

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES ET
SCIENCES DE LA MATIERE
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire

MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : Science et Technique

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle -Professionnel-

Présenté par :

Gassou Mostafa

Rahmani Ahmed

Thème

**Etude de la qualité des pièces fabriquées en
moulage par injection**

Soutenu publiquement le :

26/06/2013

Devant le jury :

Devant le jury:

Président Mr. A .HECINI

UKM Ouargla

Examineur Mr. F.BENTALEB

UKM Ouargla

Encadreur Mr. T. AMEUR

UKM Ouargla

Année Universitaire : 2012 /2013

Remerciement

Tout d'abord, nous devons remercier « ALLAH » le tout puissant de nous avoir donné tout le courage et la santé pour achever ce travail.

A Monsieur **AMOUR TOUFIK**, pour nous avoir suivi durant notre travail dans le cadre de ce mémoire, pour ces conseils précieux, pour sa disponibilité et la compétence de son encadrement, qu'elle trouve ici notre reconnaissance et notre respect.

Un grand merci à Monsieur **R.KHAMA**, chef département de génie mécanique pour tous les conseils et l'encouragement..

Enfin nous remercions nos familles et nos amis pour leur soutien moral et leurs aides, ainsi que tous ce qui nous avaient soutenu et aidé tout au long de ce travail.

Dédicace

À mes parents

À mon Cher frère

À mes chères sœurs

*À la famille RAGHDA et la
famille GASSOU la famille et la
famille BEN ARROUSSI et la
famille RAHMANI .*

*A nos enseignants de l'école
primaire jusqu'à l'université*

À toutes nos cher(e)s ami(e)s

À toute la promotion Master

Mécanique

2012-2013

À tous ceux qui nous sont chers.

Gassou mostafa

Rahmani Ahmed

Table des matières

Introduction Générale.....(1)

CHAPITRE I : Généralités sur le moulage par injection

I.1. Introduction.....(2)

I.2.Définition d'un polymère.....(3)

I.3 Les types de macromolécules.....(3)

I.3.1. Macromolécules linéaire.....(3)

I.3.2. Macromolécules ramifiées(3)

I.4. Procédé d'injection(3)

I.4.1. La phase de plastification.....(3)

I.4.2.La phase de remplissage.....(4)

I.4.3. La phase de compactage.....(4)

I.5. I.4.4. La phase d'éjection.....(4)

I.5. Presse à injection.....(5)

I.5. Presse à injection.....(6)

I.5.1.La structure de presse d'injection(6)

I.5.2.Le bâti(7)

I.5.1.2.L'unité de fermeture(7)

I.5.1.3.L'unité de plastification/injection(8)

I.5.1.4.L'unité d'injection.....(9)

I.5.3.5.La buse.....(9)

I.5.2.Fonctions de la presse(10)

I.6.Conclusion.....(11)

CHAPITRE II : La modélisation du procédé de moulage

II.1.Introduction.....	(13)
II.2.La physique du procédé.....	(14)
II.2.1.La phase de remplissage.....	(14)
II.2.2. La phase de compactage/maintien.....	(14)
II.2.3.La phase de refroidissement.....	(15)
II.3. conditionnement du procédé de moulage par injection	(16)
II.3.1. Température de la buse.....	(16)
II.3.2 Température du moule	(17)
II.3.3. Vitesse d'injection.....	(17)
II.3.4. Pression d'injection et de maintien.....	(17)
II.3.5. Temps d'avance de la vis	(19)
II.3.6. Vitesse de rotation de la vis/contrepression.....	(19)
II.3.7. Temps de refroidissement	(20)
II.4. Cycle d'injection.....	(20)
II.5.Conclusion.....	(21)

CHAPITRE III : Optimisation de la qualité des pièces moulées

III.1.Introduction.....	(22)
III.2. Problèmes d'optimisation.....	(22)
III.2.1.Définition.....	(22)
III.2. 2.Paramètres d'un problème d'optimisation	(22)
III.2.3. Classification	(23)

III.2.3.1. problème d' optimisation mono –objectif ou multi-objectif.....	(23)
III.2.3.2. problème d'optimisation sans ou avec contrainte	(24)
III.2.3.3. problème d'optimisation linéaire ou non linéaire.....	(24)
III.3. Proposition du problème	(25)
III.4. Application.....	(26)
III.4.1. Optimisation non linéaire	(29)
III.4.2. L'optimisation à l'aide des surface de répons	(30)
III.5 Discussion.....	(31)
Conclusion Générale.....	(32)

Liste des figures:

1-Figure (I.1): phase de plastification.....	4
2-Figure (I.2): La phase de remplissage.....	4
3-Figure (I.3): phase de compactage.....	5
4-Figure (I.4): La phase d'éjection.....	6
5-Figure (I.5): principe de la presse d'injection	6
6-Figure (I.6) La structure de presse d'injection.....	7
7-Figure (I.7) L'unité de fermeture.....	8
8-Figure (I.8) L'unité de plastification.....	9
9-Figure (I.9).L'unité d'injection.....	10
10-Figure (I.10) La buse.....	11
11-Figure(I.11) Fonctions de presse.....	11
12-Figure(II.3.2) Buses ouvertes conseillées.....	16
13-Figure(II.3.5.1) Ecoulement spiral à la température de mise en œuvre.....	18
14-Figure(II.3.5.2)Influence de la pression d'injection sur la longueur d'écoulement.....	19
15-Figure (II.3.9) Cycle du moulage par injection	20

Liste des Tableaux:

1- Tableaux III.1. Tableaux de limitation(27)

2- Tableaux. III. 2. facteur et niveau de expérimentale(27)

3- Tableaux.(III. 2). Résultats de expérimentale(29)

4- Tableaux. III. 3. Résultats de expérimentale.....(27)

5- Tableaux III.5. résultats d'optimisation non-linéaire.....(29)

6-Tableaux III.6. résultats d'optimisation à l'aide des s de réponses.....(30)

Nomenclature

ρ	: La mass volumique	Kg m^{-3}
k	: Conductivité	$\text{w m}^{-1} \text{k}^{-1}$
C_p	: Capacité calorifique	J k^{-1}
\vec{f}_v	: force de volume	N
	: la contrainte	N/mm^2
T	: Champ de température	
S	: Abscisse curviligne le long de la cavité	
ϵ	: le vecteur de dimension	
n	: des erreurs	
σ^2	: la variance	

Introduction Générale:

Le moulage par injection est un procédé largement utilisé dans la mise en forme des matières plastique, notamment dans le domaine de l'industrie automobile , électroménager , emballage etc. Ce procédé assure la moindre perte en matière .Il est largement utilisé dans la fabrication en grande séries (moules permanents).

La qualité techno – économique des pièces réalisées dans ce procédé est basée sur la bonne sélection des conditions opératoires. Pour chacun des différentes phases du cycle de moulage , on peut trouver une ou plusieurs conditions principales , telle que : vitesse et temps de remplissage, pression de compactage , température du moule . Le choix optimale de ces paramètres peut améliorer considérablement le bon déroulement de ce phases et ainsi la qualité finale des pièces moulées .

Dans ce travail , nous allons traiter le problème d'optimisation du procédé de moulage par injection en sélectionnant les paramètres opératoires de son cycle.

Le présent mémoire est organisé dans trois chapitre :

Chapitre 1 : constitué des généralités sur le procédé de moulage par injection .

Chapitre 2 : propose une modélisation du cycle de moulage par injection .

Chapitre 3 : se compose d'un cas d'application concernant la sélection optimale des conditions opératoires du cycle pour la fabrication concrète d'une pièce de polymère .

A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the top and bottom edges, framing the text.

Chapitre I

Généralités sur le moulage par injection

A decorative scroll graphic with a black outline and grey circular accents at the corners, framing the text.

Chapitre II

La modélisation du procédé de moulage

A decorative scroll graphic with a black outline and grey shading on the top and left edges, framing the text.

Chapitre III

Optimisation de la qualité des pièces moulées

Conclusion Générale :

La plupart des pièces en thermoplastique sont fabriquées par le procédé de moulage par injection. Il est par conséquent essentiel pour l'ingénieur de connaître cette technique de moulage, de comprendre ses possibilités et ses limitations. Ce procédé consiste à fondre des granulés, donner à la matière fondue une forme fonctionnelle dans un moule et obtenir, après refroidissement, l'objet recherché. Chaque fonction est remplie par une partie de la presse d'injection est qui permet d'obtenir des pièces en plastique injectées sous pression dans un moule.

Les défauts de moulage ont, en général, des causes multiples tels que les bavures Causées de la capacité insuffisante de la presse ou de remplissage incomplet causé de l'air emprisonné dans le mouleetc. La sélection optimale des paramètre opératoires du cycle de moulage peut éliminer la plupart de cas défauts.

Dans ce but, nous avons utilisé l'outil optimisation afin d'améliorer les qualités des pièce moulées .L'utilisation de deux méthodes d'optimisation a permet de comprendre et d'analyser le cycle de fabrication en déterminent le choix optimale des conditions opératoires.

A Partir de la comparaison des résultats des deux méthodes on a trouvé qu'elles peuvent être utilisées suivant la situation de l'utilisateur.

Ce que nous n'avons pas pu le faire dans ce mémoire est l'utilisation de l'optimisation multi-objectif qui assure l'amélioration simultanée de plusieurs critères. Dans de futures travaux, le problème de moulage par injection peut être traité, dans le même contexte, comme un problème d'optimisation à critère multiple.

I.1. Introduction:

Le procédé de moulage par injection est très répandu dans le domaine de la plasturgie car il permet de fabriquer des pièces techniques de manière contrôlée et avec des cadences élevées. Son principe consiste à injecter sous haute pression (plusieurs centaines de bars) un polymère fondu (fluide très visqueux : viscosité de l'ordre de 10^4 Pa.s voir plus) dans une empreinte thermostatée (munie d'un circuit de refroidissement).

