

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique**

CENTRE UNIVERSITAIRE D'EL-OUED

INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences technique

Filière : génie mécanique

Spécialité: mécanique énergétique

Présenté par : Mohamed louafi

Thème

**Modélisation du la remplissage du moulage
par injection des matières plastiques**

Soutenu le :27-06-2009

Devant le jury composé de :

M Tarek Djoudi

Président
Examineur
Rapporteur

2008-2009

SOMMAIRE

Introduction générale	01
Chapitre I : generalite	
-I-1)-Matières plastiques	04
-I-1-1)-Historique	04
-I-1-2)- Polymère	04
-I-2)-Fabrication plastique	07
-II-2-1)-Méthodes de transformation des plastiques	07
-II-3)-moulage par injection	10
-I-3-1)-moulage des thermoplastique	10
-I-3-2)-la presse d'injection	10
-I-3-3)-L'injection	11
-I-3-4)-le refroidissement et le démoulage	11
-I-3-5)-les phases de moulage par injection	12
Chapitre II : Comportement Rhéologique du Polymère	
-II-1)-generalite	13
-II-1-1)- Propriétés rhéologiques des polymères	16
-II-2)-les différents modèles de viscosité	17
-II-2-1)-Modèle Newtonien	17
-II-2-2)- Modèle Pseudo-plastique	18
-II-2-3)- Modèle Pseudo-plastique thermo-dépendant	22
Chapitre III : Modélisation du remplissage	
-III-1)-Modélisation géométrique par la méthode de mise à plat	25
-III-2)-Equations fondamentales	26
-III-3)-Modélisation pour le cas newtonien	27
-III-4)-Modélisation pour le cas pseudo-plastique	31
-III-5)-Modélisation pour le pseudo-plastique thermo-dépendant	34
-III-6)-échange de chaleur entre la matière plastique et le moule	37
-III-6-1)-hypothèses de calcul	37
-III-6-2)-résolution de l'équation de chaleur	38
-II-6-3)-Application au cas de l'échange thermique dans le moule plaque	45

Chapitre IV :Etude de cas

-IV-1)-Les Données	53
-IV-2)-Edition des résultats	53
-IV-3)-Le model	53
-IV-4)-Les étapes de travail	54
-IV-4-1)-GAMBIT	54
-IV-5)-Données numeriques	59
-IV-6)-Les graphes	59
-IV-6-1)- Interprétation des graphes	61
Conclusion générale	63
Références bibliographique	64

Résumé

Notre travail est un calcul des paramètres mécaniques (pression, vitesse) et thermique pour un cycle de moulage par injection de polymère (remplissage) d'un moule de la forme plaque, ce calcul est fait par un code de calcul fluide et le résultat déjà obtenu par une étude de modélisation pour cette phase de remplissage.

Introduction générale

Le moulage par injection est un procédé technique largement utilisé dans la mise en forme des matières plastiques notamment dans le domaine de l'industrie automobile, électroménager, emballage.

-La modélisation du cycle de moulage de ce procédé permet de gagner du temps pendant l'étude des pièces et diminue le coût de fabrication du produit fini.

Le cycle de moulage est souvent décomposé en trois phases

- phase de remplissage
- phase de compactage
- phase de refroidissement

La phase de remplissage conditionne en grande partie les propriétés finales de la pièce et représente la phase dynamique de transfert de matière dans le moule en un temps court.

L'écoulement du polymère est supposé incompressible visqueux à travers une géométrie tridimensionnelle quelconque. Pendant cette phase de remplissage de l'empreinte, la matière chaude se refroidit rapidement au contact d'un moule froid.

Dans cette étude on s'intéresse aux paramètres de la phase de remplissage d'un moule de forme plaque que a été déjà faite durant l'année 2001 par monsieur DJELLAB Mounir.

Dans notre cas, on a choisi un logiciel (code de calcul) fluide pour calculer les conditions d'injection et les paramètres mécaniques (vitesse, pression...) et les paramètres thermiques de la matière.

Ce calcul se fera à la aide d'un model qu on a choisi la bosse de la défrisions de la viscosité de la matière.

Le but de notre travail :

1-découvrir le domaine du polymère et son procédé de fabrication (moulage compactage ...)

2-apprendre la méthode de modalisation d'un phénomène phasique par le suite de l'étude qui a été déjà faite

-utilisation des équation mécanique

-le choix d'un model

-les hypothèses qu' il faut poser

-le choix des méthodes de résolution

-métrise d'un code de calcul (fluent) pour calculer

A l'aide de l'étude précédente et suivant

Le plan de travail ci-dessous, on a fait notre travail :

Chapitre I generalite :

Ce chapitre représent en bref les structures des polymères et les procédés de moulage des matires plastique.

Chapitre II Comportement Rhéologique du Polymère :

Ce chapitre montre les différents modèles de viscosité.

Chapitre III Modélisation du remplissage :

Ce chapitre représente les principes de la mécanique des milieux continus utilisés pour étudier les phénomènes thermomécaniques au cours de la phase de remplissage du moulage par injection . Il traité on détail les équations qu' on a utilisé pour déterminer les paramètres mécaniques et themiques du moulage.

Chapitre IV Etude de cas :

Dans ce chapitre on a présenté un cas réel d'un moule de forme plaque et faire ce calcul mécanique et thermique par le logiciel fluent

Chapitre I : generalite

-I-1)-Matières plastiques

-I-1-1)-Historique

Les premiers plastiques industriels très résistants ont été produits à partir du lait. La Bakélite a connu un immense succès à partir des années 1920 ; ici sous forme de face avant d'un poste de radio. La caséine du lait a servi d'agent plastifiant en peinture dès le Moyen Âge et peut-être bien plus tôt.

-En 1931 : première fabrication industrielle du polychlorure de vinyle (PVC)

-En 1945, la production de caoutchouc synthétique (néo-butane) s'élevait à un million de tonnes. À partir de la Libération, l'élan scientifique et technologique insufflé à l'industrie par la guerre se poursuit et de nouvelles matières furent synthétisées telles les nouveaux polyamides, le polycarbonate et les polyacétals.

1950 : synthèse des premiers copolymères du polystyrène, marquant une nette amélioration des qualités du PS homopolymère (tenue au choc en particulier, température limite d'utilisation, tenue aux solvants organiques)

-En 2000 : pour le développement des polymères conducteurs intrinsèques, les chercheurs Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid et Hideki Shirakawa sont récompensés par le Prix Nobel de Chimie. Depuis une trentaine d'années, les voitures, les trains et les articles électroménagers (machines à laver...) n'ont cessé de s'alléger en métal et de gagner en performance grâce à l'apport des matériaux plastiques.

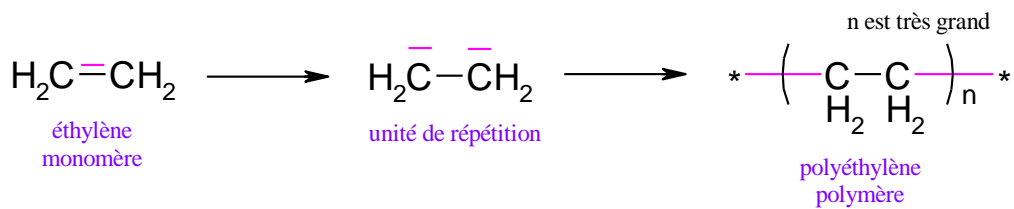
Les plastiques armés (matériaux composites) [typiquement les résines polyesters et polyépoxydes renforcées fibres de verre (verre : $d \sim 2,5$)], plus légers pour égale résistance que l'acier ou l'aluminium, et insensibles à la corrosion, sont des matériaux non traditionnels. Certains types sont de plus en plus utilisés dans le secteur aéronautique. De nouveaux plastiques toujours plus respectueux de l'environnement (recyclage et biodégradabilité améliorés), moins dépendants du pétrole (réduction de coût), thermostables, plus transparents, incassables, ininflammables ou originaux sont en voie de développement.

-I-1-2)- Polymère

-I-1-2-1)-Définition du polymère

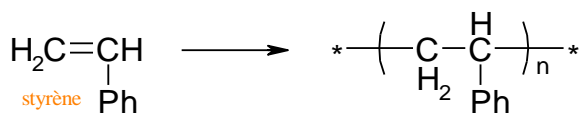
Un polymère est une macromolécule formée de l'enchaînement covalent d'un très grand nombre d'unités de répétition qui dérivent d'un ou de plusieurs monomères (qui sont également appelés motifs) et préparée à partir de molécules appelées monomère.

Exemple :

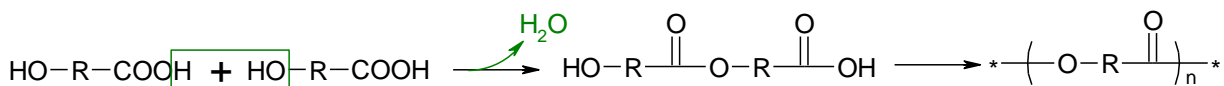


-CH₂-CH₂- est l'unité du polymère.

Tout monomère comporte au minimum deux sites réactifs. La polymérisation sur la double liaison du monomère correspond à l'ouverture de la double liaison.



Il n'y a pas que des doubles liaisons qui forment des polymères :



-I-1-2-2)- Différents types de polymères.

Il existe deux types de polymères :

- Les homopolymères
- Les copolymères

a) Les homopolymères.

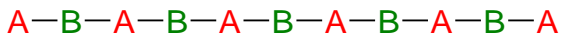
Les homopolymères sont des polymères qui ne possèdent qu'une seule unité. Parmi les homopolymères, on peut citer le polyéthylène.

Il existe, au sein des homopolymères, différentes familles. Pour la suite du paragraphe, A sera l'unité de l'homopolymère.

Parmi les différents types d'homopolymères, nous trouvons :

- les homopolymères linéaires.

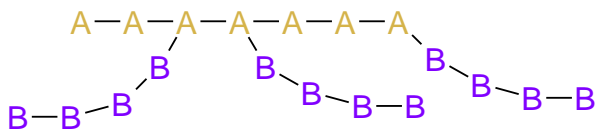
- le mode alterné.



- le mode séquencé.



- le mode greffé.



Les polymères, qu'ils soient homo ou copolymères, peuvent être réticulés.

Un polymère réticulé est un polymère dont certaines de ses chaînes sont reliées entre elles par des ponts chimiques covalents.

La plupart des polymères doivent être réticulés avant leur utilisation. En effet, un polymère est un liquide et pour le maintenir en place, il faut le réticuler.

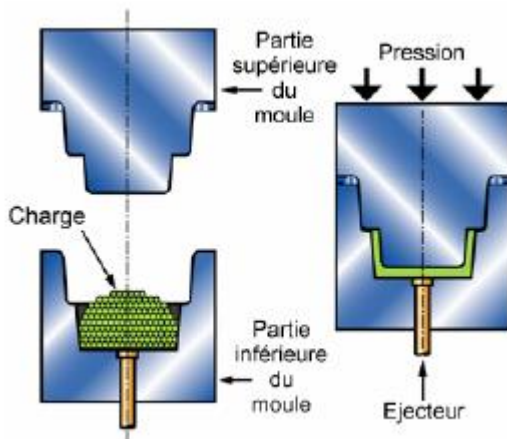
-I-2)-Fabrication plastique

-I-2-1)-Méthodes de transformation des plastiques

Le recours à des méthodes de traitement différentes pour la fabrication des produits du plastique s'explique par la diversité des sortes de plastiques et des applications de ces derniers sur le marché. Chaque méthode est conçue en vue de l'obtention d'un produit final particulier. Les résines peuvent cependant être utilisées dans plus d'un processus de fabrication. Dans chaque cas, les travailleurs doivent être hautement qualifiés dans leur domaine de spécialisation afin de concevoir, d'utiliser ou d'entretenir les outils et les machines en toute sécurité et de manière efficace.

-I-2-1-1)-Moulage par compression

En moulage par compression on place dans un moule chauffé une quantité pré-pesée de polymère – généralement un thermodurcissable – sous forme de granulés ou de tablette préformée contenant la résine et le durcisseur. On ferme moule ce qui donne une pression suffisante pour forcer le polymère dans la cavité du moule. On laisse le polymère réticuler, on ouvre ensuite le moule et on en retire la pièce. Le moulage par compression est limité à des formes simples sans contre-dépouilles.



Notes techniques

Les pièces nécessitent généralement une certaine finition pour enlever les bavures. Les moules sont faits en aluminium, fonte ou acier coulé. Ils sont chauffés à la vapeur ou électriquement jusqu'à la température de réticulation ou de moulage (typiquement 140- 160°C). Les temps de cycle typiques sont de 2-4 minutes.

Utilisations typiques

Pièces pour appareils électriques ou électroniques, pièce de table, agitateurs pour machine à laver, poignées d'ustensiles, couvercles de récipients, capots d'appareils électroménagers; SMC : panneaux de carrosserie et pare-chocs pour des voitures ou des camions, boîtiers de compteur de gaz ou d'électricité et boîtiers de fusibles. BMC : formes plus compliquées.

Les données économiques

Les coûts d'outillage sont élevés, ils dépendent essentiellement de la taille et de la complexité des moules. . Le moulage par compression est très fréquemment utilisés pour de grandes pièces pour lesquels il est moins cher que le moulage par injection ou le moulage par transfert de résine; La taille maximale possible est déterminée uniquement par la capacité de la presse.

. Les coûts d'outillage sont relativement élevés, ce qui tend à les limiter aux grandes séries

L'environnement

Le procédé lui même ne cause pas de dommages à l'environnement mais on ne peut pas recycler les bavures et les déchets dans le cas des thermodurcissables.

-I-2-1-2)-Moulage par injection

L'équipement le plus courant pour le moulage des thermoplastiques est la presse avec vis réciproquante, représentée schématiquement dans l'illustration. Les granulés de polymère sont amenés dans une presse en spirale où ils se mélangent et se ramollissent pour atteindre une consistance pâteuse qui peut être forcée de pénétrer par un ou plusieurs canaux (carottes) dans le moule. Le polymère se solidifie en maintenant une pression (pression de maintien) et les pièces sont alors éjectées. Les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères peuvent chacun être moulés par injection. La co-injection permet le moulage de pièces avec des matériaux, des couleurs ou des caractéristiques différents. Le moulage par injection d'allégés permet la production économique de grandes pièces moulées en utilisant un gaz inerte ou un agent de gonflage chimique pour faire des pièces qui ont une peau compacte et une structure interne cellulaire.

Recommandations pour la conception

Le moulage par injection est le meilleur moyen de produire en masse des petits articles en polymère, précis et avec des formes complexes. Le fini de surface est bon; on peut facilement changer la texture et le décor en modifiant le moule et des détails fins sont bien reproduits. On peut surmouler sur des étiquettes décoratives qui apparaissent à la surface des pièces (voir décoration dans le moule). La seule opération de finition est le décarottage.

Utilisations typiques

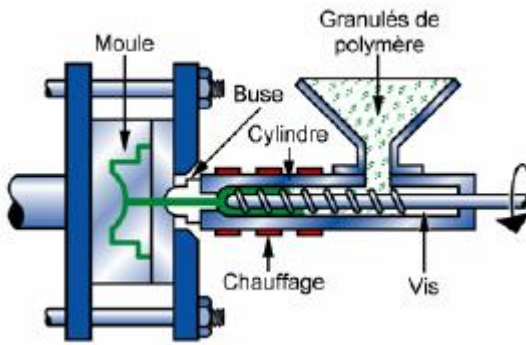
Extrêmement varié. Des capots, des récipients, des couvercles, des boutons, des poignées d'outils, des pièces de plomberie, des lentilles etc.

Les données économiques

Le coût en capital est moyen à élevé, les coûts d'outillage sont d'habitude élevés – ce qui rend le moulage par injection économique uniquement pour les grandes séries. La vitesse de production peut être élevée particulièrement pour de petites pièces.

L'environnement

Un système d'extraction d'air peut être nécessaire pour les fumées volatiles. Des expositions significatives aux poussières peuvent se produire dans la formulation des résines.



