :

- Distance entre le canal de refroidissement et la proi de contact :  $e = 4 \cdot 10^{-3}$  m.
- Conductivité de l'acier :  $K_{ac} = 14.6$                     [W/m.°C].

**Condition d'injection :**

- Temps de remplissage :  $t_r = 7$                             [s].
- Température d'injection :  $T_{inj} = 250$                 [°C].
- Température de refroidissement :  $T_{ref} = 20$         [°C].

### V.2.2. Le Maillage :

En raison de la symétrie par rapport au centre de la pièce. Le maillage ne concerne que la moitié supérieure de la pièce.

On a divisé la pièce en trois géomètres élémentaires (canal, secteur et plaque) et on a divisé la longueur totale de chaque géométrie en quatre domaines dans le sens de l'écoulement.

Chaque domaine est divisé en quatre éléments dans le sens de l'écoulement et quatre éléments dans le sens transversal.

Cette discrétisation est représentée par la figure ci-dessous :

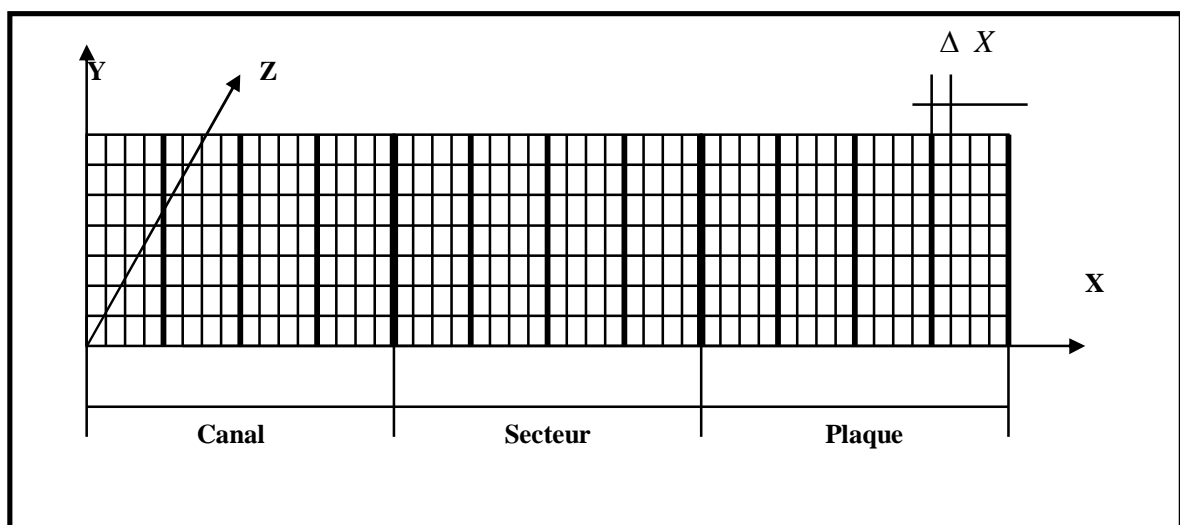


Fig.V.35. Maillage de la moitié supérieure de la pièce

V.2.3. Les Graphes:

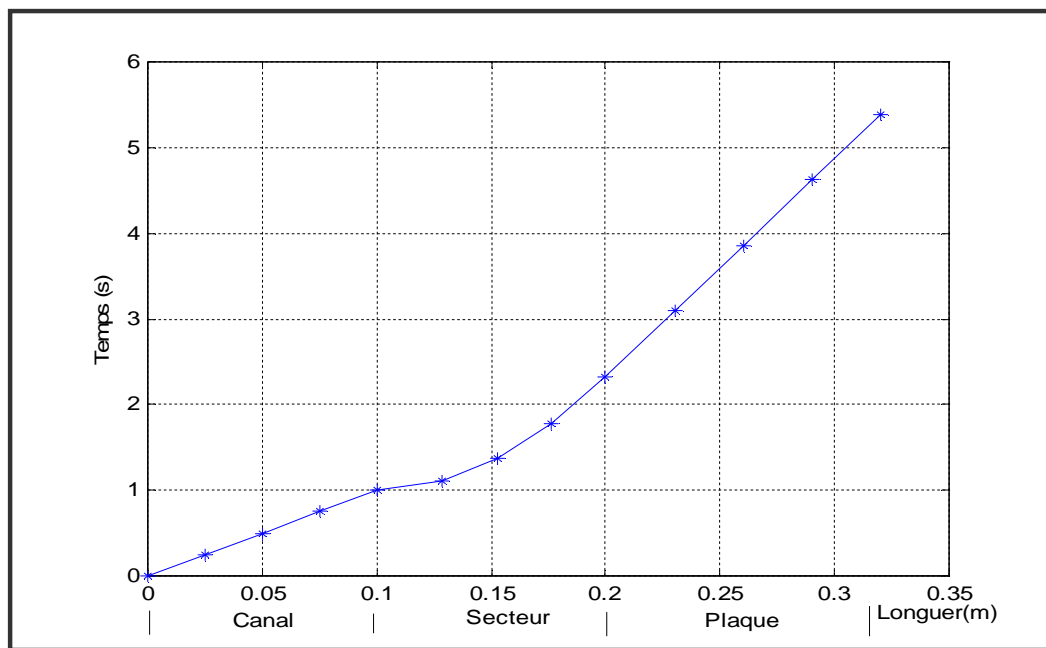


Fig.V.36. Temps d'avancement du front de la matière

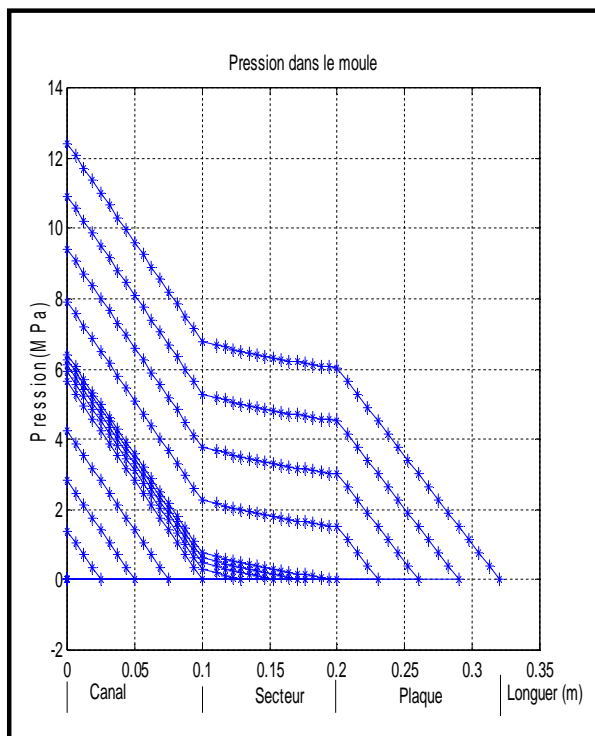


Fig.V.37. Pression dans le moule

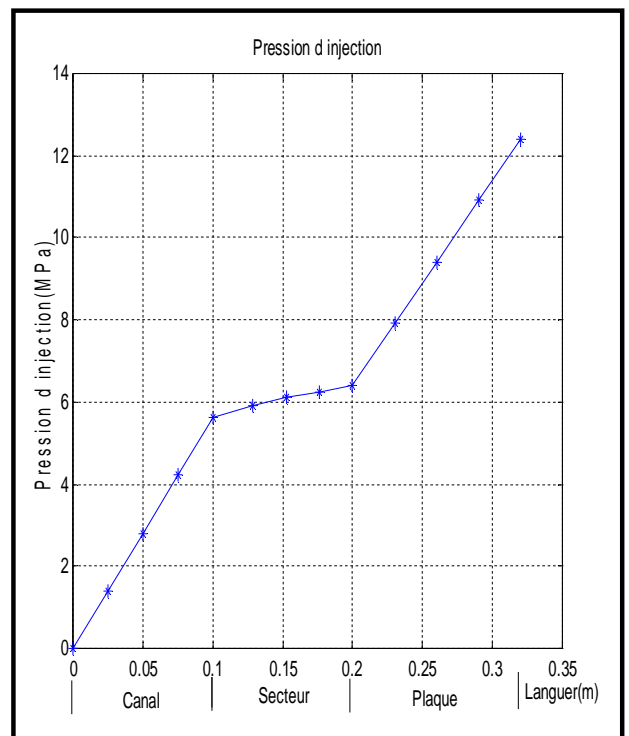


Fig.V.38. Pression d'injection

### V.3.INTERPRETATION DES GRAPHES:

Les figures (V.3 jusqu'à V.8) représentent les paramètres de remplissage d'un moule de géométrie simple, le secteur.

Les graphes de la figure (V.3) jusqu'à la figure (V.8) présentent une comparaison entre la résolution obtenue par la méthode explicite et la méthode implicite.

La figure (V.3) donne le profil de température dans l'épaisseur, il est constant et maximal dans le cœur et dans la majorité de l'épaisseur et chute au niveau de la paroi froide du moule à cause du refroidissement.

La figure (V.4) représente la variation de la vitesse dans l'épaisseur, elle est maximale au cœur, et décroît d'une façon parabolique jusqu'elle s'annule au contact de la paroi froide (condition de non glissement).

La figure (V.5) donne le profil du taux de cisaillement dans l'épaisseur. Le taux étant la dérivée de la vitesse par rapport à l'épaisseur, il est nul au cœur et augmente jusqu'à atteindre un maximum à proximité de la paroi et elle chute brusquement.

La pression d'injection étant la pression de la presse nécessaire pour faire avancer la matière dans le moule. La figure (V.6) représenté cette pression en fonction de la position du front dans le moule. Cette courbe n'est pas linéaire à cause de la variation de la surface du front au cours du remplissage. La figure (V.7) donne cette même pression, mais en fonction de la position du front dans le moule, ce qui donne une courbe similaire à celle de la figure (V.6).

La figure (V.8) donne la pression de la matière dans le moule à la fin du remplissage. Elle est maximale et égale à la pression d'injection au seuil et décroît pour devenir nulle au front de la matière.