La mise en forme des thermoplastiques par injection est l'un des plus importants procédés de transformation des polymères : en termes de volume, il occupe la deuxième place juste derrière le procédé d'extrusion, mais il est en tête en termes de chiffre d'affaires. Dans un contexte économique de plus en plus concurrentiel, les transformateurs se doivent à la fois d'améliorer la qualité de leurs pièces et la productivité du procédé.

De ce fait , le principe du procédé de moulage par injection consiste à injecter une résine de polymères thermoplastiques, préalablement chauffée est injectée dans un moule régulé en température. La température plus basse du moule va alors amorcer la solidification de la résine. Le polymère se solidifiant dans le moule créera un solide épousant la forme et les dimensions de l'empreinte du moule.

I.2.Définition d'un polymère :

Le mot polymère vient du grec « polus » plusieurs, et « meros » partie. Un polymère est une macromolécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif, le monomère (du grec monos: un seul ou une seule, et meros ; partie) , reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes. [1]

I.3 Les types de macromolécules:[1]

I.3.1. Macromolécules linéaire:

Dans ce type il y a deux parties:

- Homopolymères:
- Copolymères

I.3.2. Macromolécules ramifiées :

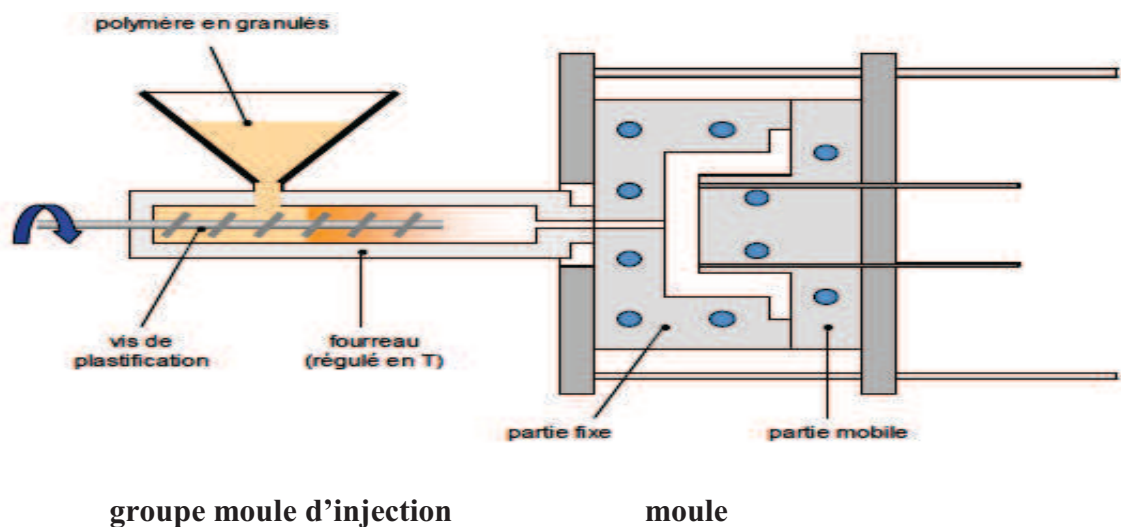
- Homopolymères
- copolymères
- polymère a cycle dans la chaîne

I.4. Procédé d'injection:

Lors d'une opération de moulage par injection, la fabrication de chaque pièce passe par quatre phases principales du cycle d'injection:

I.4.1. La phase de plastification:

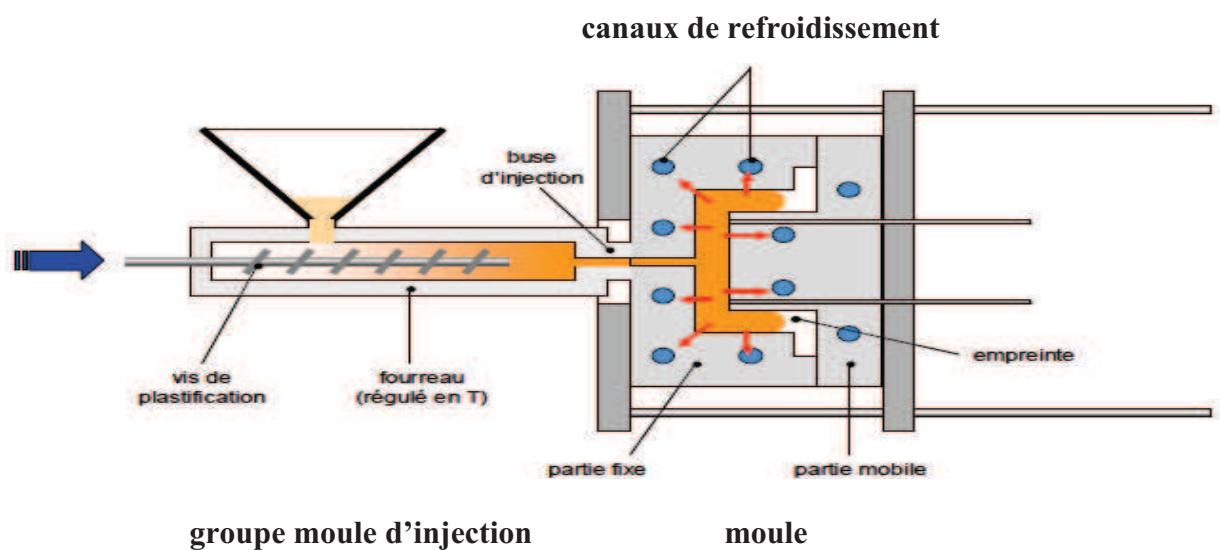
La phase de plastification a pour objectif de faire passer le polymère de l'état solide (sous forme de granulé) à l'état fondu. Cette transformation est réalisée par l'ensemble vis-fourreau dont la fonction est de broyer et de chauffer le granulé pour l'amener peu à peu à l'état fondu. Pour cela, la vis de l'unité possède un mouvement de rotation pour permettre l'autoéchauffement de la matière par malaxage, et de translation pour stocker à l'avant du fourreau la quantité de matière à injecter dans la cavité du moule (Figure I.1). [2]



Figure, I.1: phase de plastification

I.4.2. La phase de remplissage:

Une fois la matière accumulée en tête de fourreau, celle-ci est injectée dans l’empreinte de l’outillage par une avancée de la vis. Cette phase du cycle de transformation est appelée phase dynamique du remplissage. L’avancée de la vis est réglée en débit ou en pression pour maîtriser la vitesse d’injection du thermoplastique dans l’empreinte. Ce remplissage a une durée très courte, par rapport à celle de la phase de refroidissement (Figure I.2). [2]

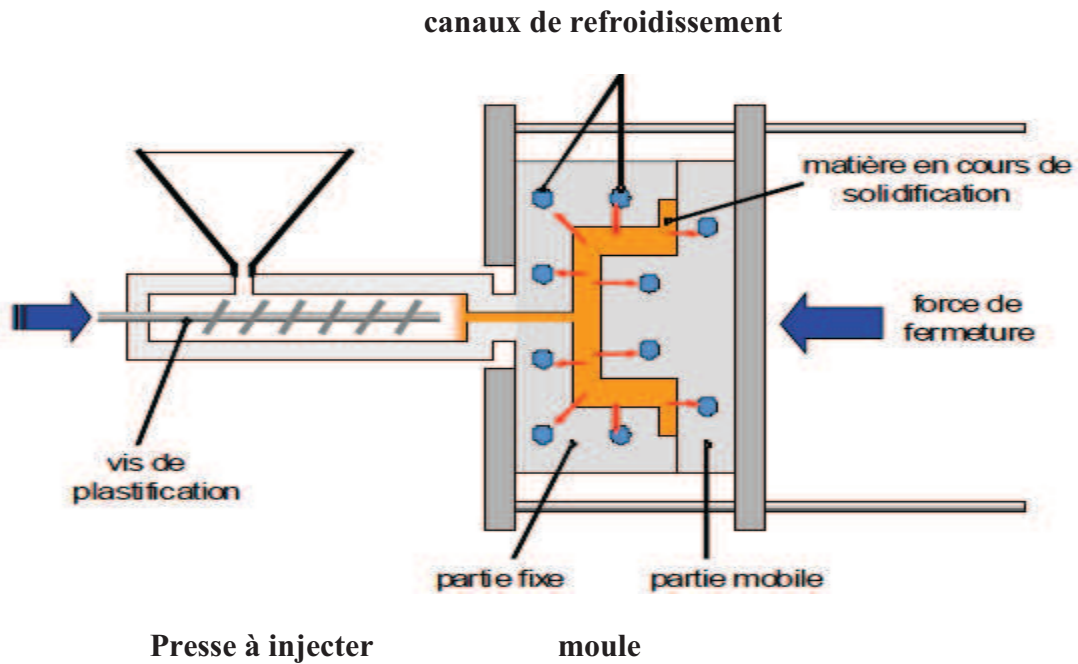


Figure, I.2: La phase de remplissage

I.4.3. La phase de compactage :

La compactage est l’instant clé du procédé d’injection. Il s’agit de l’instant de transition entre la phase de remplissage dynamique et la phase de maintien. A cet instant, le pilotage de l’injection passe d’une régulation en vitesse à une régulation en pression.