-I-3)-Moulage par injection

-I-3-1)-moulage des thermoplastique

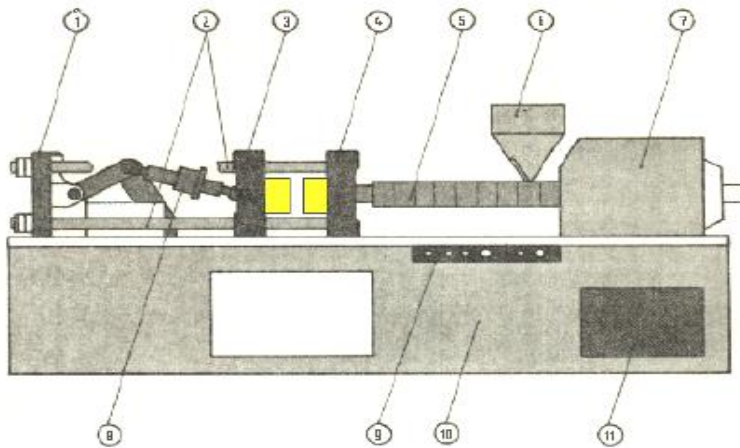
Le moulage par injection, c'est la technique la plus utilisée, après le moulage par extrusion limite quant à lui à des géométries de type profilé par un procédé de plastification continue. le principe de l'injection est d' introduire en discontinu,et sous pression,une quantité précise de matière fondue dans un moule ou elle refroidit pour donner une pièce.

-I-3-2)-la presse d'injection

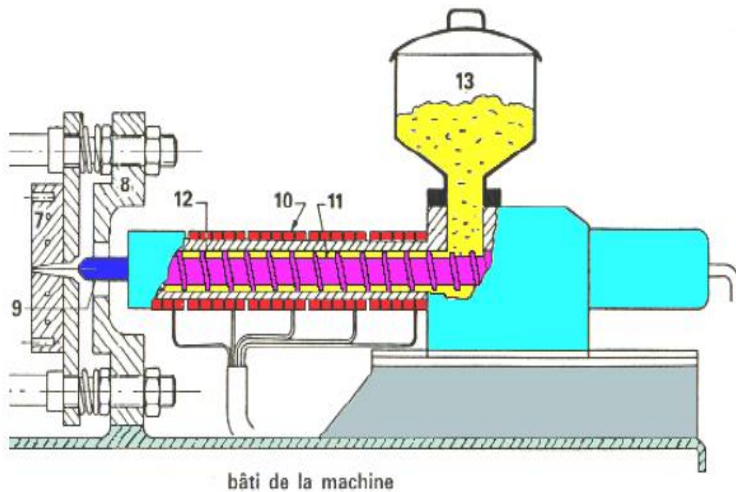
La presse est caractérisée en particulier par les paramètres suivants:

_la force de fermeture en KN, que est supérieure au produit de la pression d'injection par la surface de la pièce moulée.

_la volume d'injection (ou capacité théorique d' injection) que permet de définir le volume maximal de matière injection ,c'est-à-dire le volume de matière nécessaire pour remplir chaque empreinte et les canaux d'alimentation.



1. Plateau arrière fixe
2. Colomes de guidage
3. Plateau mobile de fermeture
4. Plateau fixe d'injection
5. Cylindre chauffant d'injection
6. Trémie
7. Groupe d'injection
8. Organe de fermeture (genouillère ou vérin)
9. Tableau de commande
10. Bâti
11. Groupe hydraulique



7. Partie fixe du moule
8. Plateau fixe
9. Buse d'injection
10. Colliers chauffant du pot d'injection
11. Pot d'injection
12. Vis d'injection
13. Trémie
14. Système d'entraînement de la vis

-I-3-3)-L'injection

Un mouvement axial de la vis pousse la matière en trois temps dans le moule régulé en température en passant par la buse et le système d'alimentation de l'empreinte de l'outillage de moulage.

-I-3-4)-le refroidissement et le démoulage

Après refroidissement, le moule est ouvert et la pièce est démoulée, pendant que la vis plastifie un nouveau volume de matière pour l'injection suivante.

-I-3-5)-les phases de moulage par injection

-I-3-5-1)-la phase de remplissage

La phase de remplissage de l'empreinte est la phase dynamique de matière dans le transfert de moule en un temps court. L'écoulement de polymère est supposé incompressible visqueux à travers une géométrie tridimensionnelle quelconque. Pendant cette phase de remplissage de l'empreinte, la matière chaude va rapidement se trouver au contact d'un moule froid. Ceci engendre plusieurs phénomènes complexes dont il faut tenir compte (variation de la température, de la pression et de la densité, cristallisation et apparition des contraintes résiduelles).

-I-3-5-2)-la phase de compactage

L'empreinte étant remplie, la matière est alors compactée à pression constante, ce qui a pour effet de compenser le retrait volumique qui commence à se manifester dans le moule.

-I-3-5-3)-la phase de refroidissement

Le seuil d'injection étant figé, la pression de maintien n'est plus transmise, ainsi le retrait n'est plus compensé. La matière se rétracte dans le moule et la pièce se déforme l'éjection

Chapitre II : Comportement Rhéologique du Polymère

-II-1)-GENERALITES :

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.

Les procédés de préparation de produits (solutions, pâtes,.....etc) ou de la mise en forme des pièces (en métallurgie, en **plasturgie**,etc) nécessitent immanquablement l'étude de l'écoulement de la matière, il est donc nécessaire de connaître le comportement de la matière pour déterminer les forces mises en jeu.

D'une manière générale, la rhéologie suppose que

- Le matériau est continu (pas de vide dans le matériau).
- Chaque point du corps se déplace de façon continue.
- Deux points du corps infiniment voisins avant la déformation le sont encore après la déformation.
- Les propriétés physiques du corps varient d'une façon continue d'un point à un autre.

On peut classer la rhéologie en trois type :

- La rhéologie expérimentale : elle détermine expérimentalement la relation de comportement entre les contraintes et la vitesse de déformation.
- La rhéologie structurale : elle explique le comportement du matériau à partir de sa structure.
- La rhéologie théorique : elle fournit des modèles mathématiques en nombre limité des comportements indépendamment de la structure microscopique.

Les corps gazeux, liquides ou solides se divisent en deux classes :

- **les fluides newtoniens** : ce sont tous les gaz et un grand nombre de liquides; leur équation rhéologique est simple ces corps ne possèdent qu'une caractéristique rhéologique : la viscosité

- **les corps à équation rhéologique compliquée** : ce sont des liquides non newtoniens et les solides.

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 qui est d'environ 10^6 à 10^8 fois celle de l'eau, est fonction de certains paramètres qui sont:

- Le poids moléculaire du polymère;
- La température;
- La pression;
- Le taux de cisaillement ;

La viscosité est une mesure de la friction interne d'un liquide. Pour la déterminer, on applique une force mesurable sur le liquide et l'on mesure en même temps la vitesse de déformation, ou vice versa.

Étudions le comportement d'un polymère fluide simple (un fluide newtonien dont la viscosité ne dépend pas de la vitesse de cisaillement) soumis à une contrainte.

Prenons le cas d'un tel liquide contenu entre deux plateaux selon la figure ci dessous. Le plateau inférieur est fixe. Le déplacement du plateau supérieur entraîne une partie du fluide dans son mouvement.

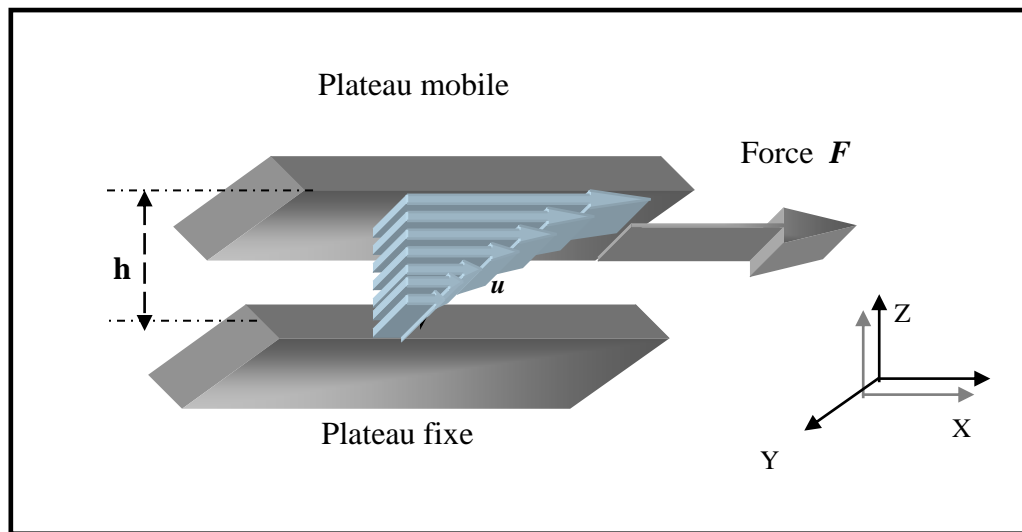


Fig. II.1 Cisaillement simple

Le fluide est contenu entre les deux plateaux. La translation du plateau supérieur à la vitesse u_1 nécessite l'application d'une force F_1 .

Si on augmente (en multipliant par 2) la vitesse du plateau supérieur ($u=u_2$), il est nécessaire d'appliquer une force F_2 qui vaudra le double de la force F_1 .

On constate que la force F nécessaire pour animer le plateau supérieur d'un mouvement de translation n'est pas proportionnelle au déplacement U mais à la vitesse u du plateau supérieur.

Pour le fluide, ce qui distingue les deux cas précédents c'est la vitesse de déformation. Contrairement au cas des solides, la force n'est pas liée à la déformation mais à la vitesse de déformation du matériau. Pour décrire le comportement mécanique du polymère à l'état liquide il est nécessaire d'introduire la notion de vitesse de déformation.

-II-1-1)- Propriétés rhéologiques des polymères :

Certains liquides n'obéissent pas à la loi de Newton. Il est connu expérimentalement que les polymères fondus ne sont pas newtoniens. Leur viscosité apparente est fonction décroissante du taux de cisaillement $\dot{\gamma}$; cette propriété est appelée la pseudo-plasticité.

L'écoulement du polymère dans un moule; est généralement en fonction de la section de passage de ce dernier et le refroidissement au contact du parois de moule froid.

La basse température du moule par rapport au polymère, augmente la viscosité de ce dernier, la matière aura du mal à se couler , on dit alors que le polymère est visqueux.

La vitesse d'écoulement d'un polymère fondu entre deux bords varie (entre le cœur et la paroi), cette variation est due au caractère visqueux des polymères.

La modélisation de l'écoulement du polymère nécessite de trouver des fonctions qui donnent la viscosité en fonction du taux de cisaillement et la température, ces deux derniers sont les paramètres les plus influents.

La figure(II.2) donne des courbes typiques de la variation de la viscosité en fonction du taux de cisaillement et de la température.

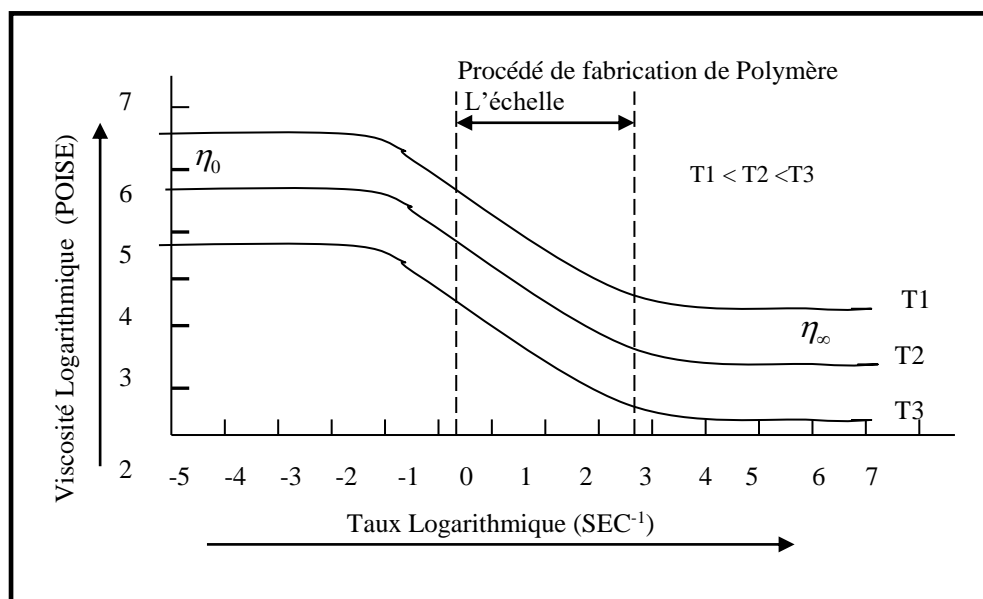


Fig.II.2. Evolution Typique de la viscosité

-II-2)- LES DIFFERENTS MODELES DE VISCOSITE :

Considérons un liquide visqueux cisailé entre deux plaques parallèles de surface S , distantes d'une épaisseur h ; l'une des plaques est animée par rapport à l'autre de la vitesse u . Cet écoulement est comparable à l'écoulement d'un fluide entre deux parois fixes (Figure II.1).

On distingue Trois types de modèle de viscosité :

- *Modèle Newtonien .*
- *Modèle Pseudo-plastique .*
- *Modèle Pseudo-plastique thermo-dépendant.*

-II-2-1)-Modèle Newtonien :

La viscosité a été définie par Newton comme le coefficient de proportionnalité entre la contrainte de cisaillement et la vitesse de cisaillement.

Reprenons le cas d'un fluide newtonien contenu entre deux plateaux selon la figure (II.1). le plateau inférieur est fixe. La force F nécessaire pour animer le plateau supérieur d'une vitesse u est proportionnelle à cette vitesse. $F=Ku$

$$\text{Les composantes du vecteur vitesse sont les suivantes : } \vec{u} \left| \begin{array}{l} u = \dot{\gamma} \cdot y \\ v = 0 \\ w = 0 \end{array} \right.$$

Cette force rapportée à la surface sur laquelle elle s'exerce est la contrainte de cisaillement $\tau = \frac{F}{S}$ proportionnelle à la vitesse de cisaillement : $\dot{\gamma} = \frac{u}{h}$

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$$

Le coefficient de proportionnalité entre τ et $\dot{\gamma}$ s'appelle la viscosité dynamique η .

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (\text{Loi de Newton})$$

Si, pour une substance newtonienne quelconque, on trace le graphe représentant la contrainte de cisaillement en fonction du gradient de vitesse, on obtient une droite qui passe par l'origine. Ce graphique est un rhéogramme (figure II.3.a).

La viscosité représentée en fonction du gradient de vitesse donne une droite parallèle à l'axe des abscisses (figure II.1.b) .

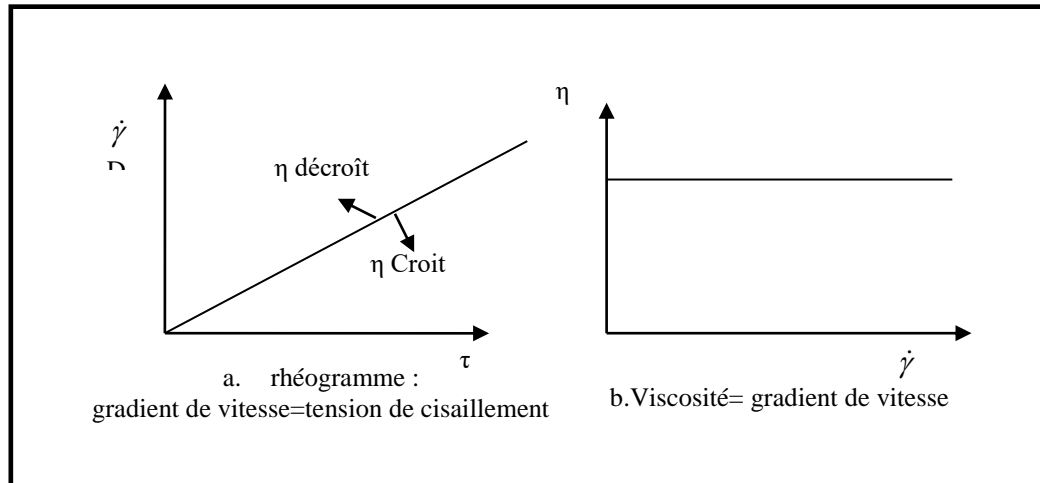


Fig.II.3. Viscosité d'un liquide newtonien

-II-2-2)- Modèle Pseudo-plastique:

La plupart des polymères n'ont pas un comportement newtonien. Cela signifie que leur viscosité n'est pas indépendante de la vitesse de cisaillement mais décroît en fonction de la vitesse de cisaillement.