Les températures obtenues par la méthode implicite sont nettement inférieure à celles obtenues par la méthode explicite. La chute de la température est plus graduelle dans le premier cas que dans la deuxième figure (V.9). Ceci est du au fait que la méthode implicite donne un système d'équation pour déterminer la température des différents nœuds du maillage. L'influence de refroidissement sera alors transmis graduellement de la paroi vers les nœuds intérieures. Ce qui est

n'est pas le cas pour la méthode explicite ou le calcul de la température s'effectue séparément dans les nœuds des milieux les nœuds de l'intérieur et les nœuds de l'interface.

Une température dans le cas explicite est supérieure à celle dans le cas implicite ce qui donne naturellement une viscosité inférieure.

Ceci a une influence directe sur les paramètres mécaniques. Le polymère est plus fluide dans le cas explicite donc la vitesse sera plus grande figure (V.4) le taux de cisaillement plus faible figure (V.5) la pression nécessaire pour avancer le fluide sera moins importante figure (V.6 et V.7) ce qui engendre une pression dans le moule plus faible figure (V.8).

Les figures (V.9 jusqu'à V.18) représentent le cas des paramètres obtenus avec le calcul implicite de la température ainsi que les cartes donnant l'évolution dans l'épaisseur et dans le sens d'écoulement.

La figure (V.10) montre la variation de l'allure de la chute de la température du seuil d'injection jusqu'à la fin du remplissage. Cette chute est parabolique au niveau du seuil d'injection et devient plus franche à la fin du remplissage. Ces résultats sont similaires à celles obtenus par J.F. AGASSANT et M. VINCENT du Centre de mise en forme des matériaux (CEMEF-France) et représentés à la figure (V.30) [25].