En général, on choisit de commuter au moment où l’empreinte est complètement remplie. Cet instant est notifié par la présence d’un pic de pression d’injection prononcé. Cet événement est alors utilisé pour déclencher la commutation. Dès lors où la commutation est enclenchée, la presse applique au niveau du bloc d’injection une consigne de pression de maintien. Ceci a pour objectif de maintenir la matière dans la cavité pour compenser les phénomènes de retrait volumique dus au refroidissement de la matière (Figure I.3). [2]

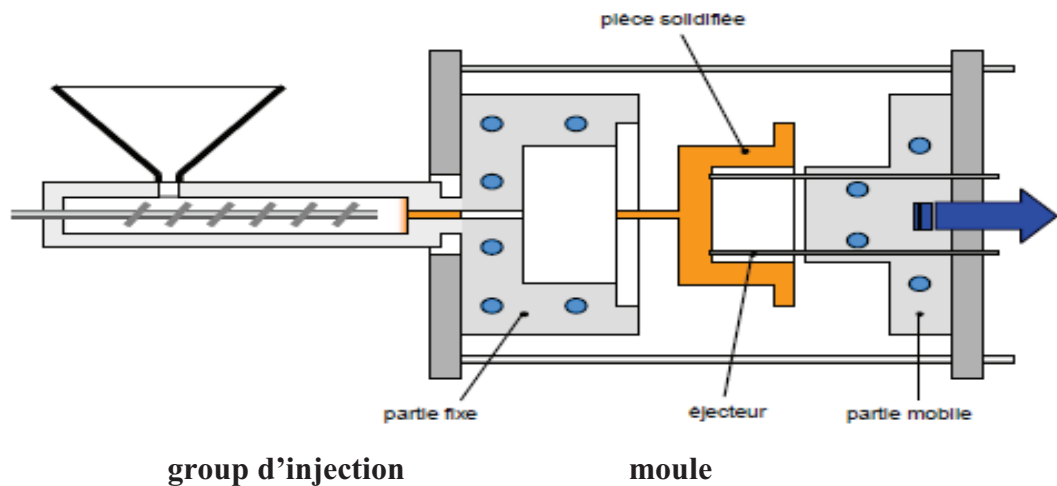


Figure, I.3: La phase de compactage

I.4.4. La phase d'éjection :

La vis de plastification recule avant de commencer un nouveau dosage de matière en vue du cycle suivant, cette opération a pu commencer dès la fin du compactage (Figure I.4).

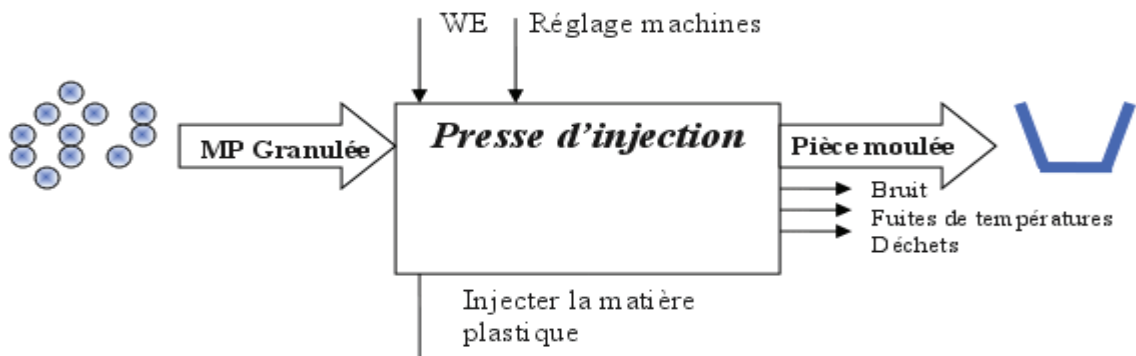
[2]



Figure, I.4 : La phase d'éjection

I.5. Presse à injection :

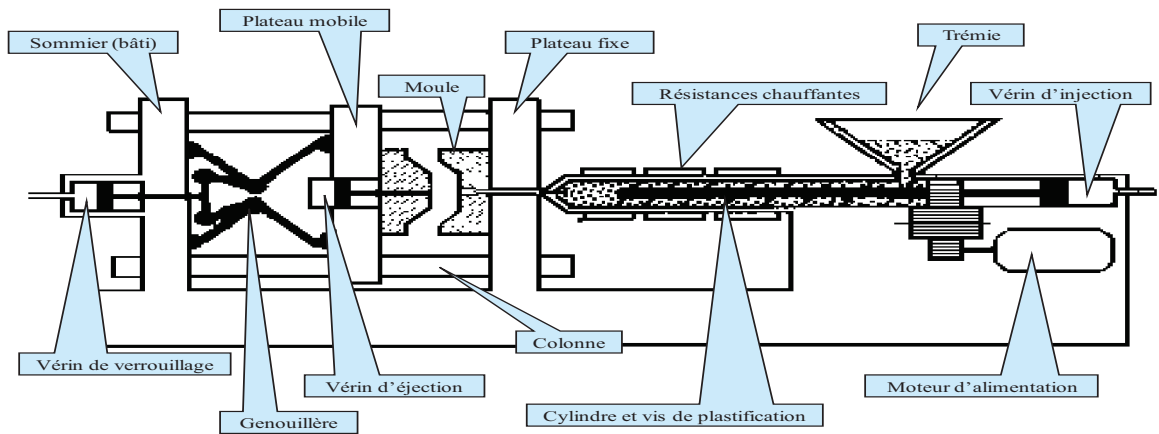
La presse d'injection est une machine qui permet d'obtenir des pièces en plastique injecté sous pression dans un moule (monté sur la presse). L'injection du plastique se fait généralement à haute pression et à température supérieure à la température de transition vitreuse la température se ramollit. A cet état la matière n'est plus solide mais n'est pas aussi liquide. Elle est à l'état visqueux entre les deux états liquide et solide. la matière peut être injectée dans le moule et la matière plastique prend la forme de l'empreinte du moule. Après refroidissement, la pièce est éjectée du moule. Le refroidissement se fait par circulation d'eau froide dans le circuit de refroidissement du moule.



Figure, I.5: Principe de la presse d'injection

I.5.1.La structure de presse d'injection:

La presse d'injection comprend une unité de plastification, qui transforme les granules solides en polymère fondue pour l'injecter ensuite dans le moule. Et une unité de fermeture, à laquelle le moule est fixé. La (figure. I.6) illustre les parties principales d'une presse à injection. Dans le cas des thermoplastiques, le moule est réglé généralement à une température voisine de la température ambiante afin de figer la matière plastique le plus vite possible. [1]



Figure, I.6: La structure de presse d'injection

I.5.2. Le bâti:

C'est ce qui supporte l'ensemble des organes nécessaires, moteur électrique, pompe hydraulique, réservoir d'huile, les canalisations, tous les électro-vannes et les distributeurs. La forme et la position du bâti, on distingue trois types de presse:

Presse horizontale, Presse verticale, Presse universelle.

I.5.1.2. L'unité de fermeture:

Cet ensemble permet la fermeture, l'ouverture) et le verrouillage de la partie mobile de la presse, sur la partie fixe. C'est un organe très important qui doit s'opposer à l'effort d'injection. Elle supporte le système d'éjection. Ainsi, cette unité peut être manœuvrée de plusieurs manières

A. Unité de fermeture mécanique :

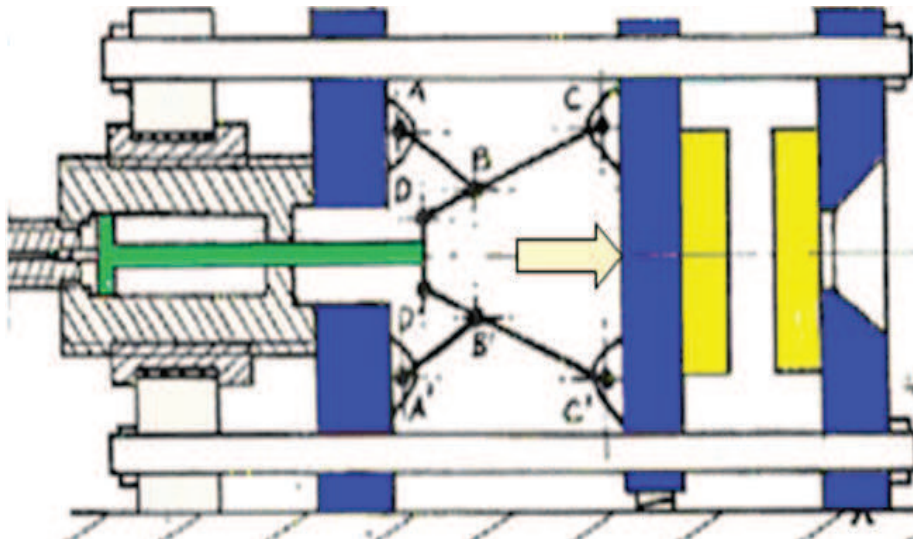
Bien que les mouvements soient assurés par un vérin, elle est appelée mécanique, car l'effort de verrouillage est assuré par les genouillères (arc-boutement).

B. Unité de fermeture hydraulique :

Les mouvements du plateau mobile sont assurés par un gros vérin central qui a pour but de faire l'approche du plateau mobile jusqu'au plateau fixe et d'un vérin plus petit qui assure le verrouillage dans la phase finale de la fermeture.

C. Unité de fermeture mixte :

Ce procédé est un compromis, les mouvements d'ouverture et de fermeture se font uniquement par des genouillères, tandis que le verrouillage est assuré par un ou des vérins hydraulique.