La pseudo-plastique est la propriété d'un matériau qui exprime le fait que la viscosité soit une fonction décroissante du taux de cisaillement.

Les modèle rhéologiques proposes sont :

-II-2-2-1)-Loi de puissance :

Le premier modèle de comportement pour un fluide non gazéifié à été développé par Ostwald et de Waele.

Le modèle est basé sur l'observation d'une plage linéaire de la viscosité en fonction du taux de cisaillement sur un graphique log-log (Fig.II.4).

$$\eta(\dot{\gamma}) = K \left[\frac{\dot{\gamma}}{2} \right]^{(n-1)/2}$$

En cisaillement pur ($\dot{\gamma} = 2 \dot{\gamma}$) Ce qui conduit au modèle suivant :

$$\eta(\dot{\gamma}) = K \dot{\gamma}^{n-1}$$

K : est la consistance du liquide [$\text{N} \cdot \text{sec}^2 / \text{m}^2$]

n : indice de pseudo-plasticité.

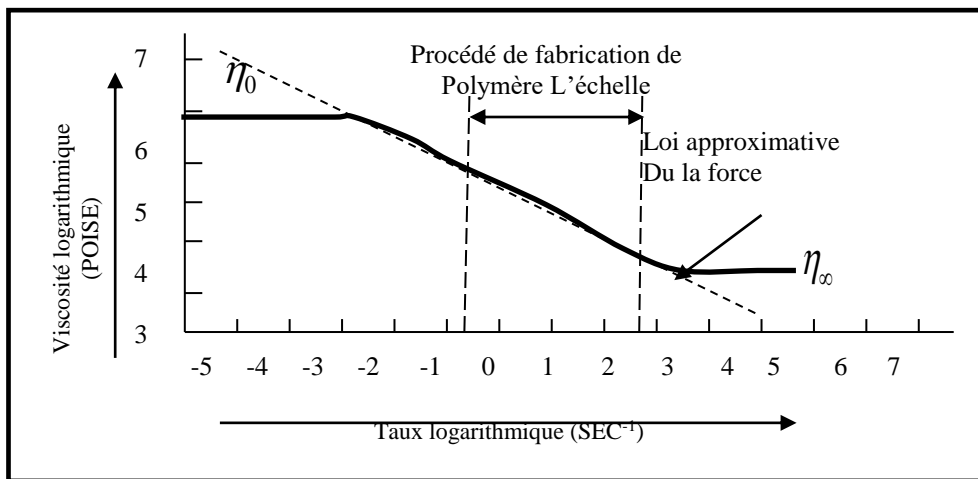


Fig.II.4.Loi de puissance

La relation entre η et $\dot{\gamma}$ est en général représenté en échelles logarithmiques, la loi de puissance se traduisant alors par une droite de pente n-1 (Fig.II.5).

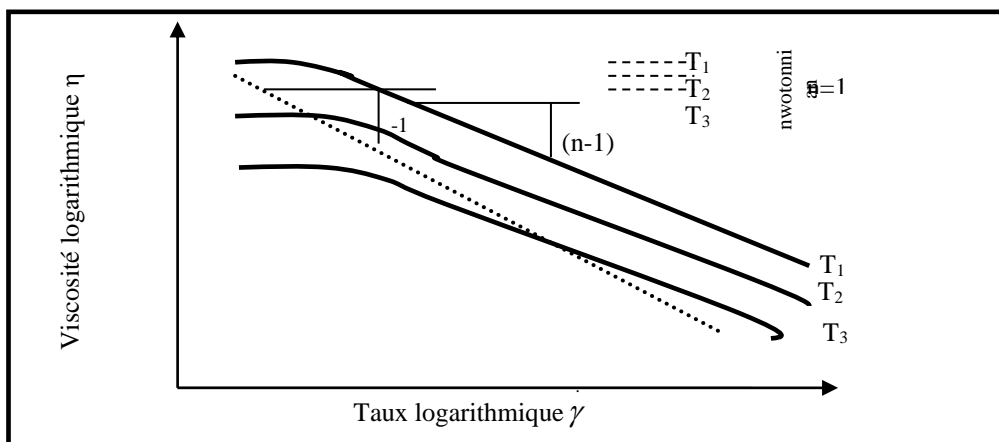


Fig.II.5.Loi de Puissance pour différentes températures

-II-2-2-2)-Modèle de Carreau :

Le modèle de la loi de puissance s'applique sur une plage limitée de la courbe de viscosité. En réalité à des faibles taux de cisaillement les polymères ont un comportement newtonien, c-a-d que la viscosité est indépendante du taux de cisaillement. Carreau a développé un modèle qui représente complètement la courbe de viscosité et qui prend en charge ce plateau, son modèle s'écrit :

$$\eta = \eta_0 \left[1 + (\lambda \dot{\gamma})^2 \right]^{\frac{n-1}{2}}$$

η_0 : viscosité à cisaillement nul.

λ : constante de temps.

n : indice de la loi de puissance.

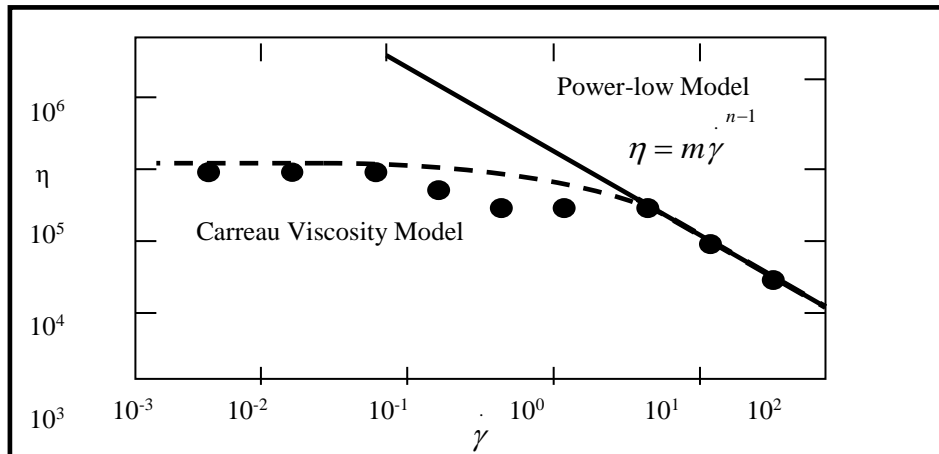


Fig.II.6.Modèle de Carreau

-II-2-2-3)-Modèle de Ellis :

Le modèle d'Ellis exprime la viscosité en fonction du taux de cisaillement. Son équation de comportement est plus difficile à utiliser que celle de la loi de puissance, mais elle y est supérieure, car elle prédit un plateau Newtonien à faible cisaillement.

$$\frac{\eta_0}{\eta(\tau)} = 1 + \left[\frac{\tau}{\tau_{1/2}} \right]^{(\alpha-1)}$$

η_0 :viscosité à cisaillement nul.

$\tau_{1/2}$: taux de cisaillement à $\eta_0/2$.

$\alpha-1$: pente de $\log[\eta_0/2-1]$ versus $\log(\tau/\tau_{1/2})$

$$\tau = \eta(\tau) \cdot \dot{\gamma}$$

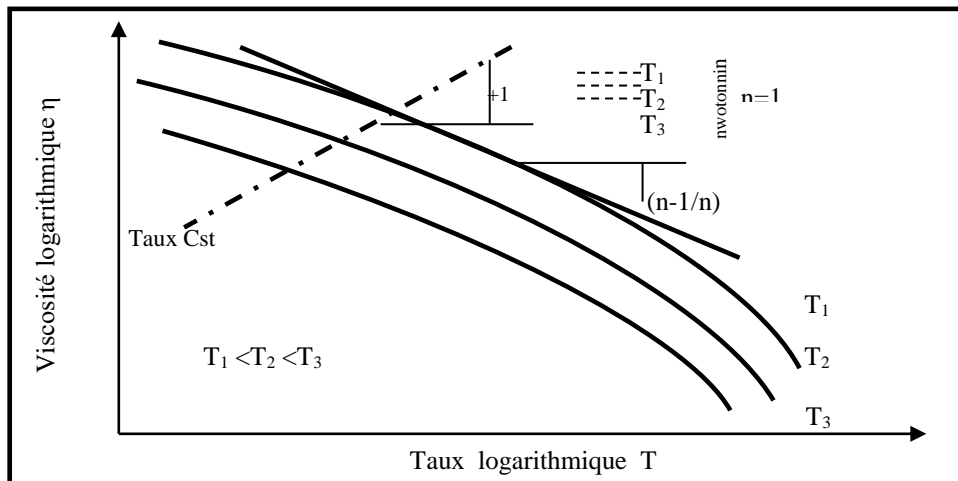


Fig.II.7.Modèle de Ellis

-II-2-2-4)-Modèle de Cross :

Le modèle de cross est une variante du modèle carreau, il s'écrit :

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{1}{1 + |\lambda \dot{\gamma}|^{1-n}}$$

Sous une autre forme :

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{1}{1 + \left(\eta_0 \cdot \dot{\gamma} / \tau^* \right)^{(1-n)}}$$

τ^* : taux de cisaillement marquant le début de la zone de pseudo-plasticité.

On trouve sur la figure suivante, trois courbes expérimentales de viscosité ainsi que trois courbes calculées à partir du modèle de cross pour une résine de PS.

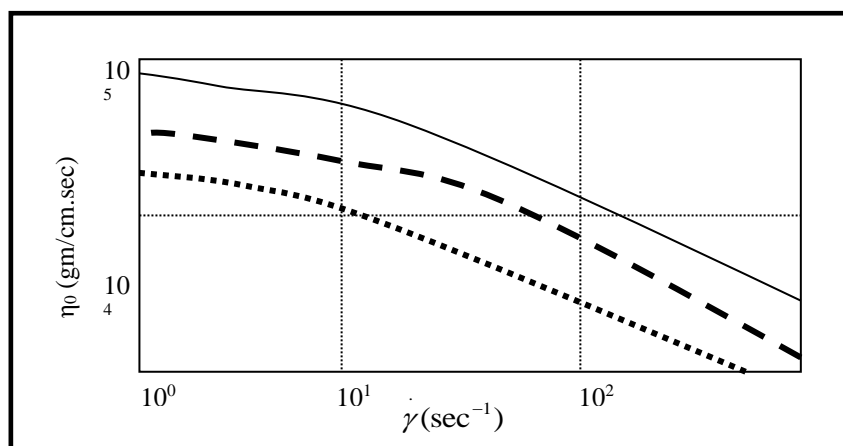


Fig.II.8.Modèle de Cross

II.2.3. Modèle Pseudo-plastique thermo-dépendant:

Le modèle pseudo-plastique thermo-dépendant tient compte de la variation de la viscosité en fonction du taux de cisaillement et de la température.

Une augmentation de température résulte en une diminution de la viscosité du à l'augmentation de mobilité des chaînes de polymères. En règle générale la viscosité des polymères amorphes est plus sensibles aux variations de la température que la viscosité des polymères semi-cristallins.

Afin d'étudier l'effet de la température sur la viscosité, il est intéressant de présenter le graphique de la viscosité en fonction de la contrainte de cisaillement pour différentes valeurs de la température (Fig.II.2, Fig.II.5, Fig.II.7).

Il est donc possible de faire glisser toutes les courbes de viscosité le long d'une ligne à un taux de cisaillement constant pour obtenir une courbe unique (à une température de référence). On peut utiliser le facteur de glissement a_T , est une fonction de la température, il représente l'écart entre une courbe de viscosité à la température T et la courbe de viscosité à la température de référence.

Le facteur de glissement a_T est une fonction de la température et il peut être calculé à partir d'une Loi d'Arrhenius pour les polymères semi-cristallins ou de l'équation WLF (Williams-Landel-Ferry) pour les polymères amorphes à une température entre T_g et T_g+100^0c .

$$a_T = \frac{\eta_0(T)}{\eta_0(T_{ref})}$$

$$a_T = \exp \left[\frac{E}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right]$$

a_T : facteur de glissement.

E (J/mol) : énergie d'activation.

R= 8.31(J. mol⁻¹. K⁻¹) : constante molaire des gaz parfaits.

T : température.

T_{réf} : température de référence.

II-2-3-1)-Equation d'Arrhenius :

$$\eta = \eta_{T_{ref}} \cdot \exp \left[\frac{E}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right]$$

-II-2-3-2)-Equation de Williams-Landel-Ferry (WLF) :

$$a_T = \frac{\eta_0(T)}{\eta_0(T_{ref})} = \exp \left[\frac{-c_1(T - T_0)}{c_2(T - T_0)} \right]$$

On peut utiliser deux séries de coefficient (c_1 et c_2) en fonction de la température de référence utilisée :

$$T_0 = T_g \qquad c_1 = 17.44 \qquad c_2 = 51.6$$

Ou

$$T_0 = T_g + 43 \qquad c_1 = 8.86 \qquad c_2 = 101.6$$

-II-2-3-3)-Loi de Carreau-Yasuda :

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

Pour obtenir la viscosité à d'autres températures, nous utilisons le principe de superposition temps-température.

$$\eta(\dot{\gamma}, T) = a_T \eta_{T_{ref}}(\dot{\gamma} a_T)$$

T: la température de la matière

-II-2-3-4)-Loi d'Andrade :

$$\eta = \eta_0 e^{\frac{E}{RT}}$$

T : température

E : énergie d'activation.

R : constante des gaz parfaits.

η_0 : constante.

-II-2-3-5)-Loi de puissance :

Pour exprimer cette propriété on considère que le consistence k du polymère dépend de la température suivant la fonction suivante:

$$k = A \exp(CT)$$

La viscosité est donnée par :

$$\eta(\dot{\gamma}, T) = A \exp(CT) |\dot{\gamma}|^B \quad (\text{II.2})$$

A, B et C sont des constantes du matériau.

T : la température de la matière.

Une autre forme en tangente hyperbolique :

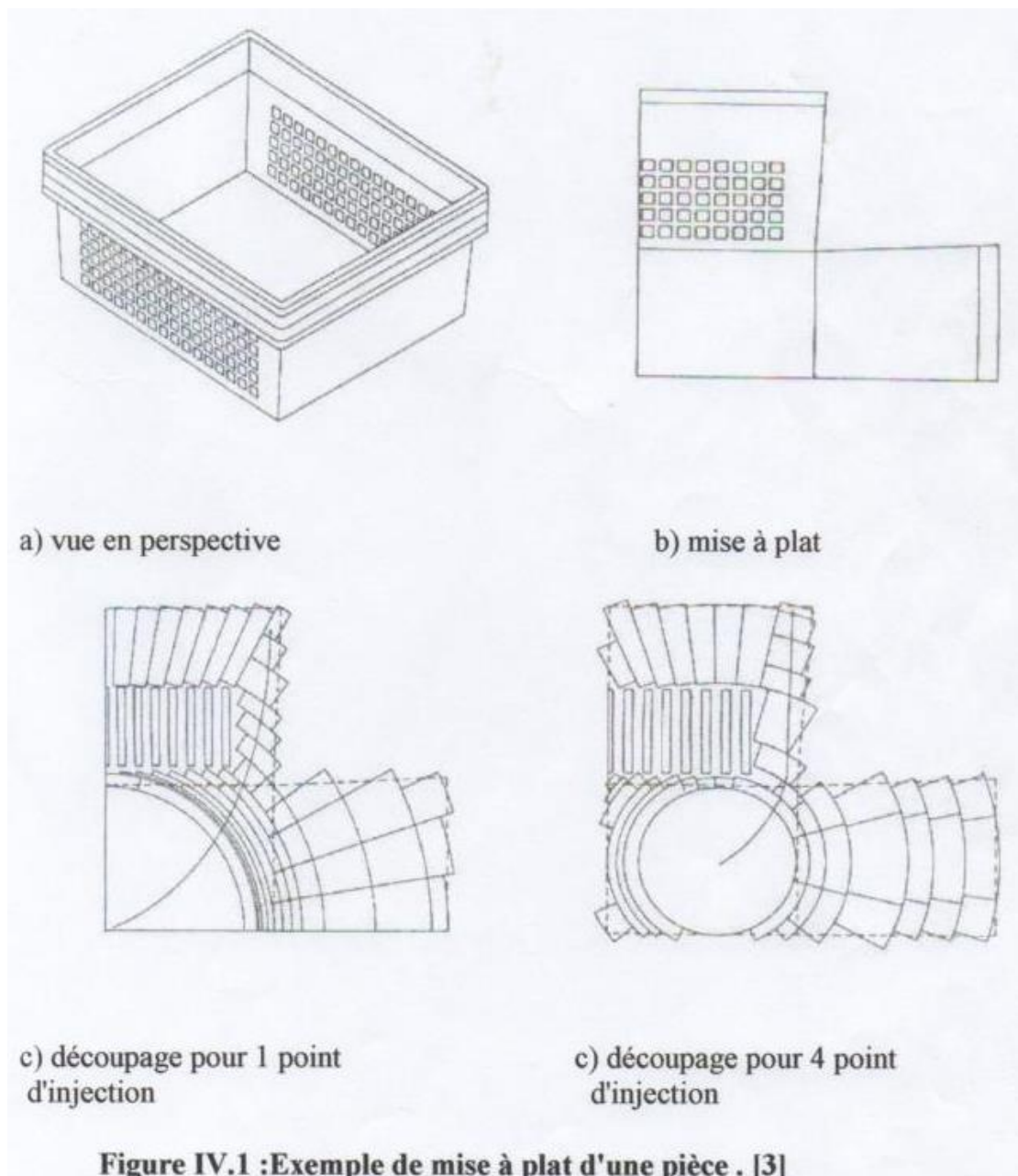
$$\eta = \eta_0(T) \exp \left[\alpha(T) th \left[\beta(T) Ln \left(\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_0} \right) \right] \right]$$

$$Ln \eta = Ln \eta_0 + \alpha(T) th \left[\beta(T) Ln \left(\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\gamma}_0} \right) \right]$$

Chapitre III : Modélisation du remplissage

-III-1)-Modélisation géométrique par la méthode de mise à plat:

La mise à plat consiste à maitre à plat la pièce tridimensionnelle, et découpé la géométrie bidimensionnelle, ainsi obtenu en géométrie élémentaire (canal, secteur et plaque). Le découpage en géométrie élémentaire doit être tel qu'il sui au mieux la géométrie de la pièce, et en respectant le volume globale de la pièce. La figure IV.1 donne un exemple de mise à plat l'une pièce.