La figure (V.12) montre que la vitesse diminue depuis le seuil jusqu'à la fin du remplissage. On remarque la même allure pour le taux de cisaillement de la figure (V.14). Des résultats d'allure comparable représentés d'une manière différente à la figure (V.31) ont été obtenus par les chercheurs du CEMEF (France) [25].

La figure (V.16) donne la carte de pression dans le moule qui est constante dans l'épaisseur ( $dp/dx = 0$ ) et décroissante dans le sens de l'écoulement. Ceci est en parfaite accord avec les résultats obtenus par J.F. AGASSANT et M. VINCENT du CEMEF(France) et sont représentés par la figure (V.32) [25].

**La figure (V.19)** représente une comparaison entre le calcul de viscosité obtenue par la loi de puissance et la loi d'Arrhenius. L'allure de la courbe de cette dernière est la plus proche de la réalité. Cette différence influe clairement sur les courbes des paramètres obtenus.

**Les figures (V.20 jusqu'à V.25)** représentent une comparaison des résultats obtenus avec la loi de puissance et la loi d'Arrhenius relatives à la viscosité du polymère. L'allure des courbes de ces paramètres reste la même que celle obtenue auparavant.

La température calculée par la loi d'Arrhenius est inférieure que celle obtenue par la loi de puissance figure **(V.20)**. Les faibles valeurs de la viscosité données par la loi d'Arrhenius (polymère plus fluide) donnent un taux de cisaillement plus faible figure **(V.22)** et une vitesse plus grande figure **(V.23)**. La pression d'injection et la pression dans le moule seront plus faibles dans le cas de la loi d'Arrhenius que dans la cas de la loi de puissance figure **(V.24 et V.25)**. Ceci est en parfaite accord avec les résultats obtenus par J.F. AGASSANT et M. VINCENT du centre de mise en forme des matériaux (CEMEF-France) et représentés à la figure **(V.32)** [25].

**Les figures (V.26 jusqu'à V.27)** représentent une comparaison entre les résultats obtenus par la méthode des volumes finis et la méthode des différences finis. Cette comparaison montre une légère différence des valeurs de température. Les valeurs obtenues par la méthode des différences finis sont les plus faibles et présentent un auto-échauffement près des paroi du moule dû au cisaillement figure **(V.26)**.

**La figure (V.27)** présente les différences de valeurs de température obtenues par les différents schémas de la méthode des différences finis.

Ces différences n'ont pas engendrées d'influence sur la vitesse et le taux de cisaillement figure **(V.28 et V.29)**. Par contre on trouve cette influence sur la pression d'injection et la pression dans le moule figure **(V.30 et V.31)**.

**Les Figures (Fig.V.36;Fig.V.37 et Fig.V.38)** présentent l'étude d'une pièce réelle qui peut être modéliser géométriquement par trois géométrie élémentaires figure **(V.32)**.

**La figure (V.36)** représente l'évolution du temps de remplissage au cours de l'avancement du front de la matière. Elle donne le temps d'arrivée de la matière en un point du moule.



La forme de la courbe est variable suivant les différentes géométrie. Ceci est dû à la variation de la section du front de la matière.

**Remarque :**

La forme de l'évolution de la température, la vitesse et le taux de cisaillement reste la même que dans le cas des différents géométrie prises individuellement.

**La figure (V.37)** présente la pression dans le moule. Elle donne la variation de la pression entre le seuil d'injection et le front de la matière à différents instants de remplissage.

La pression dans le moule diminue à partir de la pression d'injection jusqu'à ce qu'elle devient nulle au front de la matière. Cette pression au front est réellement très faible et assurée par la présence des événements qui évacuent l'air présent dans le moule.

On remarque le changement de la pente lorsqu'on passe d'une géométrie à l'autre.

**La figure (V.38)** représente la variation de pression d'injection en fonction de l'avancement de la matière dans le moule. On remarque aussi le changement de la pente suivant les différents géométrie .

On rappelle que la pression d'injection est la pression que doit fournir la presse pour faire avancer la matière dans le moule.