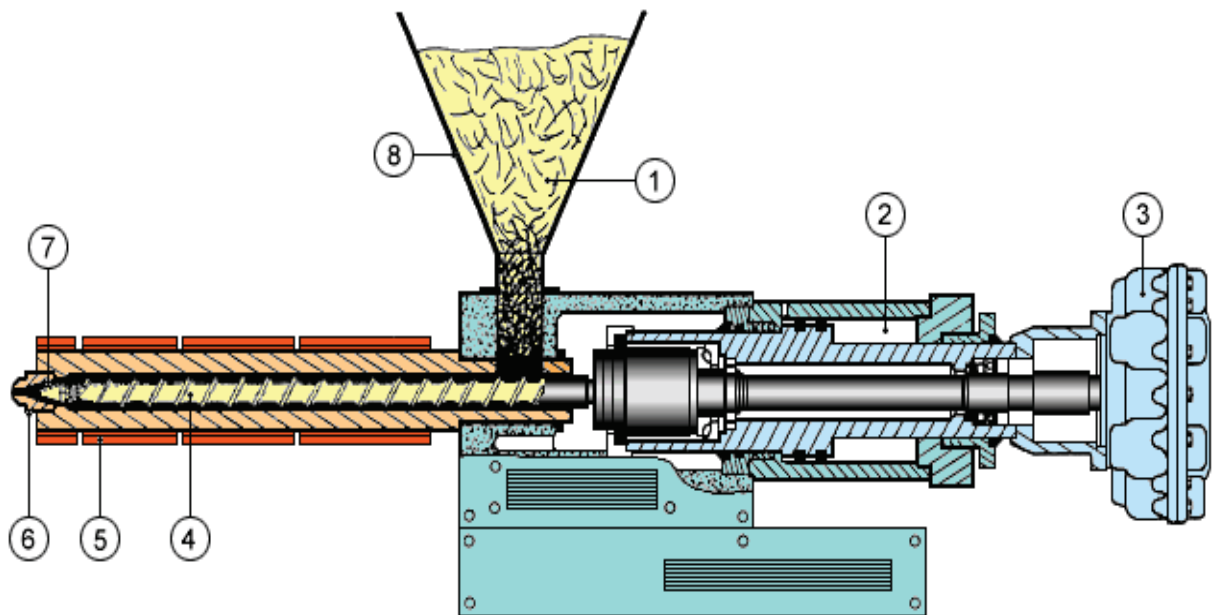


Figure, I.7: L'unité de fermeture

I.5.1.3.L'unité de plastification/injection:

Sous cette désignation on comprend la partie de l'unité d'injection, qui est en contact direct avec la matière plastique à transformer et avec le moule. Ses rôles sont de ramollir la matière plastique de l'homogénéiser de la doser et de l'injecter dans le moule.

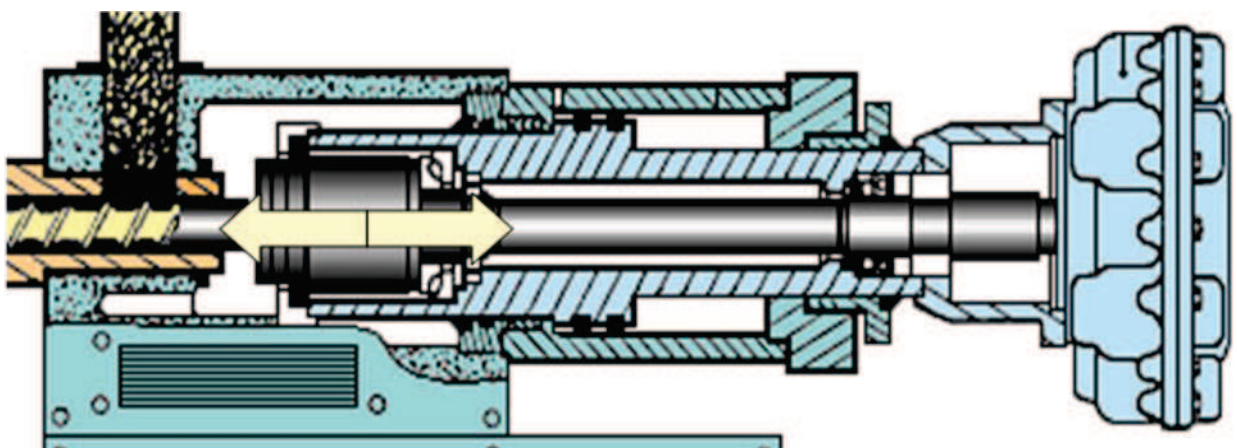
1 – Granulés, 2 – Vérin d'injection, 3 – Moteur de d'alimentation, 4 – Vis sans fin, 5 – Foureau chauffant, 6 – Buse d'injection, 7 – Clapet, 8 - Trémie



Figure, I.8: L'unité de plastification

I.5.1.4.L'unité d'injection:

Le groupe d'injection comprend l'unité de plastification, le vérin d'injection, le groupe d'entraînement de la vis, la buse, ... L'unité est montée sur une glissière à colonnes pour un guidage précis, robuste et avec peu d'entretien. L'ensemble de la glissière est déplacé à l'aide de deux vérins produisant l'effort de contact buse/moule.



Figure, I.9: L'unité d'injection

I.5.3.5. La buse:

Elle doit assurer un contact étanche avec le moule durant l'injection, sa est généralement sphérique ou tronconiques ou planes. Elle doit également présenter une surface de contact réduite avec le moule afin de limiter le refroidissement.

A – Buse d'injection

B – Collier chauffant

C – Nez de presse

D – Clapet

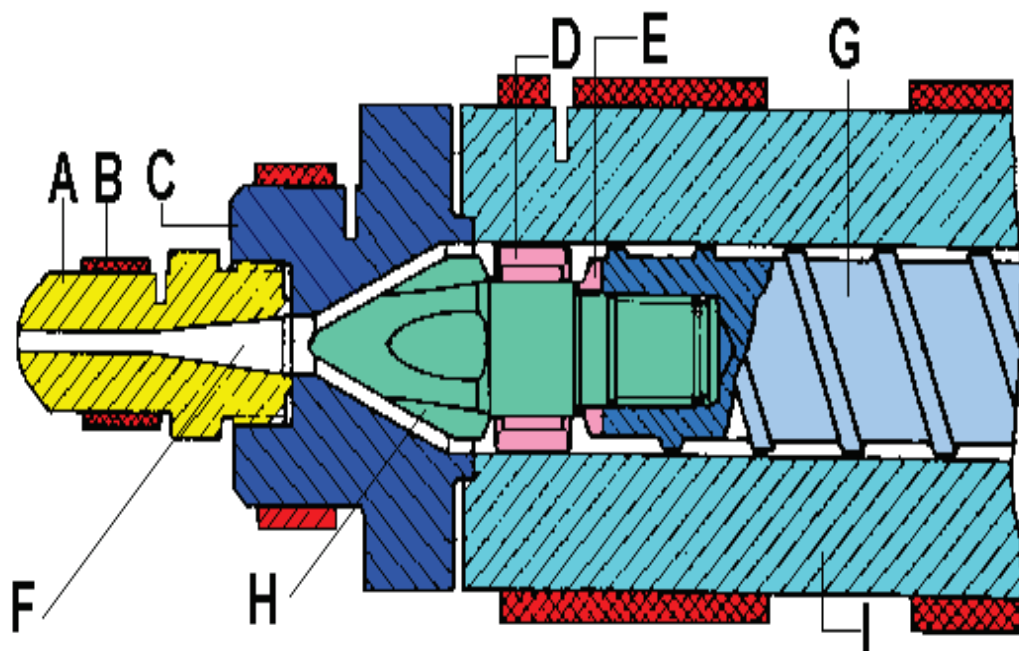
I – Fourreau

E – Siège de clapet

F – Passage matière

G – Vis

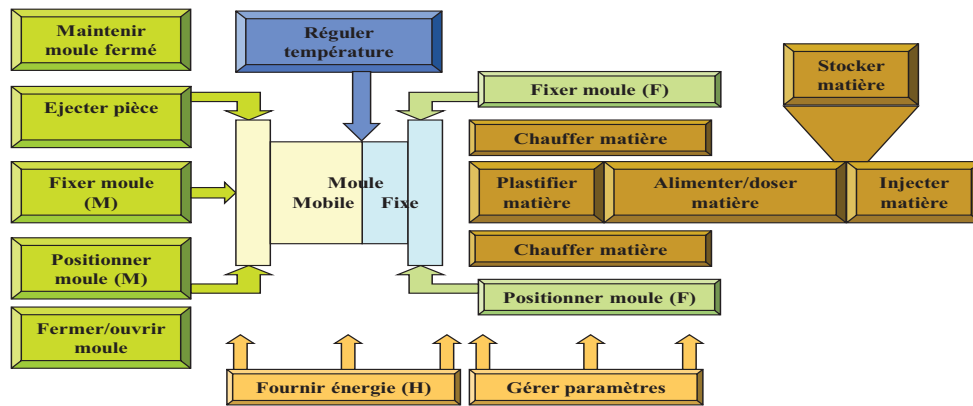
H – Pointe clapet



Figure, I.10: La buse

I.5.2. Fonctions de la presse:

La figure ce dessus présent schématiquement les fonction nécessaires doivent être assurées par la presse.



Figure, I.11: Fonctions de presse

I.6.Conclusion:

Le Procédé de moulage par injection permet une production discontinue, automatique et en série, de pièces en matières thermoplastiques, thermodurcissables et en élastomères, avec une grande précision. Les pièces obtenues, de dimensions et de masses très variables (de quelques grammes jusqu'à 50 kg) ont des applications dans tous les domaines d'activité. À titre d'exemple, nous pouvons citer : la visserie de petites dimensions ; des articles utilisés en médecine et en pharmacie ; des pièces mécaniques telles que des engrenages ; des boîtiers ou enveloppes d'appareils et accessoires informatiques, électroménagers ou électriques ; des jouets; des objets liés à la pratique des sports et des loisirs ; et, pour les plus volumineux, des pare-chocs d'automobiles, des conteneurs de stockage et des éléments de mobilier. La machine à injecter permet :

- De plastifier les matières ;
- De les injecter sous forte pression (500 à 1 500 bar environ), à travers une buse, dans l'empreinte d'un moule en deux ou plusieurs parties ;

- De maintenir le moule en position fermée pendant l'injection avec des forces importantes (de quelques kilo newtons jusqu'à 50 000 kN (5 000 t pour les plus grosses machines actuelles) ;
- D'ouvrir les moules après solidification des pièces ;
- De démouler les pièces obtenues, par le déplacement de dispositif d'éjection.