La phase de remplissage de la pièce est la phase dynamique de transfert de matière dans le moule.

La modélisation de cette phase doit donner l'état de la matière au cours et à la fin du remplissage en chaque point de la pièce.

Dans un première temps et pour compléter l'étude du géométrie élémentaire, on représente la modélisation de la phase de remplissage d'un canal.

Dans un dixième temps on représente la modélisation de la phase de remplissage d'une pièce former par plusieurs géométrie, élémentaires mises en série.

-III-2)-Equations fondamentales

La modèle simulant le remplissage s'appuie sur trois principes de la physique des milieux continus que sont :

*La conservation de la masse que se traduit par l'équation de continuité :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} [\rho \cdot \vec{V}] = 0$$

*La conservation de la quantité de mouvement que se traduit par l'équation de l'équilibre dynamique :

$$\text{div} [\sigma] + \rho (\vec{F} - \vec{g}) = 0$$

F : force d'inertie

G : force de masse

*La conservation de l'énergie que se traduit par l'équation de la chaleur :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \text{div} [K \cdot \text{Grad} (T)] + \dot{W}$$

K : La conductivité thermique du polymère.

W : La dissipation visqueuse.

La modélisation du remplissage consiste à résoudre numériquement les trois équations précédentes en tenant compte des hypothèses suivantes :

-le polymère est incompressible visqueux.

-les forces de masse et d'inertie sont négligeables devant les forces de viscosité.

-la conductivité thermique et la chaleur massique sont constantes.

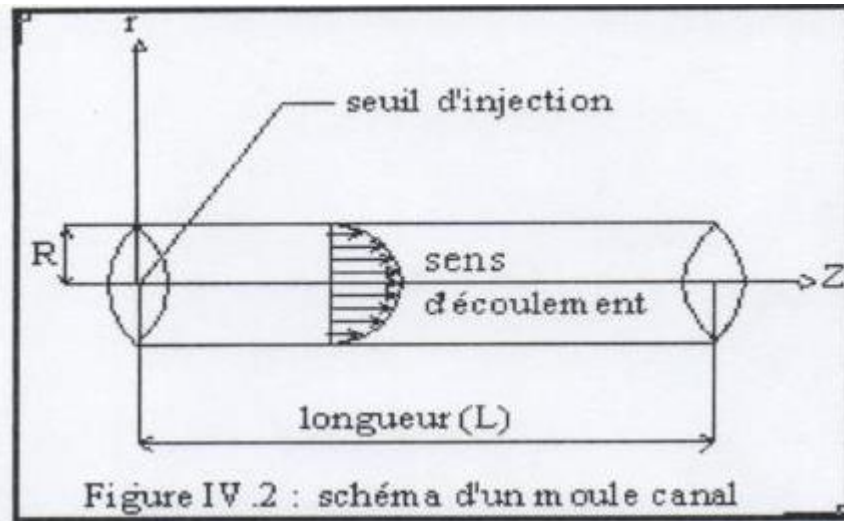
-le régime est laminaire.

-la pression au front de la matière est nulle.

-pendant tout l'écoulement le débit est constant.

-III-3)-Modélisation pour le cas newtonien :

Dans ce cas la viscosité est constante : $\eta = \text{constante}$



-III-3-1)-le champ de vitesse :

$$\vec{U} \begin{cases} u = 0 \\ v = 0 \\ w = w(r,z) \end{cases}$$

-III-3-2)-Tenseur de vitesse du déformation :

$$[\dot{\varepsilon}] = \frac{1}{2} [(\nabla \vec{U}) + (\vec{U} \nabla)]$$

$\nabla \vec{U}$ = le gradient de \vec{U}

$\vec{U} \nabla$ = le gradient transposé de \vec{U}

D'après l'équation de continuité $\frac{\partial w}{\partial z} = 0$

Le tenseur de vitesse du déformation est :

$$[\dot{\varepsilon}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{2} \frac{\partial w}{\partial r} \\ 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} \frac{\partial w}{\partial r} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

-III-3-3)-Le déviateur de contrainte :

$$[S] = 2\eta[\dot{\epsilon}]$$

$$[s] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \eta \frac{\partial w}{\partial r} \\ 0 & 0 & 0 \\ \eta \frac{\partial w}{\partial r} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

-III-3-4)-Tenseur de contrainte :

$$[\sigma] = -P[I] + [S]$$

P : la pression hydrostatique

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} -P & 0 & \eta \frac{\partial w}{\partial r} \\ 0 & -P & 0 \\ \eta \frac{\partial w}{\partial r} & 0 & -P \end{bmatrix}$$

-III-3-5)-Les équations d'équilibre :

$$\frac{\partial p}{\partial r} = 0$$

(III.1)

$$\frac{\partial p}{\partial \theta} = 0$$

(III.2)

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \eta \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{\eta}{r} \cdot \frac{\partial w}{\partial r}$$

(III.3)

D'après l'équation (IV.3) la pression dépend linéairement de z.

$$\frac{\partial p}{\partial Z} = -\frac{\Delta P}{L}$$

Donc (III.3) devient :

$$\frac{-\Delta P}{L} = \eta \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{\eta}{r} \cdot \frac{\partial w}{\partial r}$$

(III.4)

-III-3-6)-Le champs de vitesse :

D'après l'équation (IV.4) on trouve :

$$w(r) = \frac{-\Delta P}{4\eta L} [R^2 - r^2]$$

(III.5)

-III-3-7)-Le débit volumique :

$$Q = \int_0^R 2 \pi r w(r) dr$$

$$Q = -\frac{\pi}{8} \frac{\Delta P}{\eta L} R^4$$

(III.6)

-III-3-8)-La vitesse moyenne :

$$v = Q / (\pi R^2)$$

$$V = -\frac{1}{8} \frac{\Delta P}{\eta L} R^2$$

(III.7)

On substituant(III.7) dans (III.5)

$$W(r) = 2V \left[1 - \frac{r^2}{R^2} \right]$$

(III.8)

-III-3-9)-Le temps remplissage :

$$tr = \frac{\pi R^2 L}{Q}$$

(III.9)

-III-3-10)-Le temps de passage de front :

C'est le temps de passage de front par une section à une distance z du seuil d'injection.

$$t = \frac{\pi R^2 z}{Q}$$

(III.10)

-III-3-11)-La pression d'injection :

$$\Delta P = P_L - P_{inj}$$

$$P_L = 0$$

(La pression au front de la matière)

L : la longueur totale

D'après (IV.6) on trouve

$$\Delta P = \frac{-8 Q \eta L}{\pi R^4}$$

(III.11)

$$\Rightarrow P_{inj} = \frac{8 Q \eta L}{\pi R^4}$$

(III.12)

-III-3-12)-La pression dans le moule :

P(z) est la pression en un point de distance z de seuil d'injection :

$$\Delta P = P(z) - P_{inj}$$
$$\Rightarrow \Delta P = \frac{-8 Q \eta z}{\pi R^4}$$

(III.13)

$$P(z) = [L-z] \frac{8 Q \eta}{\pi R^4}$$

(III.14)

-III-4)-Modélisation pour le cas pseudo-plastique :

Pour le cas la pseudo-plastique on à $\eta(\dot{\gamma}) = k|\dot{\gamma}|^{m-1}$

K : Cosistance de liquide.

m: indice de pseudo-plasticité.

Les définitions des différents termes restent les memes que pour le cas newtonien

-III-4-1)-Le tenseur de contraintes :

$$[\sigma] = -P[I] + [S]$$

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} -P & 0 & k|\dot{\gamma}|^{m-1} \frac{dw}{dr} \\ 0 & -P & 0 \\ k|\dot{\gamma}|^{m-1} \frac{dw}{dr} & 0 & -P \end{bmatrix}$$

-III-4-2)-Les équation d'équilibre :

$$\frac{\partial P}{\partial r} = 0 \tag{III.15}$$

$$\frac{\partial P}{\partial \theta} = 0 \tag{III.16}$$

D'après l'équation (IV.17) la pression dépend linéairement de z et on tenant compte de

$$\dot{\gamma} = \frac{dw}{dr}$$

$$\frac{-\Delta P}{L} = k \frac{\partial}{\partial r} \left[\left(\frac{\partial w}{\partial r} \right) \left(\frac{\partial w}{\partial r} \right)^{m-1} \right] + \frac{k}{r} \left[\left(\frac{\partial w}{\partial r} \right) \left(\frac{\partial w}{\partial r} \right)^{m-1} \right] \tag{III.17}$$

-III-3-4)-Le champ de vitesse :

D'après l'équation (IV.18) on peut déterminer le champ de vitesse

$$w(r) = \frac{m}{m+1} \left[-\frac{1}{2k} \cdot \frac{\Delta P}{L} \right]^{\frac{1}{m}} \cdot R^{\frac{1}{m}+1} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{1+\frac{1}{m}} \right] \quad (\text{III.19})$$

-III-4-4)-Ledébit volumique :

$$Q = \int_0^R 2 \pi r w(r) dr$$

Après l'intégration on trouve :

$$Q = \pi \cdot \frac{m}{3m+1} \left[-\frac{1}{2k} \cdot \frac{\Delta P}{L} \right]^{\frac{1}{m}} R^{\frac{3m+1}{m}} \quad (\text{III.20})$$

-III-4-5)-La vitesse moyenne :

$$V = Q / \pi R^2$$
$$V = \frac{m}{3m+1} \left[\frac{-\Delta P}{2kL} \right]^{\frac{1}{m}} R^{\frac{1}{m}+1} \quad (\text{III.21})$$

Alors le champ de vitesse s'écrit :

$$w(r) = \frac{3m+1}{m+1} V \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{\frac{m+1}{m}} \right] \quad (\text{III.22})$$

-III-4-6)-Le temps de remplissage :

$$tr = \pi R^2 L / Q \quad (\text{III.23})$$

-III-4-7)-Le temps de passage du front :

$$t = \pi R^2 z / Q \quad (\text{III.24})$$

-III-4-8)-Le taux de cisaillement :

$$\dot{\gamma} = \left| \frac{dw}{dr} \right| = \left[-\frac{\Delta P}{2kL} \right]^{\frac{1}{m}} r^{\frac{1}{m}} \quad (\text{III.25})$$

-III-4-9)-La pression d'injection :

$$\Delta P = P_L - P_{inj}$$

$$P_L = 0 \quad (\text{La pression au front de la matière})$$

L : la longueur totale

D'après l'équation (IV.20)

$$\Delta P = (-2kL) \left[\frac{Q}{\pi} \frac{3m+1}{m} \frac{1}{R \frac{3m+1}{m}} \right]^m \quad (\text{III.26})$$

$$\Rightarrow P_{inj} = (2kL) \left[\frac{Q}{\pi} \frac{3m+1}{m} \frac{1}{R \frac{3m+1}{m}} \right]^m \quad (\text{III.27})$$

-III-4-10)-La pression dans le moule :

P(z) est la pression en un point de distance z de seuil d'injection :

$$\Rightarrow \Delta P = P(z) - P_{inj}$$

$$\Rightarrow \Delta P = (-2kz) \left[\frac{Q}{\pi} \frac{3m+1}{m} \frac{1}{R \frac{3m+1}{m}} \right]^m \quad (\text{III.28})$$

$$\Rightarrow P(z) = 2k(L-z) \left[\frac{Q}{\pi} \frac{3m+1}{m} \frac{1}{R \frac{3m+1}{m}} \right]^m \quad (\text{III.30})$$

-III-5)-Modélisation pour le pseudo-plastique thermo-dépendant :

Pour ce cas la viscosité varie en fonction de la température ainsi que du taux de cisaillement :

On considère l'équation de la viscosité suivant :

$$\eta(\dot{\gamma}) = k(T)|\dot{\gamma}|^{m-1}$$

On prend $k = A \exp(CT)$

Donc :

$$\eta(\dot{\gamma}) = A \exp(CT) |\dot{\gamma}|^{m-1}$$

A et C sont des constantes propres aux matériaux.

K = Consistance de liquide

-III-5-1)-Le champ de vitesse :

D'après l'équation d'équilibre on trouve :

$$r \frac{dP}{dz} = \frac{\partial}{\partial r} \left(\eta r \frac{\partial w}{\partial r} \right)$$

$$\Rightarrow r \frac{dP}{dz} \partial r = \partial \left(\eta r \frac{\partial w}{\partial r} \right) \quad (\text{III.30})$$

Après l'intégration de (IV.30) on trouve :

$$\frac{dP}{dz} \frac{1}{2} r^2 = \eta r \frac{\partial w}{\partial r} \quad (\text{III.31})$$

On a :

$$\eta = k \left(\frac{\partial w}{\partial r} \right)^{m-1}$$

Après l'intégration de (IV.31) on trouve :

$$w(r, z) = - \left(\frac{dP}{dz} \right)^{\frac{1}{m}} \int_r^R \left(\frac{r}{2k} \right)^{\frac{1}{m}} dr$$

(III.32)

-III-5-2)-Le débit volumique :

$$Q = \int_0^R w(r, z) 2 \pi r dr .$$

(III.33)

$$Q = \int_0^R \left[- \left(\frac{dP}{dz} \right)^{\frac{1}{m}} \int_r^R \left(\frac{r}{2k} \right)^{\frac{1}{m}} dr \right] 2 \pi r dr$$

(III.34)

On utilise la formule mathématique d'intégration suivant :

$$\int_0^R \left[\int_r^R f(r) dr \right] r dr = \frac{1}{2} \int_0^R r^2 f(r) dr$$

On trouve :

$$Q = 2 \pi \int_0^R - \left(\frac{dP}{dz} \right)^{\frac{1}{m}} \left(\frac{r}{2k} \right)^{\frac{1}{m}} r^2 dr$$

$$Q = - \pi \left(\frac{dP}{dz} \right)^{\frac{1}{m}} \int_0^R \frac{r^{\frac{2m+1}{m}}}{(2k)^{\frac{1}{m}}} dr$$

(III.35)

-III-5-3)-La pression dans le moule :

D'après l'équation (IV.35) on trouve :

$$\left(\frac{dP}{dz} \right)^{\frac{1}{m}} = - \frac{Q}{\pi} \frac{1}{\int_0^R \frac{r^{\frac{2m+1}{m}}}{(2k)^{\frac{1}{m}}} dr} \quad (\text{III.36})$$

On pose :

$$DEH = \int_0^R \frac{r^{\frac{2m+1}{m}}}{(2k)^{\frac{1}{m}}} dr$$

On substituant DEH dans l'équation (IV.36)

$$\frac{dP}{dz} = - \left(\frac{Q}{\pi} \right)^m \frac{1}{(DEH)^m} \quad (\text{III.37})$$

et par intégration on trouve :

$$P(z) = \left(\frac{Q}{\pi} \right)^m \frac{1}{(DEH)^m} (L - z) \quad (\text{III.38})$$

-III-5-4)-La pression d'injection :

$$\Delta P = P_L - P_{inj}$$

$$P_L = 0 \quad (\text{La pression au front de la matière})$$

L : la longueur totale

Donc : après l'intégration de (IV.37) on trouve :

$$P_{inj} = \left(\frac{Q}{\pi} \right)^m \frac{1}{(DEH)^m} L \quad (\text{III.39})$$

-III-6)-echange de chaleur entre la matière plastique et le moule :

L'équation de la chaleur dans le moule s'écrit en supposant que la conductivité thermique et la capacité calorifique sont indépendantes de la température .

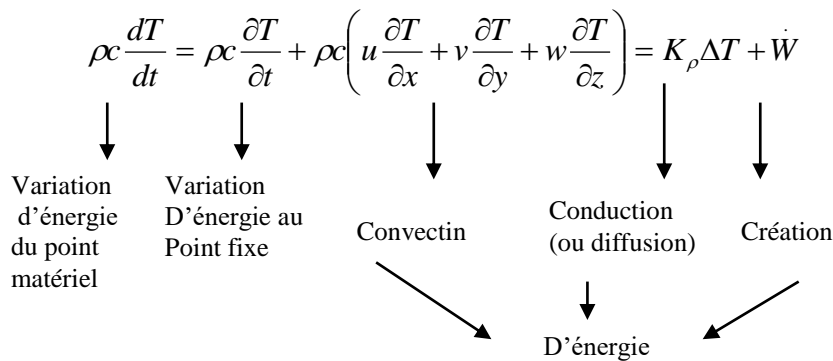
$$\rho.c.\left[\frac{\partial T}{\partial t} + U.Grad(T)\right] = K_{\rho}\Delta T + \dot{W} \quad (III-40)$$

- ρ : la masse volumique.
- c : la chaleur massique.
- T : la température de la matière.
- K_{ρ} :conductivité thermique du la matière.
- t : temps.
- \dot{W} : dissipation visqueuse.

Avec :

$$\Delta T = \frac{\partial^2 T}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 T}{\partial^2 y} + \frac{\partial^2 T}{\partial^2 z}$$

Le bilan globale s'écrit finalement :



-III-6-1)-hypothèses de calcul :

L'écoulement est unidirectionnel suivant x, cela élimine les termes :

$$v \frac{\partial T}{\partial y} \quad \text{et} \quad w \frac{\partial T}{\partial z}$$

L'échange de la chaleur de la matière plastique avec le moule suivant le sens de l'écoulement, est négligeable par rapport à l'échange dans le sens transversal.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial^2 z} \gg \frac{\partial^2 T}{\partial^2 y}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial^2 z} \gg \frac{\partial^2 T}{\partial^2 x}$$

L'équation (III-40) devient :

$$\rho.c. \left[\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} \right] = K_{\rho} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \dot{W} \quad (\text{III-41})$$

avec le termes de dissipation visqueuse

$$\dot{W} = k \times \dot{\gamma} \quad \text{pour le cas newtonien}$$

$$\dot{W} = k \times \left| \dot{\gamma} \right|^{m+1} \quad \text{pour le cas pseudo-plastique}$$

$$\dot{W} = k(T) \times \left| \dot{\gamma} \right|^{m+1} \quad \text{pour le cas pseudo-plastique thermo-dépendant}$$

-III-6-2)-résolution de l'équation de chaleur :

Pour résoudre l'équation (III.41) il existe plusieurs méthode, pour notre étude on a choisi la méthode des volumes finis.

III.4.2.2 La méthode des volumes finis :

A) Introduction :

La technique des volumes finis est une réponse au problème que constitue l'inaptitude de la technique des différences finies à traiter des géométrie complexes.

Supposons que l'on dispose d'un maillage irrégulier adapté à la géométrie du problème et aux besoins de raffinement local dus à la nature de la solution attendue, pour la plupart des équations aux dérivées partielles à résoudre en mécanique des milieux continus résultants de principes de conservation, la technique des volumes finis consiste à écrire directement le principe de conservation concerné pour chaque volume fini défini par les mailles du treillis.

En fait , cela revient à discrétiser la forme intégrale de l'équation de conservation plutôt que sa forme différentielle.

Il existe une assez forte analogie de principe entre cette méthode et la méthode des volumes de contrôles que l'on utilise fréquemment pour l'étude globale de dispositifs impliquant des fluides. la seule différence est qu'ici , on fragmente le domaine en petits éléments de manière à obtenir une information locale et à améliorer la précision.

On montre que la discrétisation obtenue par différences finies est rigoureusement identique à celle obtenue par volumes finis.

On peut alors se demander s'il existe un avantage quelconque à considérer une approche plutôt qu'une autre.

L'avantage de l'approche par volumes finis est de ne pas se limiter à des cellules en formes de quadrilatères curvilignes, ce qui est le cas en différences finies. On peut considérer des volumes triangulaires, hexagonaux.....etc. un dernier avantage est qu'il est en général plus facile de l'appliquer au voisinage des frontières.

B) Formulation mathématique :

En pratique, les situations mettant en jeu des écoulements de fluide, de chaleur et de masse sont gouvernées par les principes de conservation de masse, de quantité de mouvement, d'énergie, espèces chimiquesetc. Ces principes peuvent être exprimés en termes d'équations différentielles. L'avantage majeur de la formulation numérique provient du fait que les équations de conservation peuvent se ramener en une seule forme.

Si ϕ est la variable dépendante, l'équation différentielle générale correspondante, dans le cas instationnaire, d'un transfert par convection, prend la forme :

$$\frac{\partial(\rho.\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho.U.\phi) = \text{div}(\Gamma.\text{grad}\phi) + S \quad (\text{III.42})$$

\downarrow
 Terme1

\downarrow
 Terme2

\downarrow
 Terme3

\downarrow
 Terme4

avec

ϕ : Variable principale

Γ : est le coefficient de diffusion.

S : terme source

Terme 1 : terme stationnaire

Terme 2 : terme convectif

Terme 3 : terme diffusif

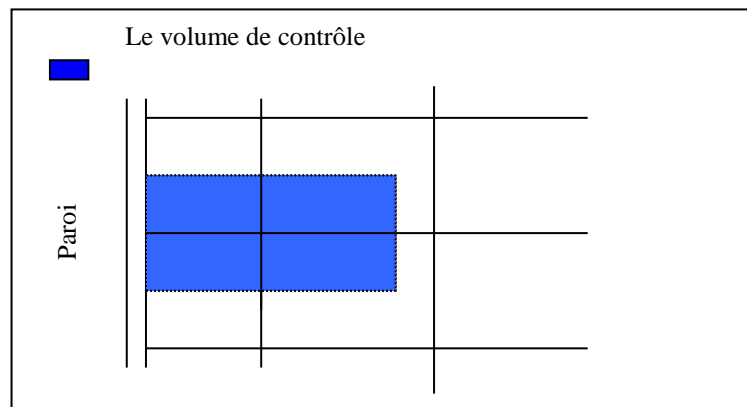
Terme 4 : terme source

C) Méthode numérique :

- **Maillage et volume de contrôle :**

Dans la méthode numérique, l'objectif est de calculer les valeurs de variable, en un certain nombre de points d'un maillage discret. Les équations algébriques de ces valeurs, (appelées équations de discrétisation), sont obtenues par l'intégration de l'équation régissant le phénomène sur un sous domaine autour de chaque point du maillage. Ces sous domaines sont appelées : *VOLUMES DE CONTROLE*.

La situation est quelque peu différente pour un volume de contrôle situé près d'une paroi, à cause des conditions aux limites et les conditions initiales.



FigIII.1. *Volume de contrôle*

- **Equation de la conservation pour le volume de contrôle :**

L'équation générale peut, à présent, être intégrée sur un volume de contrôle. Le volume de contrôle est construit autour d'un point P du maillage. Les autres points du maillage sont : E, W, N, S.

Les faces correspondantes (du volume de contrôle) sont notées : e, w, n et s, (est, ouest, nord, sud).

De même façon on peut transformer les équations de continuité:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{U}) = 0 \quad (\text{III.43})$$

Il sera dans tous les cas préférable d'adimensionner les équations et les variables.

Cette dernière écriture correspond bien à notre cas, il faudra seulement lui introduire les conditions aux limites et les conditions initiales.

• **Intégration de l'équation locale :**

Le maillage de la méthode des volumes finis se compose d'un maillage principal et d'un maillage secondaire. En chaque nœud on définit une variable (composante de la vitesse, pression ou température ...etc), les variables ne sont pas nécessairement définies ensemble au même nœud. Cet avantage sera utilisé dans le cas du couplage du calcul.

Le maillage recouvre le domaine de l'étude et définit un ensemble de volumes dits : « volumes de contrôle ' Ω ' » sur lesquels on intègre l'équation de conservation en ϕ .

$$\int_{\Omega} \frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} d\omega = \int_{\Omega} \nabla(\Gamma \nabla \phi) d\omega - \int_{\Omega} \nabla(\rho\phi \vec{V}) d\omega + \int_{\Omega} S(\phi) d\omega \quad (\text{III.44})$$

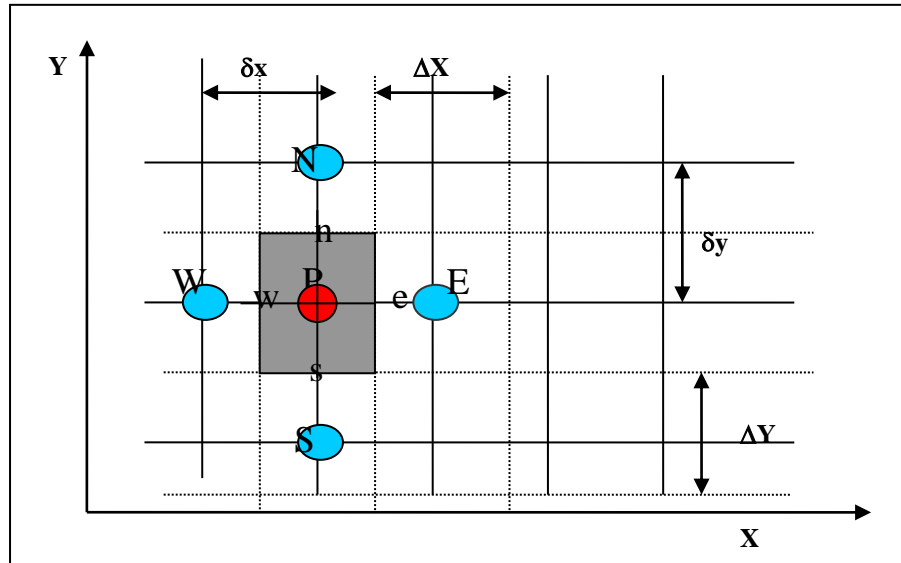
Si on utilise le théorème de la divergence dit 'd'Ostrogradski'

$$\int_{\Omega} \frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} d\omega = \int_{\Sigma} (\Gamma \nabla \phi - \rho\phi \vec{V}) \cdot \vec{n} d\sigma + \int_{\Omega} S(\phi) d\omega \quad (\text{III.45})$$

ou \vec{n} est la normale sortante à la surface Σ qui délimite le volume de contrôle. Il faut intégrer les flux sur cette surface, et si on pose :

$$\vec{J} = (\Gamma \nabla \phi - \rho\phi \vec{U}) \quad (\text{III.46})$$

avec
$$\vec{U} = \begin{cases} u \\ v \\ w \end{cases}$$



FigIII-2. Structure du maillage et volume de contrôle

Il faudra donc évaluer les composante du flux J dans chacune des directions d'espace

$$\begin{aligned}
 J_x &= \vec{j}\vec{n}_x = \Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x} - \rho u \Phi \\
 J_y &= \vec{j}\vec{n}_y = \Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial y} - \rho v \Phi \\
 J_z &= \vec{j}\vec{n}_z = \Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial z} - \rho w \Phi
 \end{aligned}
 \tag{III.47}$$

- La discrétisation de l'équation integrale dans un cas bidimensionnel (avec le maillage représenté sur la figure (III.11) le volume de contrôle qui entoure le point p est délimité par les médiatrices des segments reliant les points adjacents E,W,N et au point P.

Si on suppose que les valeurs au point P de $\partial(\rho\Phi)/\partial t$ et $S(\Phi)$ sont les valeurs moyennes sur les surfaces correspondantes, l'équation intégrale devient:

$$\frac{(\rho\Phi)_P - (\rho\Phi)_P^0}{\Delta t} \cdot \Delta\Omega = (J_e - J_w) \cdot \Sigma_x + (J_n - J_s) \cdot \Sigma_y + S(\Phi_P) \cdot \Delta\Omega
 \tag{III.48}$$

ou

$$\begin{aligned}
J_e &= J_x(e) = \Gamma_e \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)_e - (\rho u)_e \Phi_e \\
J_n &= J_x(n) = \Gamma_n \left(\frac{\partial \Phi}{\partial y} \right)_n - (\rho u)_n \Phi_n
\end{aligned}
\tag{III.49}$$

et de même en w et s.

Il faut donc et avant de passer à la discrétisation, évaluer les quantités suivantes sur les faces du volume de contrôle:

$$\Gamma, \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x(\partial y)} \right), \rho u(v) \Phi$$

Pour simplifier on suppose que Γ est uniforme.

On suppose par ailleurs que les composantes de vecteur vitesse sont connues sur les faces du volume de contrôle u en e et w et v en n et s .

Il reste donc à exprimer $\left[\frac{\partial \Phi}{\partial x(\partial y)} \right]$ et Φ sur les faces du volume de contrôle en fonction des valeurs aux nœuds du maillage principal
On écrit :

$$\left[\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right] = \frac{\Phi_E - \Phi_P}{PE}$$

Il reste le problème du choix du schéma pour exprimer Φ_e par mis les cinq cas possibles suivants:

- 1- Le schéma centré: $(\phi_e = (\phi_P + \phi_E)/2)$, est le plus simple mais il est instable si la convection est dominante.
- 2- Le schéma amont: $(\phi_e = \phi_P \text{ si } u_e > 0)$ est très imprécis à faible vitesse.
- 3- Le schéma hybride: il est tel que l'on utilise le schéma centré si la diffusion est dominante et le schéma amont si c'est la convection qui l'emporte

Le critère de choix est basé sur la valeur du nombre de Peclet (P_e) de la maille définit par:

$$P_e(e) = (\rho u)_e \Delta x / \Gamma$$

Si $|P_e(e)| < 2$: on utilise le schéma centré.

Si $|P_e(e)| > 2$: on choisit le schéma amont.

4 -Le schéma exponentiel:

Il repose sur la solution de l'équation de convection-diffusion stationnaire en 1D

$$(\rho u) \frac{\partial \phi}{\partial x} - \Gamma \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = 0 \quad (\text{III.50})$$

dont la solution est: $\phi = \frac{\phi - \phi_0}{\phi_1 - \phi_0} = \frac{e^{Pe^{x/l}} - 1}{e^{Pe}} \text{ avec } L=PE$

$$\phi_1 = \phi_E \quad \text{et} \quad \phi_0 = \phi_P$$

5- Le schéma polynomial (5D):on utilise souvent le schéma polynomial(power-law) qui est une approximation par un polynôme de cinquième degré de la fonction obtenue dans le schéma exponentiel.