II.1.Introduction:

Plusieurs phénomènes physiques sont observées selon les différentes étapes du procédé . Lors du remplissage et sous des conditions extrêmes (taux de cisaillement élevé, vitesse importante, augmentation de la pression), la rhéologie des polymères a l'état fondu est prépondérante. L'apparition de la pression de compactage au cours du cycle nécessite la prise en compte de la compressibilité dans les phénomènes physiques mis en jeu. Enfin, durant tout le cycle d'injection, et plus particulièrement durant le refroidissement, les différents paramètres thermo-physiques et mécaniques, tels que la masse volumique, et les modules mécaniques, sont fortement thermo-dépendants et/ou piézodépendants.

De plus, l'interaction thermique variable au cours du cycle entre la matière et le moule est aussi à prendre en compte. Tous ces phénomènes mécaniques et thermiques sont particulièrement complexes. Nous allons les détailler par la suite, en nous attachant aux différentes phases du procédé.

Ce chapitre a pour objective la modélisation du procédé de moulage par injection à travers quelques lois de comportement.

II.2.La physique du procédé:

II.2.1.La phase de remplissage:

Pendant cette phase, les pressions mises en jeu sont faibles, car il suffit de vaincre les pertes de charge. Par contre les vitesses dans la matière sont élevées, relativement aux débits d'injection classiquement utilisés pour ce procédé et pour les polymères. La modélisation du remplissage de l'empreinte par le polymère fondu se fait sur la base de la thermodynamique des milieux continus: [3]

- Conservation de la masse:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad (\text{II.1})$$

- Conservation de l'énergie:

$$\rho C_p \frac{dT}{dt} - \text{div}(\overrightarrow{k \text{ grad } (T)}) - \dot{W} = 0 \quad (\text{II.2})$$

- Conservation de la quantité de mouvement:

$$\operatorname{div}(\sigma + \rho(\vec{f}_v - \vec{\gamma})) = 0 \quad (\text{II.3})$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \rho & \text{mass volumique} \\ k & \text{conductivité} \\ \vec{v} & \text{champ de vitesse} \\ C_p & \text{capacité calorifique} \\ \dot{W} & \text{dissipation visqueuse} \\ \vec{f}_v & \text{force de volume} \\ \vec{\gamma} & \text{force d'inertie} \\ T & \text{champ de température} \end{array} \right.$$

II.2.2. La phase de compactage/maintien:

Les modélisations de cette phase s'appuient généralement sur les modèles de types couches minces; en prenant en compte les hypothèses d'*Hele-Shaw*, avec l'ajout de terme prenant en compte la compressibilité du polymère :

$$\frac{\partial P}{\partial t} \int_{-h}^h \rho x \, dx - \int_{-h}^h \rho \alpha \frac{\partial T}{\partial t} \, dz - \frac{\partial}{\partial x} \left(s \frac{\partial P}{\partial x} \right) \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} \left(\dot{s} \frac{\partial P}{\partial y} \right) = 0 \quad (\text{II.4})$$

Avec :

$$s = \int_{-h}^h \rho \left(\int_0^z \frac{\dot{z}}{\mu} \, dz \right) \, dz \quad (\text{II.5})$$

L'équation de la chaleur est écrite dans le cas compressible, avec l'ajout d'un terme lié à la dilatation et l'autre au travail de la pression. Les forts niveaux de pression rencontrés au cours de la phase de compactage engendrent une déformation du moule non contrôlée. Ces déformations, même si elles sont communément admises, ne sont généralement pas prises en compte, en raison de la difficulté à les estimer. De nombreux auteurs, mettant en évidence la différence de pression entre les calculs et les mesures, expliquent ceci par la déformation du moule. [3]

II.2.3. La phase de refroidissement:

Des lors que le polymère à l'état visqueux rentre dans l'empreinte. Le matériau va se refroidir au contact du moule froid. Les différentes phases au cours du cycle vont coupler ce refroidissement à d'autres phénomènes physiques vus précédemment (influence de l'écoulement, de la pression). Après la phase de compactage, la température élevée du polymère ne procure pas à la pièce une rigidité suffisante pour qu'elle soit manipulée. La

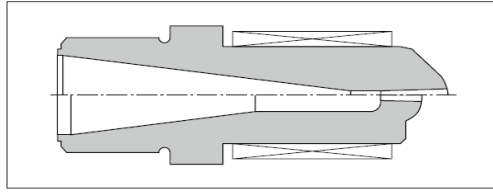
pièce est alors laissée dans le moule en attendant une solidité convenable. Notons que la phase de refroidissement est généralement la plus longue du procédé d'injection, et que la pièce est généralement éjectée du moule alors que la solidification n'est pas complète à cœur. Les phénomènes physiques entrant en jeu durant cette phase, sont généralement les mêmes que pendant le compactage, sans toutefois l'influence de la pression. Le refroidissement, pendant la phase de compactage et la phase de refroidissement, va générer les contraintes résiduelles, source de problèmes dimensionnels et qualitatifs sur la pièce injectée. Les contraintes résiduelles vont alors être seulement générées par le retrait thermique des couches de polymères solidifiés. Pour obtenir un état de contraintes à la fin du refroidissement, il faut considérer le déplacement de toutes les couches solides occasionné par le retrait. Les premières couches à se solidifier, en peau, peuvent se rétracter librement. Par contre, les couches plus à l'intérieur ne pourront pas effectuer le même retrait, puisqu'elles restent solidaires des couches externes ayant déjà effectué leurs retraits. Nous obtiendrons alors un état de contraintes en traction au centre et en compression à l'extérieur. Cette analyse est une première approximation, et ne fonctionne que pour une trempe libre de se rétracter dans toutes les directions, sans prise en compte des effets viscoélastiques et thermomécaniques d'une part du polymère et des conditions aux limites entre le moule et la pièce d'autre part. Il faut bien surprendre en compte l'effet de la pression qui va agir pendant un certain temps sur ces mécanismes. [3]

II.3. conditionnement du procédé de moulage par injection:

Comme nous avons mentionné précédemment, le bon déroulement du cycle d'injection repose sur l'optimisation de chaque phase du cycle. Par contre, une erreur produite dans l'un des phase peut affecté la totalité des phase et ainsi le cycle entier.

II.3.1. Température de la buse:

La température de la buse doit être ajustée de manière à éviter la solidification du produit ou, au contraire, les fuites. Pour un fonctionnement optimum, la température sera régulée indépendamment du cylindre, le thermocouple étant placé près de l'orifice voir figure (II.1). Dans certains cas, pour supprimer les fuites, on conseille de prévoir une décompression (recul de la vis).



Figure, II.1; Buses ouvertes conseillées

II.3.2 Température du moule :

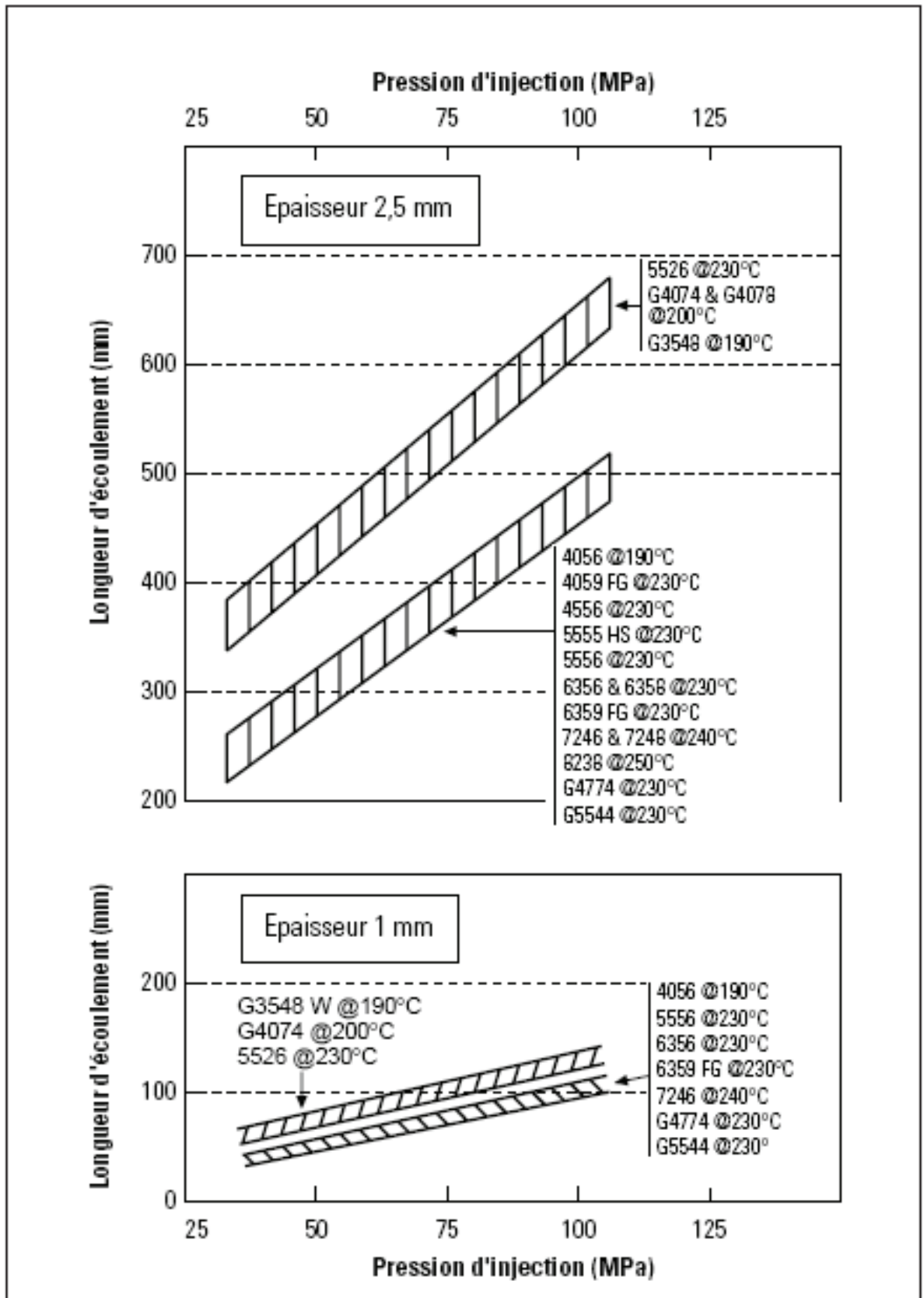
La température du moule est mesurée directement sur la surface de l’empreinte à l’aide d’un thermocouple. La température du moule recommandée pour tous les grades est de 45° C. Elle n’a qu’une influence limitée sur les propriétés mécaniques. L’effet important s’exerce sur le retrait. Les faibles températures de moule réduisent la durée du cycle et améliorent la facilité d’éjection, en particulier, dans le cas des grades souples. Les températures de moule plus élevées améliorent la qualité de l’aspect de surface.