L'expression de la fonction $A(P_e)$ relatives aux différents schémas numériques est donnée dans le tableau suivant:

Schéma numérique	$A(P_e)$
Centré	$1 - 0.5 P_e $
Upwind	1
Hybride	$\text{Max} [0, 1 - 0.5 P_e]$
Exponential	$ P_e / [e^{ P_e } - 1]$
polynomial	$\text{Max}[0, (1 - 0.1 P_e ^5)]$

De même si on intègre l'équation de continuité sur un volume de contrôle $\Delta\Omega = \Delta x \Delta y$, on obtient

$$(F_w - F_e) + (F_n - F_s) = 0$$

avec

$$\begin{aligned} F_w &= (\rho u)_w \cdot \Delta y \\ F_e &= (\rho u)_e \cdot \Delta y \\ F_n &= (\rho v)_n \cdot \Delta x \\ F_s &= (\rho v)_s \cdot \Delta x \end{aligned} \quad (\text{III.51})$$

On définit aussi les nombres : $D_e ; D_w ; D_n ; D_s$ tel que

$$D_e = \Gamma_e \Delta y / (\partial X)_e \quad D_n = \Gamma_n \Delta x / (\partial y)_n$$

$$D_w = \Gamma_w \Delta y / (\partial X)_w \quad D_s = \Gamma_s \Delta x / (\partial y)_s$$

Les nombres de Peclet sont alors définis par :

$$P_e = \frac{F_e}{D_e} ; \quad P_w = \frac{F_w}{D_w} ; \quad P_s = \frac{F_s}{D_s} ; \quad P_n = \frac{F_n}{D_n}$$

• **L'équation discrète finale :**

Après discrétisation l'équation différentielle générale devient sous la forme algébrique linéaire suivant

$$a_p \phi_p = a_E \phi_E + a_W \phi_W + a_N \phi_N + a_S \phi_S + b \quad (\text{III.52})$$

ou alors: ($a_p \phi_p = \sum a_{nb} \phi_{nb}$) et $S = S_c + S_p \phi_p$

avec S: Terme source

nb: cet indice signifie nœud voisins (neighbours).

$$a_E = D_e A (|P_e|) + \text{Max} (-F_e, 0)$$

$$a_W = D_w A (|P_w|) + \text{Max} (-F_w, 0)$$

avec
$$a_N = D_n A (|P_n|) + \text{Max} (-F_n, 0)$$

$$a_S = D_s A (|P_s|) + \text{Max} (-F_s, 0)$$

$$a_p = a_E + a_W + a_N + a_S + a_p^0 - S_p \Delta x \Delta y$$

et
$$b = S_c \Delta x \Delta y + a_p^0 \phi_p^0$$

$$a_p^0 = (\rho_p^0 \Delta x \Delta y) / \Delta t$$

III.4.3. Application au cas de l'échange thermique dans le moule plaque :

III.4.3.2. La méthode des volumes finis:

L'équation générale est sous la forme suivant :

$$\frac{\partial(\rho \cdot \phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho \cdot u \cdot \phi) = \text{div}(\Gamma \cdot \text{grad} \phi) + S$$

qui s'écrit après projection sur l'axe x_j :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\phi) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j \phi) = \frac{\partial}{\partial x_j}(\Gamma \frac{\partial \phi}{\partial x_j}) + S \quad (\text{III.53})$$

Dans le cas du transfert de chaleur, on a la variable principale $\phi \equiv T$ (la température) et la coefficient de diffusion égale $K_p/\rho c_p$. et dans ce cas l'équation générale devient :

$$\rho c_p \left[\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} \right] = k_p \Delta T + k \delta^{m+1} \quad (\text{III.54})$$

$\rho = \text{cste} \qquad K_p = \text{cste} \qquad k = k(T)$

d'après l'équation de continuité:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho U) = 0 \quad \Rightarrow \quad \text{div}(\rho U) = 0 \quad \Rightarrow \quad \rho U = \text{cste}$$

a) Descritisation de l'équation de base :

L'équation de la chaleur sous la forme différentielle (III.54), cette équation de base descritisée et tirée en intégrant l'équation (III.54) sur le volume de contrôle définie autour du point P figure (III.1), et par rapport au temps de t à $t+\Delta t$.

On a :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{K_p}{\rho C_p} \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right] + \bar{S}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right] + \bar{S} \quad (\text{III.55})$$

avec : $\alpha = \frac{K_p}{\rho C_p}$

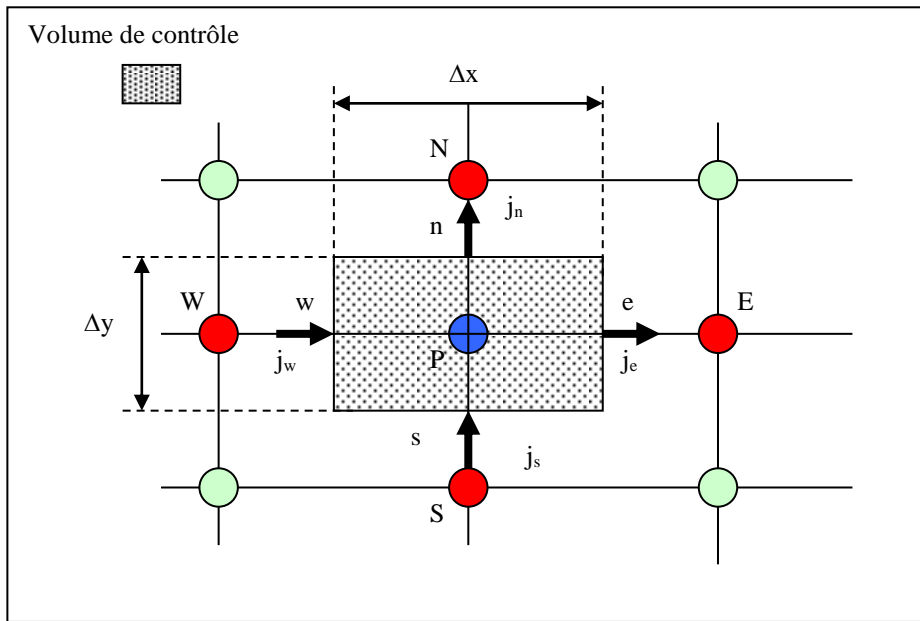
Cette équation peut être écrite sous la forme suivante :

$$\frac{\partial}{\partial t}(T) + \frac{\partial J_x}{\partial x} + \frac{\partial J_y}{\partial y} = \bar{S} \quad (\text{III.56})$$

avec

$$J_x = uT - \alpha \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$J_y = vT - \alpha \frac{\partial T}{\partial y}$$



FigIII-3 :schema de discretisation

Par la discrétisation de l'équation intégrale par rapport à (t) et $dxdy$, avec le maillage représenté sur la figure(III.3) le volume de contrôle qui entoure le point p est délimité par les médiatrices des segments reliant les points adjacents E,W,N et S au point P .

Si on suppose que les valeurs au point P de $\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t}$ et $S(\Phi)$ sont les valeurs moyennes sur les surfaces correspondantes, l'équation intégrale devient :

$$\frac{T_p - T_p^0}{\Delta t} \Delta x \Delta y + (J_e - J_w) + (J_n - J_s) = S \Delta x \Delta y \quad (\text{III.57})$$

avec :

$$J_e = J_x(e) = (uT)_e - \alpha_e \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_e$$

$$J_n = J_y(n) = (vT)_n - \alpha_n \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_n$$

et de même en w et s.

de même si on intègre l'équation de continuité par rapport à (t) et dx dy, on obtient :

$$\frac{(\rho_p - \rho_p^0)}{\Delta t} \Delta x \Delta y + F_e - F_w + F_s - F_n = 0$$

La matière est incompressible:

$$F_e - F_w + F_s - F_n = 0 \quad (\text{III.58})$$

avec:

$$F_e = u_e \Delta y \quad F_w = u_w \Delta y$$

$$F_n = v_n \Delta x \quad F_s = v_s \Delta x$$

en multipliant (III.75) par (T_p) et par la soustraction de (III.74) on a

$$\frac{(T_p - T_p^0)}{\Delta t} \Delta x \Delta y + (J_e - F_e T_p) - (J_w - F_w T_p) + (J_n - F_n T_p) - (J_s - F_s T_p) = \bar{S} \Delta x \Delta y \quad (\text{III.59})$$

avec \bar{S} terme source :

$$\bar{S} = (S_c + S_p T_p)$$

et

$$J_e - F_e T_p = a_E (T_p - T_E)$$

$$J_w - F_w T_p = a_W (T_w - T_p)$$

$$J_s - F_s T_p = a_S (T_p - T_S)$$

$$J_n - F_n T_p = a_N (T_N - T_p)$$

$$\frac{(T_p - T_p^0)}{\Delta t} \Delta x \Delta y + a_E (T_p - T_E) - a_W (T_w - T_p) - a_N (T_N - T_p) - a_S (T_p - T_S) = S \Delta x \Delta y$$

$$(a_E + a_W + a_N + a_S + \frac{\Delta x \Delta y}{\Delta t}) T_p = a_E T_E + a_W T_w + a_N T_N + a_S T_S + \bar{S} \Delta x \Delta y + \frac{T_p^0}{\Delta t} \Delta x \Delta y$$

$$(a_E + a_W + a_N + a_S - S_p \Delta x \Delta y + \frac{\Delta x \Delta y}{\Delta t}) T_p = a_E T_E + a_W T_w + a_N T_N + a_S T_S + b$$

avec :

$$b = S_c \Delta x \Delta y + T_p^0 \frac{\Delta x \Delta y}{\Delta t} = (S_c + \frac{T_p^0}{\Delta t}) \Delta x \Delta y$$

avec :

$$F_N = F_S = v \Delta x$$

$$F_W = F_E = u \Delta y \quad \rho = \text{Cste}$$

on définit les nombres D_e ; D_w ; D_s ; D_n tel que :

$$D_n = D_s = \alpha \frac{\Delta x}{\Delta y} \quad D_w = D_e = \alpha \frac{\Delta x}{\Delta y} \quad \text{avec} \quad \alpha = \frac{K_p}{\rho C_p}$$

on a : $a_E = D_e A(|P_e|) + [-F_w, 0]$

$$a_W = D_w A(|P_w|) + [F_w, 0]$$

$$a_N = D_n A(|P_n|) + [-F_n, 0]$$

$$a_S = D_s A(|P_s|) + [F_s, 0]$$

L'équation différentielle générale devient sous la forme algébrique linéaire suivante :

$$a_p T_p = a_E T_E + a_N T_N + a_S T_S + a_W T_W + b \quad (\text{III.60})$$

ou alors :

$$a_p = a_E + a_W + a_N + a_S + a_p^0 - S_p \Delta x \Delta y$$

$$a_E = D_e + \max(-F_e, 0)$$

$$a_N = D_n + \max(-F_n, 0)$$

$$a_W = D_w + \max(-F_w, 0)$$

$$a_S = D_s + \max(-F_s, 0)$$

avec : $F_n = F_s = V \Delta x$

et

$$F_w = F_e = U \Delta x$$

et

$$D_e = \frac{\Gamma_e \Delta y}{(\sigma x)_e}$$

$$D_n = D_s = \alpha \frac{\Delta x}{\Delta y}$$

$$D_e = D_w = \alpha \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

et nombre de Peclet :

$$P_e = \frac{F_e}{D_e} \quad P_w = \frac{F_w}{D_w} \quad P_n = \frac{F_n}{D_n} \quad P_s = \frac{F_s}{D_s}$$

$$a_0^p = \frac{\rho_p^0 \Delta x \Delta y}{\Delta t} \quad \rho = \text{Cste} \quad \rho_p^0 = 0$$

Pour résoudre l'équation finale (III.77) du transfert de chaleur, d'après la forme qu'on a obtenu par la suite de la méthode du volume fini on utilise deux modèles de résolution.

- Le modèle explicite.
- Le modèle implicite.

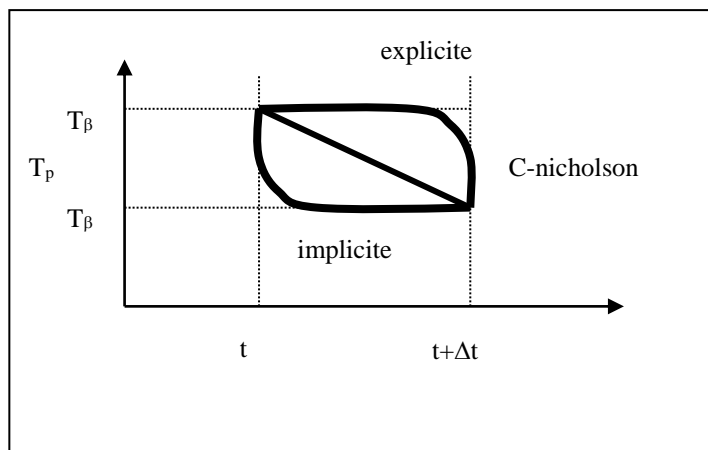


Fig.III.15. les méthodes de résolution

• **Méthode explicite :**

D'après la méthode des volumes finis on calcule la température d'un nœud a un instant $t+\Delta t$ en fonction des température des nœuds qui l'entoure au temps t comme le montre la figure (III.14)

La forme algébrique linéaire suivante :

$$a_p T_p = a_E T_E + a_N T_N + a_S T_S + a_W T_W + b$$

devient après la projection sur les axes xy sous la forme:

$$a_{i,j} T_{i,j}^{t+\Delta t} = a_E T_{i+1,j}^t + a_W T_{i-1,j}^t + a_N T_{i,j+1}^t + a_S T_{i,j-1}^t + b$$

a) Pour les nœuds internes:

$$T_{i,j}^{t+\Delta t} = \frac{1}{a_{i,j}} \left[a_E T_{i+1,j}^t + a_W T_{i-1,j}^t + a_N T_{i,j+1}^t + a_S T_{i,j-1}^t + b \right] \quad (\text{III.61})$$

avec :

$$b = \frac{T_p^0}{\Delta t} \Delta x \Delta y \quad a_p^0 = \frac{\Delta x \Delta y}{\Delta t}$$

$$D_e = \frac{K\rho}{\rho C_p} \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad \text{et} \quad D_w = D_e$$

on a :

$$a_E = D_e + \max(F_e, 0) \quad a_W = D_w + \max(F_w, 0) \quad F_e = F_w = u\Delta y$$

$$a_N = D_n = \frac{K\rho}{\rho C_p} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta y} \quad a_S = D_s = \frac{K\rho}{\rho C_p} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta y}$$

$$a_{i,j} = a_E + a_W + a_N + a_S + a_p^0$$

b) Pour les nœuds situés au milieu :

Dans ce cas et pour des raisons de symétrie on suppose que la température du nœud (j) sera égale à celle de (-j) soit :

$$T_{i,j} = T_{i,-j}$$

la température à l'instant $t+\Delta t$ sera donnée par :

$$T_{i,j}^{t+\Delta t} = \frac{1}{a_{i,j}} \left[a_E T_{i+1,j}^t + a_W T_{i-1,j}^t + (a_N + a_S) T_{i,j+1}^t + b \right] \quad (\text{III.62})$$

c) Pour les nœuds situés à l'interface de la pièce et le moule :

Pour ce genre de nœuds on va supposer que le flux absorbé par le fluide de refroidissement est égale au flux dégagé par la matière plastique, le raisonnement est le même que dans le cas de la méthode des différences finis.

$$\frac{K_p (T_{i,j-1}^t - T_{i,j}^t)}{\Delta x \Delta z} = \frac{K_{ac} (T_{i,j}^t - T_r^t)}{e \Delta x} \quad (\text{III.63})$$

T_r : température du liquide de refroidissement
De l'équation (III.80) on trouve :

$$T_{i,j}^t = \frac{K_p \cdot T_{i,j-1}^t + K_{ac} \cdot T_r^t}{K_p \cdot e + K_{ac} \cdot \Delta z} \quad (\text{III.64})$$

d) Pour les nœuds situés au seuil d'injection :

Pour ce type de nœuds on suppose que leur température est égale à la température d'injection c'est à dire :

$$T_{0,j} = T_{inj}$$

Chapitre IV: Model et calcul

Le but essentiel de notre travail est le calcul des parametres qui sont déjà faits par une simulation des phénomènes de remplissage au cours de moulage par injection des matières plastiques. Ce calcul permet de donner l'état de matière pendant à la fin de cette phase.

Le moyen de calcul c'est le code de calcul FLUENT.