II.3.3. Vitesse d’injection:

La vitesse d’injection varie avec l’épaisseur et la géométrie de la pièce. Les pièces minces doivent être injectées rapidement avant que le polymère ne refroidisse. D’une manière générale, les vitesses de remplissage élevées améliorent l’aspect de surface mais elles peuvent provoquer du jetting ou des turbulences susceptibles qui se traduisent par des défauts superficiels.

II.3.4. Pression d’injection et de maintien:

La pression d’injection doit être réglée à la valeur minimum requise pour assurer le remplissage de l’empreinte. Pour les grades rigides (au dessus de 55 Shore D) le réglage de la pression de maintien doit être égal à celui de la pression d’injection. Pour les grades souples (au dessous de 47 Shore D) la pression de maintien doit être progressivement diminuée. Une pression de maintien ou d’injection excessive peut se traduire par le bourrage du moule et l’adhésion de la matière sur l’empreinte, particulièrement dans le cas des grades souples. Une pression élevée réduit le retrait apparent au moulage, mais augmente le risque de bavures. La figure (II.3) illustre la longueur d’écoulement de divers grades, et la figure (II.2) l’influence de la pression d’injection.



Figure, II.2;Ecoulement spiral à la température de mise en oeuvre

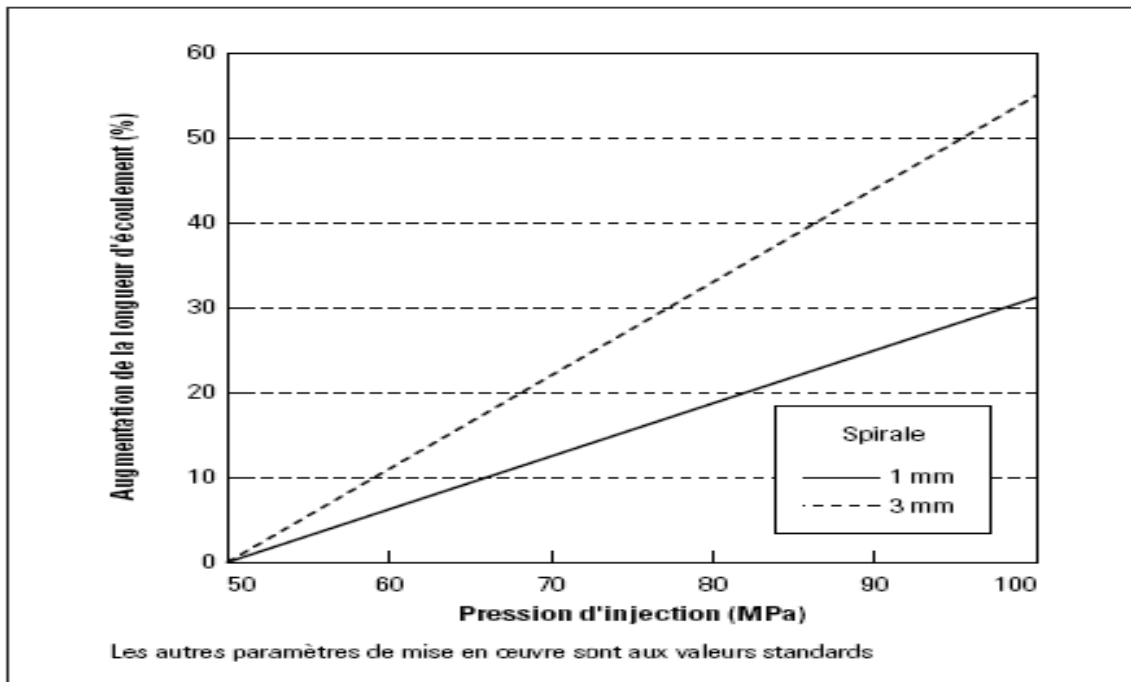


Figure , II.3; Influence de la pression d'injection sur la longueur d'écoulement (à la température de mise en oeuvre recommandée)

II.3.5. Temps d'avance de la vis :

C'est la somme des temps d'injection et de maintien. La pression de maintien doit être appliquée le temps nécessaire pour éviter les retassures et permettre la solidification du seuil. En général le temps de maintien est plus court pour les grades rigides.

72 D – 82 D 4 à 5 s/mm (pour les pièces d'épaisseur supérieure à 4 mm)

55 D – 63 D 5 à 6 s/mm

35 D – 47 D 7 à 8 s/mm

Les temps d'injection + maintien ont une forte influence sur le retrait.

II.3.6. Vitesse de rotation de la vis/contrepression :

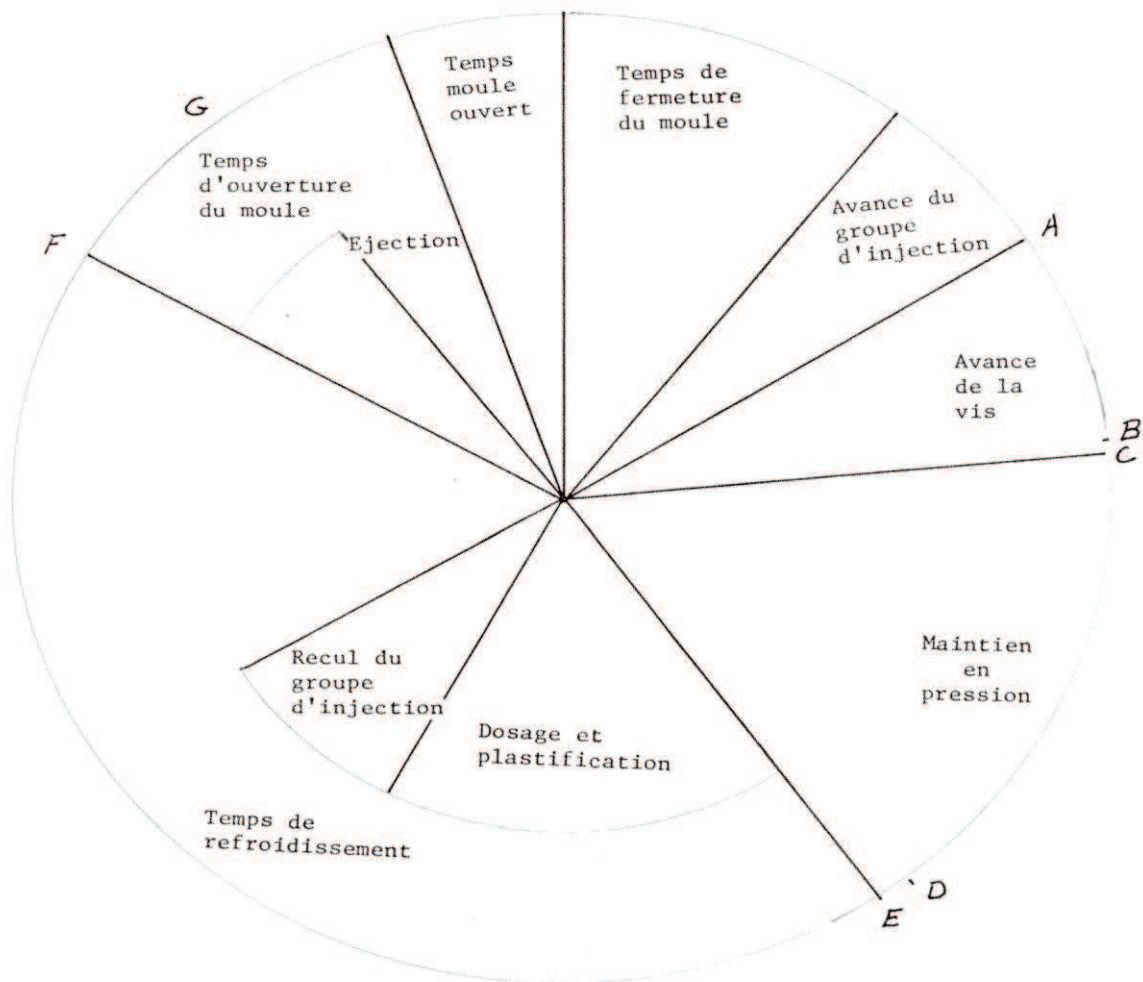
La vitesse circonférentielle de la vis ne doit pas dépasser 0,2 m/s pour éviter le cisaillement du polymère. Une certaine contrepression (0,2 à 1 MPa) peut être appliquée pour améliorer l'homogénéité de la matière. Si l'on incorpore des additifs (des concentrés colorants par exemple), il peut être nécessaire, pour obtenir une homogénéité suffisante, de réduire la vitesse de la vis et d'augmenter la contrepression.