-IV-1)-Les Données :

- **Kp**: Conductivité thermique du plastique.
- **Cc**: Capacité calorifique.
- **Kac**: Conductivité de l'acier.
- **Tinj**: Température d'injection.
- **Tref**: Température de refroidissement.
- **t**: Le temps de remplissage de moule.

-IV-2)-Edition des résultats :

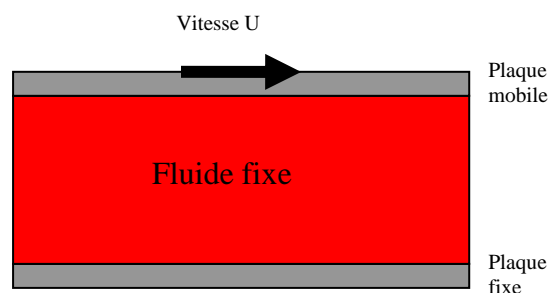
- Les valeurs de la température dans différents points du maillage.
- les valeurs de la pression d'injection suivant la longueur.
- Les valeurs de champ de vitesse suivant le rayon.
- Les valeurs de la pression en différent points du maillage.

-IV-3)-Le model:

Pour fair ce calcul ; on a proposé un model approximatif à ce phénomène physique sur une base de la définition de la viscosité

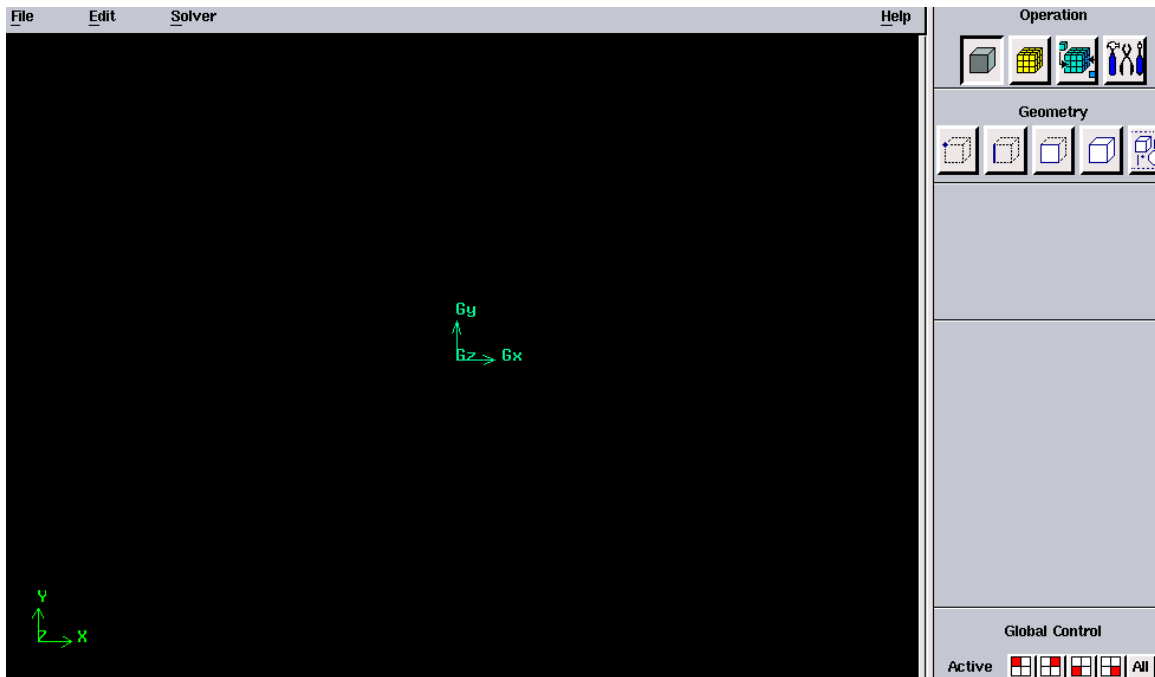
Le model composé de deux plaques en acier froid, la plaque inférieure fixe et la plaque supérieure mobile avec une vitesse U et entre les deux plaques un fluide chaud et fixe.

Le calcul se fait après les données de toutes les conditions et les paramètres nécessaires de la matière (plastique) et du moule (plaques d'aciers).



-IV-4)-Les étapes de travail :

-IV-3-1)-GAMBIT :



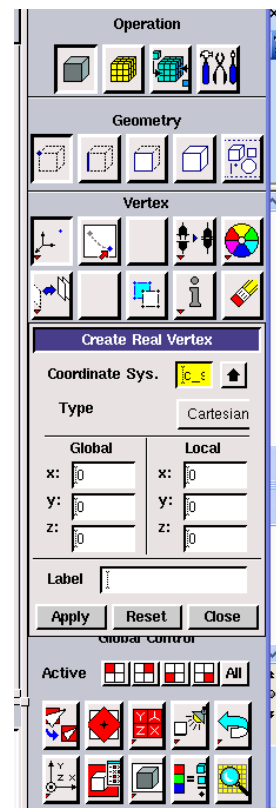
-IV-3-1-1)-Créez Vertices :

-point (A) : (0.0.0)

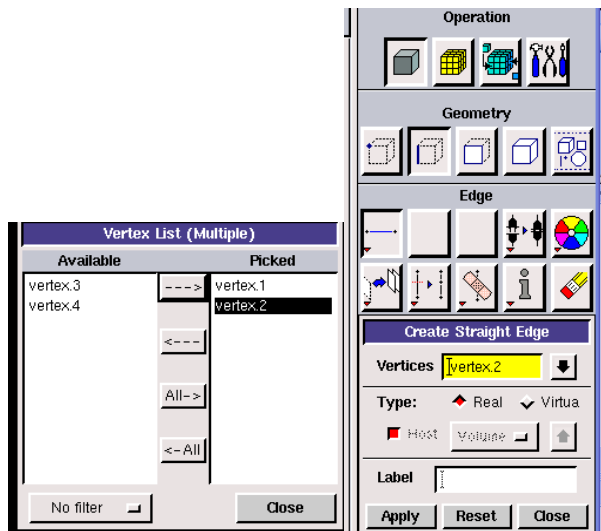
-point (B) : (4.0.0)

-point (C) : (4.4.0)

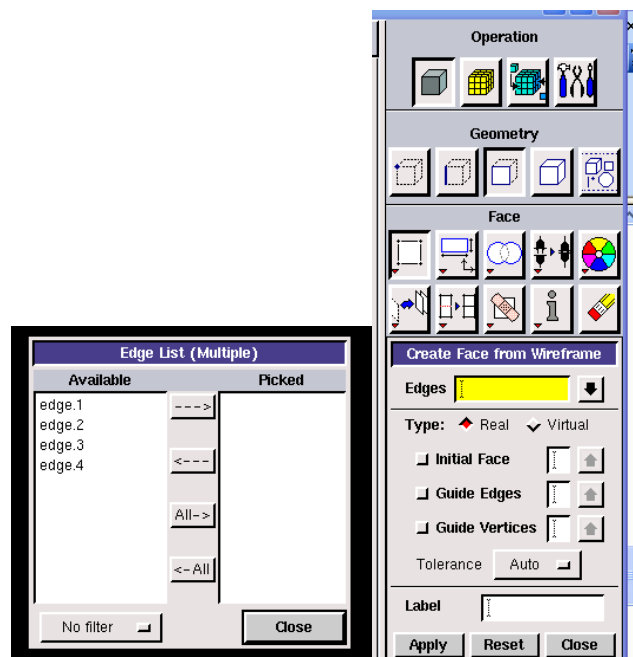
-point (D) : (0.4.0)



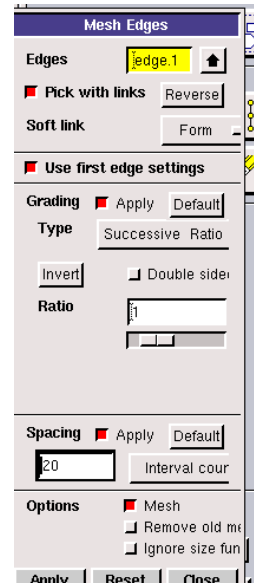
-IV-3-1-2)-Créez des Bords :



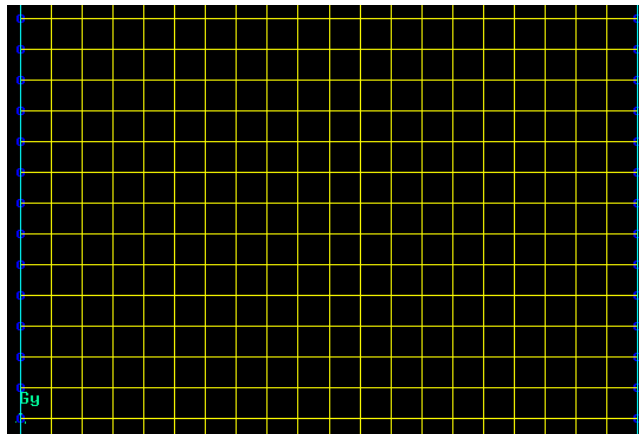
-IV-3-1-3)-Créez le face



-Géométrie de la maille dans GAMBIT:

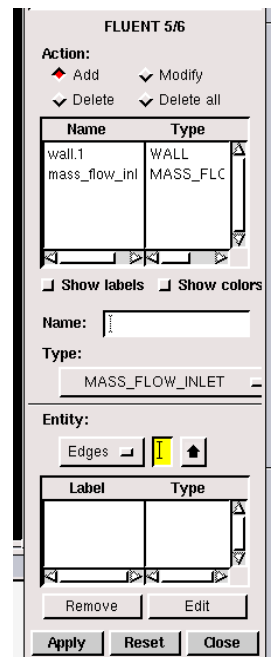


le maillage :



-IV-3-1-4)-Créez des Types de la Limite :

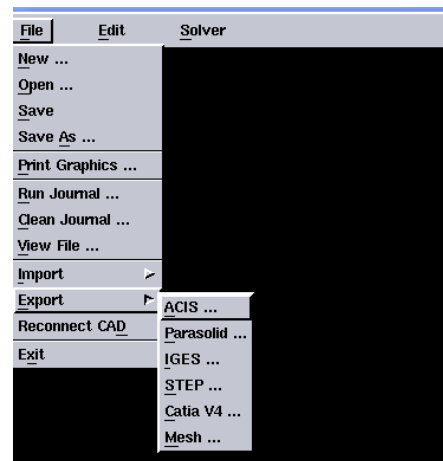
	Name	Typs
1	Plaque f	wall
2	Plaque m	wall
3	inlet	Mass_flow_inlet
4	outlet	Mass_flow_inlet



****Save and export :**

-Main Menu—File—save

- Main Menu—File—Export—Mesh



-IV-3-2)-FLUENT :

```
File  Grid  Define  Solve  Adapt  Surface  Display  Plot  Report  Parallel  Help

Welcome to Fluent 6.3.26

Copyright 2006 Fluent Inc.
All Rights Reserved

Loading "C:\Fluent.Inc\fluent6.3.26\lib\fl_s1119.dmp"
Done.

> Reading "C:\28.msh"...
  441 nodes.
  20 mixed mass-flow-inlet faces, zone 3.
  20 mixed mass-flow-inlet faces, zone 4.
  20 mixed wall faces, zone 5.
  20 mixed wall faces, zone 6.
  760 mixed interior faces, zone 8.
  400 quadrilateral cells, zone 2.

Building...
  grid,
  materials,
  interface,
  domains,
  zones,
    default-interior
    zone-1
    zone-2
```

-01-Main Menu—File—Read—Case

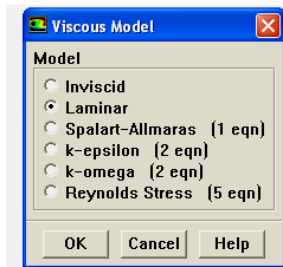
-02- Main Menu—Grid—Info—Check

-03- Main Menu—Grid—Info—Size

-04- Main Menu—Display—Grid

-05- Main Menu—Define—Model—Solver

-05- Main Menu—Define—Modele—Viscous



Viscous Laminar

-06- Main Menu—Define—Materials

Flued	plastique
solide	l'acier

-07- Main Menu—Define—Operating Conditions

-08- Main Menu—Define—Boundary Conditions

	Name	Vitesse(m/s)	Température (k)
1	Plaque f	0	293
2	Plaque m	0.5	293
3	inlet	0	523
4	outlet	0	523

-09- Main Menu—Solve—Controls—Solution

-10- Main Menu—Solve—Initialize—Initialize

-11- Main Menu—Solve—Monitors—Residual

-12- Main Menu—File—Write—Case

-13- Main Menu—Solve—Iterate

-14- Main Menu—Plot—XY Plot

-15- **RESULTATS** : les graphes

-IV-4)-Données numériques :

-Longueur de la plaque $X = 4 \text{ m}$

-L'épaisseur entre les plaques $Y = 4 \text{ m}$

-Conductivité thermique du plastique : $K_p = 0.175 \text{ w/m.}^\circ\text{C}$

-Capacité calorifique : $C_c = 2.02 \text{ j/}^\circ\text{C.mm}$

-Conductivité de l'acier : $K_{ac} = 14.6$

-Température d'injection : $T_{inj} = 523 \text{ k}$

-Température de refroidissement : $T_{ref} = 293 \text{ k}$

-Le temps de remplissage de moule : $t = 1 \text{ s}$

-IV-5)-Les graphes

Température (k)

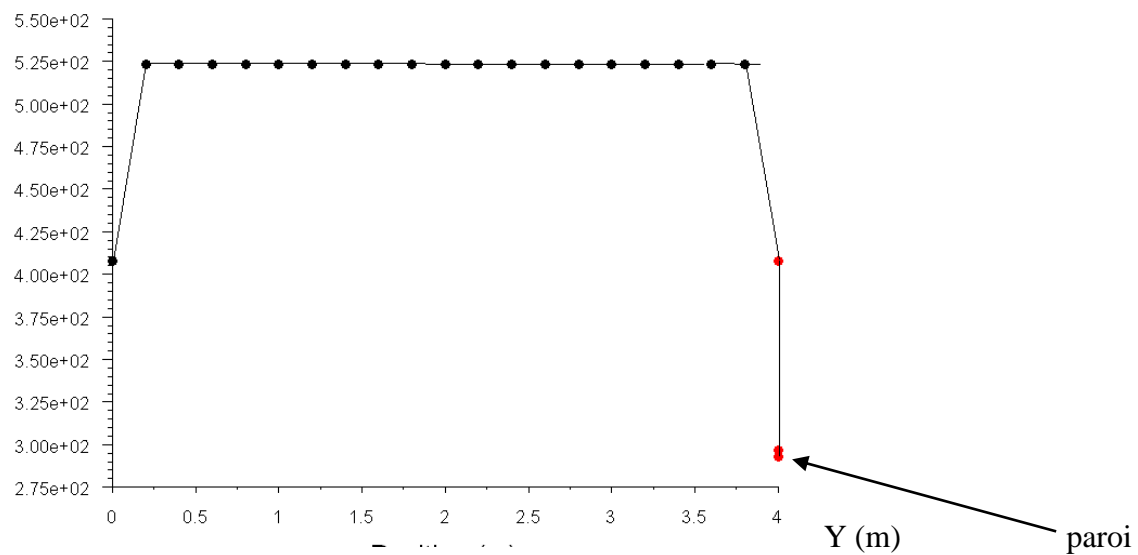


Figure V.1. Température dans le moule.

Vitesse (m/s)

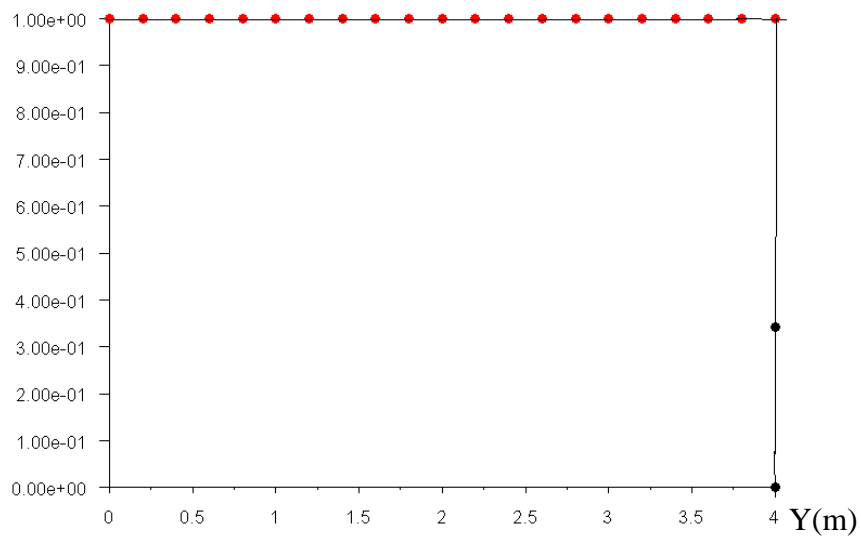


Figure V.2.Le champ de vitesse.

Pression (Pa)

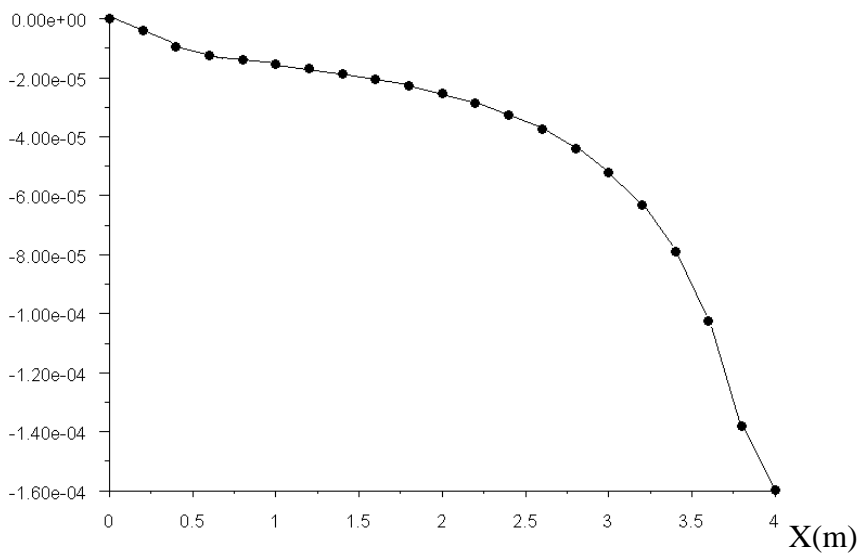


Figure V.3.La pression dans le moule.

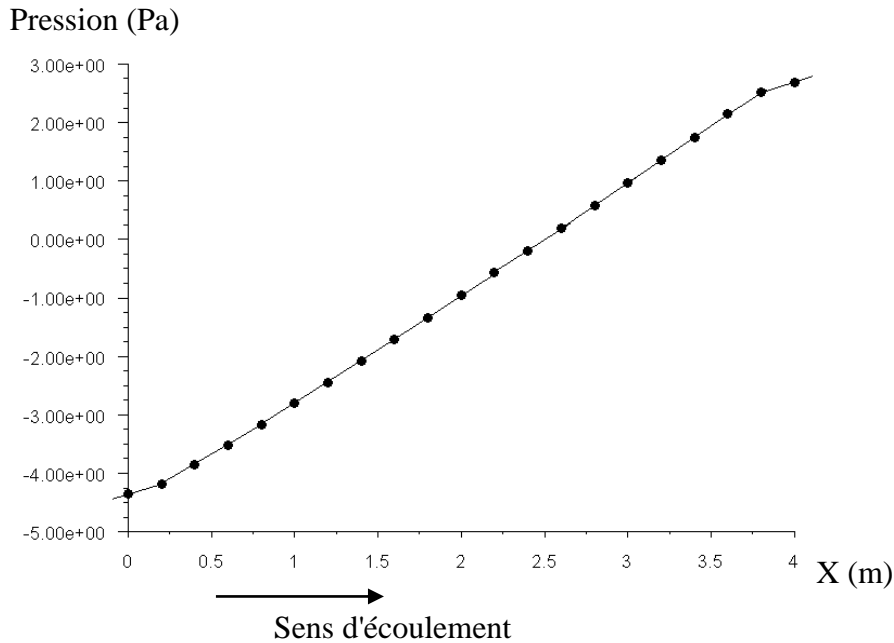


Figure V.4. La pression d'injection.

-V-5-2)- Interprétation des graphes

Figure V.1 :

Cette figure représente l'évolution de la température entre les deux plaques Y. La température au cœur de l'écoulement reste constante jusqu' à la fin de remplissage et égale la température d'injection. Elle diminue très rapidement au voisinage des parois du moule à cause du refroidissement de la matière en contact avec le moule.

Figure V.2 :

Cette figure représente l'évolution de vitesse suivant l'épaisseur Y. La vitesse est maximale au cœur du moule et nulle au niveau des parois, à cause de frottement de la matière avec la parois du moule.

Figure V.3 :

Cette figure représente l'évolution de la pression dans le moule au fin remplissage. La pression à l'entrée est maximale est égale à la pression d'injection et décroît d'une manière linéaire jusqu'elle s'annule au niveau du front.

Figure V.4 :

Cette figure représente de l'évolution de la pression d'injection au cours de remplissage. La pression d'injection augmente avec l'avancement du front.

Remarque

Les graphiques obtenus par le calcul utilisé par le code de calcul FLUENT a la meme forme presque que les graphes des paramètres obtenus par la simulation (étude de référence).

Chapitre V :Etude de cas

-V-1)-Données :

-X= 4 m

-Y = 4 m

-Conductivité thermique du plastique : $K_p = 0.175 \text{ w/m.}^\circ\text{C}$

-Capacité calorifique : $C_c = 2.02 \text{ j/}^\circ\text{C.mm}$

-Conductivité de l'acier : $K_{ac} = 14.6$

-Température d'injection : $T_{inj} = 523 \text{ k}$

-Température de refroidissement : $T_{ref} = 293 \text{ k}$

-Le temps de remplissage de moule : $t = 1 \text{ s}$

-V-2)-Les graphes

Température (k)

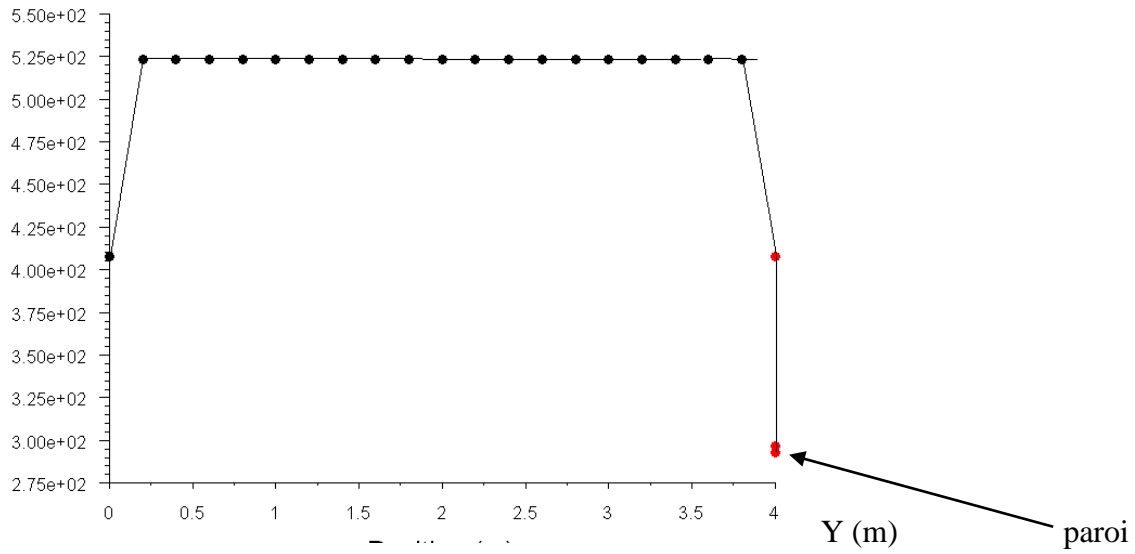


Figure V.1.Température dans le moule.

Vitesse (m/s)

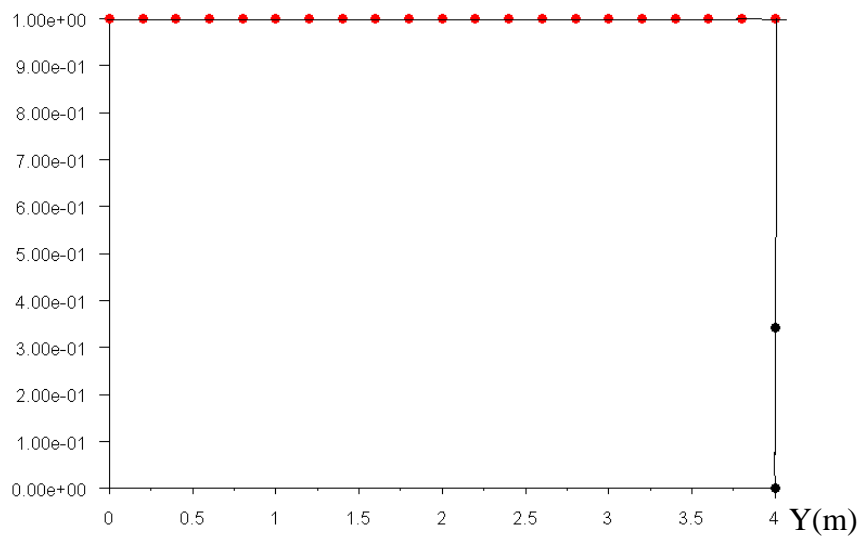


Figure V.2.Le champ de vitesse.

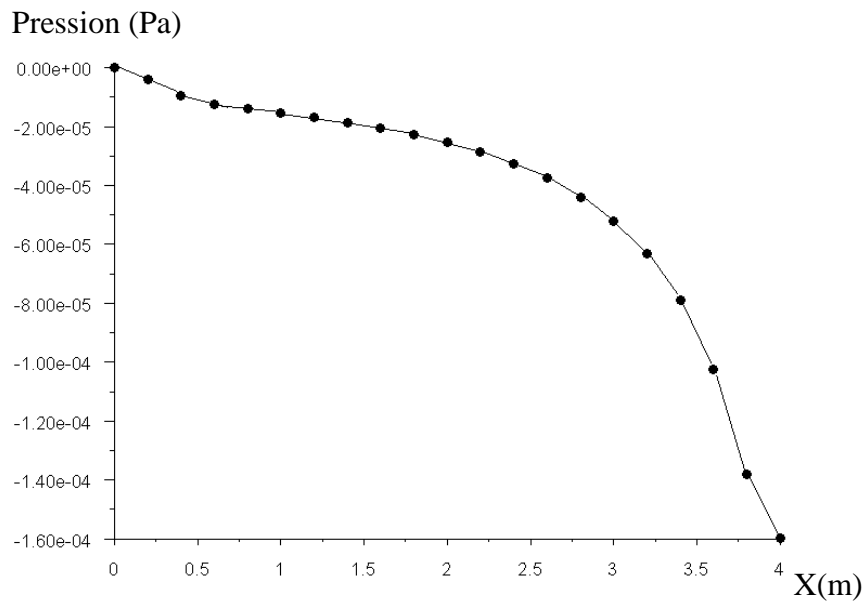


Figure V.3.La pression dans le moule.

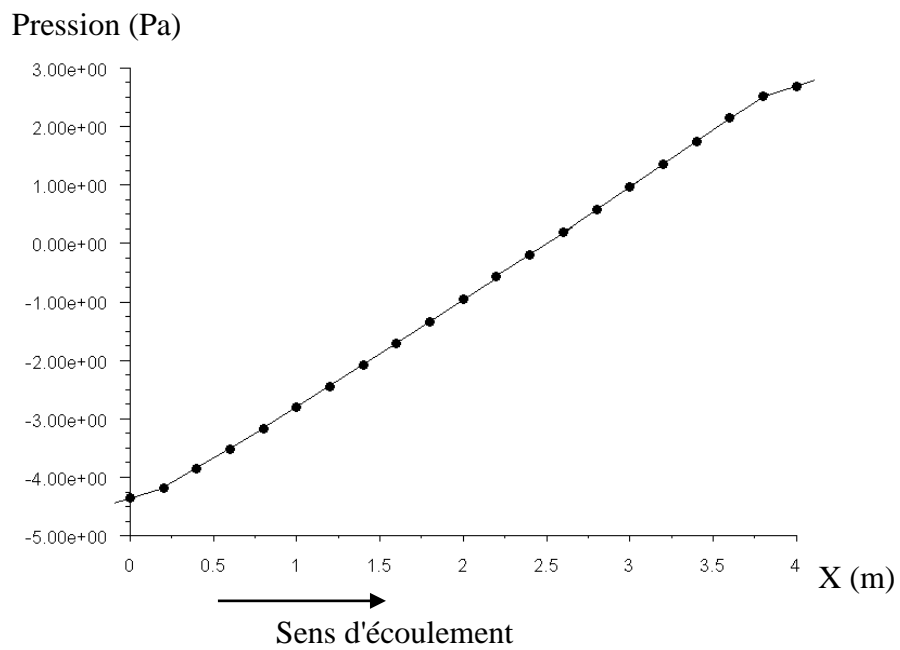


Figure V.4.La pression d'injection.

-V-3)- Interprétation des graphes

Figure V.1 :

Cette figure représente l'évolution de la température suivant le Y.
La température au cœur de l'écoulement reste constante jusqu' à la fin de remplissage et égale la température d'injection.
Elle diminue très rapidement au voisinage des parois du moule à cause du refroidissement de la matière en contact avec le moule.

Figure V.2 :

Cette figure représente l'évolution de vitesse suivant le Y.
La vitesse est maximale au cœur du moule et nulle au niveau des parois, à cause de frottement de la matière avec la parois du moule.

Figure V.3 :

Cette figure représente l'évolution de la pression dans le moule au fin remplissage.
La pression à l'entrée est maximale est égale à la pression d'injection et décroît d'une manière linéaire jusqu'elle s'annule au niveau du front.

Figure V.4 :

Cette figure représente de l'évolution de la pression d'injection au cours de remplissage.
La pression d'injection augmente avec l'avancement du front.

Conclusion générale

Cette étude a permis de calculer les paramètres thermique et mécanique de la phase de remplissage pour le moulage par injection de la matière plastique faire une modélisation sans faire un programme d'assimilation.

Les moyens utilisés pour ce calcul, un code de calcul fluide .

Au cours de cette étude, on a appris l'utilisation des équations de la mécanique du milieu continu pour la modélisation des phénomènes physiques et l'utilisation des moyens numériques tel que la méthode des volumes finis , pour le calcul de l'échange thermique et le calcul mécanique et tiré de l'étude qu' on a pris comme un phénomène physique à un modèle qu' on peut calculer avec un code de calcul (fluent) qu' on a maîtrisé.

Cette étude permet de calculer les paramètres mécanique et thermique avec le choix de maillage et la méthode de résolution M.V.F et comparer les résultats obtenus avec les résultats de l'étude de référence graphiquement.

Ce travail doit être suivi par d'autres études d'une autre forme et des conditions

Précises.

Références bibliographiques

-1)-T.DJOUDI et H. DJEMAI. 3Etude de la phase de remplissage de moulage par injection dans le cas d'un moule secteur".

Projet fin d'étude , Département de mécanique , Univ.de Biskra, Juin 2001.

-2)-O.S.BENSALAH."Simulation de la phase de remplissage d'un moule par injection (cas d'un moule plaque)".

Projet fin d'étude, Département de mécanique, Unvi.de Biskra, Juin 1999.

-3)-G.DAHAY etD.LEBOUVIER."Application industrielle d'un modèle bidimensionnel de remplissage des moules".Edition SFIP,1988.

-4)-D.MOUNIR et H.YAZID."Modélisation de la phase de remplissage du moulage par injection des matières plastique par la méthode de mise à plat"

Projet fin d'étude ,Département de mécanique. , Unvi.de Biskra, Juin 2002.

-5)-J.F.AGSSANT?P.AVENAS et J.Ph.SERGENT."la mise en forme des matières plastique" . Edition Technique et documetation-Lavoisier,1986.

-6)-M.AMIRECHE."Ecoulement entre deux disques coaxiaux finis avec injection de débit axial résolution numérique: méthode des volume finis."Thèse de magistère, Institut d'hydraulique,Univ de Biskra 1999.

-7)-Interent. "www.moulage-matieres-plastiques.com"

"www.moulageplastiquefrancais.com "