II.3.7. Temps de refroidissement :

Le temps de refroidissement, n'étant généralement pas indispensable pour les grades rigides, son réglage sera de 1 à 2 secondes supérieur à celui du temps de plastification. Pour les grades souples (55 à 35 D), le temps de refroidissement sera ajusté de manière à éviter le «marquage» des éjecteurs.

II.4. Cycle d'injection:

La figure ci-dessous présente le cycle d'injection. La continuité de ce cycle assure la production en série des pièces. Ainsi, les différentes tâches de cette opération sont étroitement reliées l'une à l'autre à éclairer.



Figure, II.4: Cycle du moulage par injection

II.5.Conclusion

Ce chapitre nous a permis de comprendre les différentes phases de moulage par injection (le remplissage, le compactage , le refroidissement) . Nous avons vu, d'une manière générale, que le bon déroulement du procédé et la bonne qualité des pièces produites sont basés sur la sélection optimale des paramètres de réglage de chaque phase du cycle d'injection

Cette étude va sans doute aider à la modélisation du problème d'amélioration de la qualité des pièces contenue dans le prochain chapitre.

III.1.Introduction:

L'intérêt de l'optimisation du processus de moulage par injection réside dans l'amélioration de certains paramètres techno- économique, appelés critères d'optimisation. Ce résultat peut être réalisé par la sélection des conditions opératoires du procédé de moulage par injection , dit variables d'optimisation .

Dans ce chapitre on va étudier l'optimisation de la qualité des pièces moulée par injection en utilisant deux méthodes d'optimisation déférente: L'optimisation non-linéaire et l'optimisation à l 'aide des surface de réponse .

III.2. Problèmes d'optimisation :

L'optimisation est une branche des mathématiques, cherchant à analyser et à résoudre analytiquement ou numériquement les problèmes qui consistent à déterminer le meilleur élément d'un ensemble, au sens d'un critère quantitatif donné. Ce mot vient du latin optimum qui signifie le meilleur. L'optimisation joue un rôle important en recherche opérationnelle (donc en économie et microéconomie), dans les mathématiques appliquées (fondamentales pour l'industrie et l'ingénierie), en analyse et en analyse numérique.

III.2.1.Définition:

Un problème d'optimisation se définit comme la recherche du minimum ou du maximum d'une fonction donnée L'évolution des variables de cette fonction est souvent limitée dans une certaine partie de l'espace de recherche. On aura donc un problème d'optimisation sous contraintes .

III.2.2.Paramètres d'un problème d'optimisation:**a –les variable:**

Les variables du problème peuvent être de nature diverses (réelle, entière, booléenne, ..etc.) et exprimer des données qualitatives .

b- La fonction-objectif:

La fonction-objectif représente le but à atteindre pour le décideur (minimisation du coût , de durée de vie , etc.). Elle définit un espace de solution potentielles au problème .

c- l'ensemble de contraintes:

L'ensemble de contraintes définit des conditions sur l'espace d'état que les variables doivent satisfaire. Ces contraintes sont souvent des contraintes d'inégalité ou d'égalité et permettent en général de limiter l'espace de recherche.

III.2.3. Classification:

III.2.3.1. problème d' optimisation mono –objectif ou multi-objectif :

Un problème d'optimisation mono –objectif est basé sur l'amélioration d'un seul critère sous l'ensemble des contraintes . Ces problèmes peuvent être multi variable ou seul variable

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimiser ou Maximiser } f(\vec{x}) \\ \mathbf{g}(\vec{x}) \leq 0 \Leftrightarrow \mathbf{g}(\vec{x}) = g_j (\vec{x}) \\ \vec{\mathbf{h}}(\vec{x}) = 0 \Leftrightarrow \vec{\mathbf{h}}(\vec{x}) = h_k (\vec{x}) \\ \text{Min} \leq \vec{x} \leq \text{Max avec } \vec{x} = x_i \\ \text{ansi que } \mathbf{x} \in \mathbb{R}^i , \mathbf{g}(\mathbf{x}) \in \mathbb{R}^i , \mathbf{h}(\mathbf{x}) \in \mathbb{R}^k \end{array} \right. \quad \text{(III.1)}$$

$f(\vec{x})$:fonction objectif ou critère d'optimisation.

$g_j (\vec{x})$ contrainte d'inégalité, j c'est le nombre d'inégalité.

$h_k (\vec{x})$ contrainte d'égalité k c'est le nombre d'égalité.

\vec{x} La avalure de variable i c'est le nombre de variable.

Tout les énoncés et définition seront donnés dans le cadre de problèmes de minimisation.

Un problème d'optimisation multi-objectif consiste à améliorer simultanément plusieurs critères sous l'ensemble des contraintes. Ces problèmes peuvent être multi-variable . Une action (ou un vecteur de décisions)sera notée:

$$X= (x_1 , x_2 , x_3 \dots\dots\dots, x_k) \quad \text{(III.3)}$$

Avec x les variables du problèmes et n le nombre de variables . Le vecteur de fonction objectif sera noté F :

$$F(X) = (f_1(x), f_2(x), f_3(x), \dots\dots\dots, f_k(x)) . \quad \text{(III.4)}$$

Avec f_i les objectifs ou critères de décision et k le nombre d'objectifs .Nous considérons que les objectifs sont des fonctions de minimisation. Les contraintes (Contraintes d'égalité ou d'inégalité)seront notées:

$$h_j (x)= 0 \text{ avec } j=(1,\dots,l) \text{ , et } C_i (X) \leq 0 \text{ avec } i= 1,\dots,m \tag{III.5}$$

Après les formes ((3),(4),(5))nous trouvons.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Minimiser } F(x) = (f_1(x), f_2(x), f_3(x), \dots, f_k(x)) \\ \text{avec} \\ X_{\min} \leq X \leq X_{\max} \text{ pour : } p = 1, \dots, n \\ h_i(x) = 0 \text{ pour: } i = 1, \dots, l \\ C_i(x) \leq 0 \text{ pour: } j = 1, \dots, m \end{array} \right. \tag{III.6}$$

III.2.3.2. Problème d'optimisation sans ou avec contrainte:

Le problème d'optimisation sans contrainte peut se formuler par :

$$\left\{ \begin{array}{l} f(\vec{x}) \text{ fonction objectif} \\ x \in R^n \\ \vec{x} \min \leq \vec{x} \leq \vec{x} \max \end{array} \right. \tag{III.7}$$

C'est un système basé uniquement sur une fonction –objectif ,nous recherchons des solution approchés pour des système impossible en résolvant un problème d'approximation des moindre carrés ainsi qui conserve les condition de limitation de variable. D'autre part ,un problème optimisation avec contrainte s'écrit de la manière suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min ou max } f(\vec{x}) \\ x \in s \subset R^n \\ \text{sous les contriantes} \\ g_j(\vec{x}) \leq 0 \text{ pour: } j = 1, \dots, m \\ h_k(\vec{x}) = 0 \text{ pour: } k = 1, \dots, n \end{array} \right. \tag{III.8}$$

$g_j(\vec{x})$: Contrainte d'inégalité , (j) : c'est le nombre d'inégalité .

$h_k(\vec{x})$: Contrainte d'inégalité (k) : c'est le nombre d'inégalité .

III.2.3.3.Problème d'optimisation liniaire ou non liniaire:

Dans une problème d'optimisation on a comme objectif de résoudre un système liniaire . toutes les équations soit la fonction objectif ou les contraintes sont linières. La modélisation du problème est telle que :

$$\begin{cases} f(\vec{x}) \text{ fonction objectif} \\ A.\vec{x} - b^* \leq 0 & (1) \\ A.\vec{x} - b^* = 0 & (2) \\ \vec{x}_{min} \leq \vec{x} \leq \vec{x}_{max} \end{cases} \quad (\text{III. 9})$$

- (1) Equation de contraint inégalité
 (2) (Equation de contraint inégalité égalité

Tandis que la grande difficulté d'un problème de conception provient du fait qu'il s'agit d'un problème d'optimisation non linéaire et implicite dans les variables de conception . Les méthodes d'approximation les plus populaires pour résoudre les problèmes non linéaires étant la méthode de gradient , méthode de pénalité intérieure et méthode de Newton Raphson...etc. La forme générale d'un problème d'optimisation est la suivante :

$$\begin{cases} \min f(\vec{x}) \\ \vec{x} \in \mathbb{R}^n \\ \text{sous des contrainte} \\ \vec{g}(\vec{x}) \leq 0 \\ \vec{h}(\vec{x}) = 0 \end{cases} \quad (\text{III. 10})$$

Ou les fonction f ,g et h sont typiquement non – linéaires.

III.3.Proposition du problème:

La modélisation de la qualité des pièces moulées concerne l'étude technique et économique du procédé

La qualité des pièces obtenues par ce procédé peut être déterminée à partir du changement des propriétés du matériau après le cycle de moulage. Le changement de la densité du matériau d'une pièce produit une variation considérable des propriétés physiques et mécaniques de cette pièce. D'autre part ,et en connaissant le volume du moule, tout changement de la masse de matière produit un changement de la densité. Par conséquent, la différence entre le poids réel et le poids théorique de la pièce peut déterminer le changement de la densité et ainsi des propriétés de la pièce.

Le poids d'une pièce moulée par injection est influencé par : la phase de remplissage (temps de remplissage PT et vitesse remplissage IV), la phase de compactage (pression de compactage PP) et la phase de refroidissement (température de moule MT).

De ce fait ,les variables considères pour ce problème sont : PT,IV,PP,MT.

Un autre paramètre technologique liée à l'aspect économique du procédé, la consommation en énergie. La rentabilité du procédé est basée, dans un grand part, sur ce paramètre.

Dans ce problème ,nous avons comme tâche la minimisation d'erreur en poids (Le poids réel moins le poids théorique), sous la contrainte liée à la consommation d'énergie ($ECC \leq ECC^*$).

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min } PW - PW^* \\ \text{sous les contraintes} \\ PT_{\min} \leq PT \leq PT_{\max} \\ IV_{\min} \leq IV \leq IV_{\max} \\ PP_{\min} \leq PP \leq PP_{\max} \\ MT_{\min} \leq MT \leq MT_{\max} \\ ECC - ECC^* \leq 0 \end{array} \right. \quad (\text{III.11})$$

A cause de la complexité des phénomènes inclus dans le procédé du moulage par injection, la formulation mathématique du poids réel des pièces moulée ou la consommation en énergie devient impossible. L'expérimental peut devenir une issus efficace de ce problème. En utilisant l'approximation, des formes analytiques peuvent être tirées des résultats des expériences .

III.4. Application:

On utilisant expérimentale de (lu et al) qui dit ; Toutes les expériences sont menées sur une Chen Hesong vis à mouvement de machine alternatif de moulage par injection, le type de modèle MJ55, situé dans le centre de traitement des polymères et systèmes (CPPS) au Fok Ying Tung Graduat école, Hong Kong Université des sciences et technologies (HKUST) le materail est un polyéthylène haute densité (HDPE) le moule est un moule personnalisé avec plat cavité. PW est sélectionné comme une qualité de réponse, qui se mesure par un Dertork grande échelle précision électronique (Tiangian,china ; précision :0.001g) et consommation d'énergie (ECC) est considéré comme la norme de l'évaluation de consommation d'énergie, ce qui se mesure par un compteur d'énergie électrique de haute précision (huayuan DTS151,Nanging, China. Les limitations des variables de problème sont donne dans le tableau III.1. Lors de la conception expérimental, PT et IV prennent trois niveau , tandis que PP et MT prennent quatre niveaux (tableaux III. 2). d'énergie (ECC) est considéré comme la norme de l'évaluation de consommation d'énergie, ce qui se mesure par un compteur d'énergie

électrique de haute précision (huayuan DTS151, Nanning, China. Les limitations des variables de problème sont données dans le tableau III.1. Lors de la conception expérimentale, PT et IV prennent trois niveaux, tandis que PP et MT prennent quatre niveaux (tableaux III.2). [4]

Tableaux III.1. Tableaux de limitation: [4]

Paramètre	PT _{min} (s)	PT _{max} (s)	IV _{min} (min)	IV _{max} (min)	PP _{min} (min)	PP _{max} (bar)	MT _{min} (°C)	MT _{max} (°C)
Valeur	4	6	30	40	25	40	190	220

Tableaux III.2. niveaux de expérimentale: [4]

niveau	PT(s)	IV(mm/s)	PP(bar)	MT(°C)
1	4	30	25	190
2	5	35	30	200
3	6	40	35	210
4			40	220

La combinaison des niveaux de chaque variable produit douze points de mesures. La réponse de PW et ECC dans le tableau III.3. [4]

Tableaux. III.3. Résultats de expérimentale: [4]

N°	PT (s)	IV (mm/s)	PP (bar)	MT (°C)	PW (g)	ECC (kJ)
1	4	30	25	190	20.973	64.35
2	4	30	40	220	20.850	67.86
3	4	35	30	200	20.869	63.18
4	4	40	35	210	20.872	64.35
5	5	30	40	190	21.151	65.61
6	5	35	30	210	20.974	69.26
7	5	35	35	200	20.990	66.34
8	5	40	30	220	21.031	68.04
9	6	30	25	200	21.090	68.04
10	6	30	40	210	21.068	65.52
11	6	40	25	220	21.143	69.55
12	6	40	35	190	21.201	68.04

Les degrés de sensibilité de PW et ECC pour chaque paramètre sont présentés dans la figure III.1.

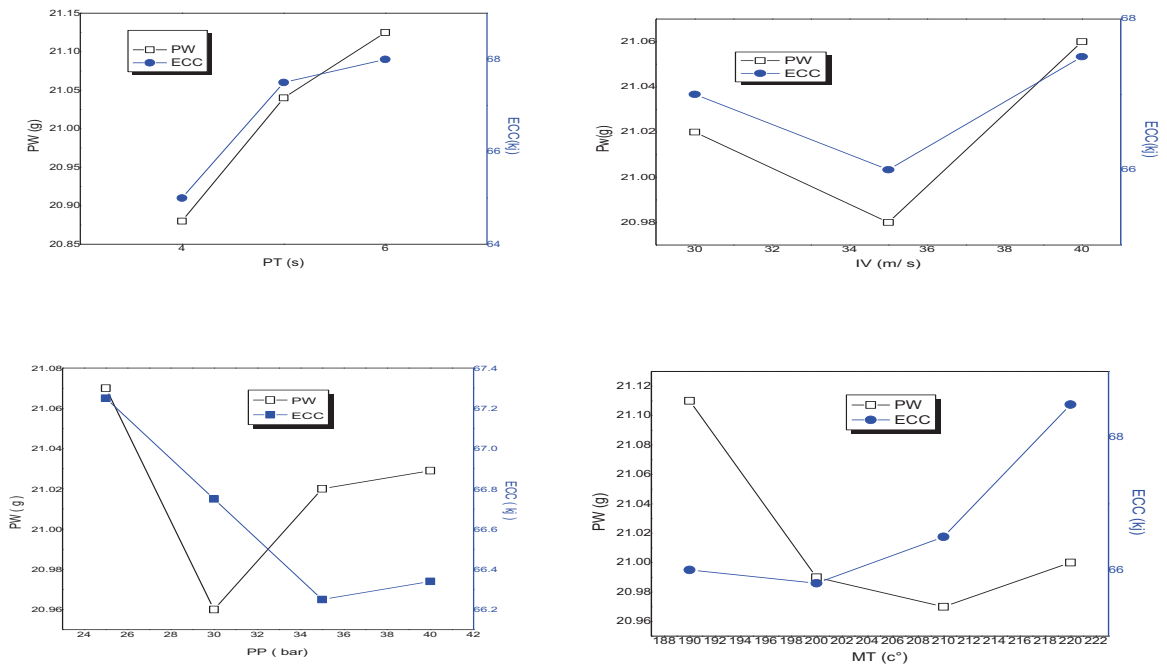


Figure , III.1:La variation de (PT,IV,PP,MT) en fonction de PW et ECC

L'utilisation de la fonction « regstats » de Matlab a permet l'approximation du poids réel PW et la consommation en énergie ECC. Cette fonction utilise plusieurs modèles:

Le modèle linéaire :

$$Y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i \tag{III.12}$$

Le modèle interactive:

$$Y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{i<j}^n \alpha_{ij} x_i x_j \tag{III.13}$$

Le modèle quadratique :

$$Y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{i<j}^n \alpha_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n \alpha_{ii} x_i^2 \tag{III.14}$$

Sachant la nature non linéaire des deux paramètres (PW et ECC) en fonction des variables du problème (PT,IV,PP,MT), nous voyons que le modèle quadratique peut donner une bonne précision à l'approximation .

Posons : $x_1 = PT, x_2 = IV, x_3 = PP, x_4 = MT$, PW et ECC sont donnés respectivement :

$$PW = -0.19748 x_1^2 + 0.014666 x_2^2 + 0.0011374 x_3^2 - 0.00061468 x_4^2 - 0.1931 x_3 + 0.24218 x_4 - 0.02491 x_1 x_2 + 0.017018 x_1 x_3 + 0.011911 x_1 x_4 - 0.0079836 x_2 x_3 - 0.0030552 x_2 x_4 + 0.0014448 x_3 x_4$$

$$ECC = -1.4278 x_1^2 - 0.03561 x_2^2 + 0.036385 x_3^2 + 0.011349 x_4^2 + 5.9333 x_3 - 0.57109 x_4 + 0.43436 x_1 x_2 - 0.1049 x_1 x_3 + 0.0063586 x_1 x_4 + 0.22529 x_2 x_3 - 0.03672 x_2 x_4 - 0.075612 x_3 x_4$$

III.4.1. Optimisation non linéaire:

L'utilisation de la fonction «fmincon» sur MATLAB nous a permis de résoudre notre problème d'optimisation (non-linéaire avec contrainte), en utilisant la méthode des gradients. L'utilisation de cette fonction exige une déclaration de la fonction-objectif et des contraintes.

Dans notre situation l'utilisation de la chaîne de caractères devient trop pénible et il faut s'en remettre aux fichiers «m». En outre, cela permet de présenter l'expression du critère d'optimisation dans un fichier séparé. Les fonctions contraintes seront présentées de la même manière. Cette présentation donne la possibilité d'appeler le critère et des contraintes à l'application dans la syntaxe de la fonction «fmincon».

Le modèle d'optimisation mono-objectif est présenté par le système suivant:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min } PW - PW^* \\ \text{sous les contraintes} \\ 4s \leq PT \leq 6s \\ 30\text{mm/s} \leq IV \leq 40\text{mm/s} \\ 25\text{bar} \leq PP \leq 40\text{bar} \\ 190^\circ\text{C} \leq MT \leq 220^\circ\text{C} \\ ECC - ECC^* \leq 0 \end{array} \right. \quad (\text{III.15})$$

Où $PW^* = 21 \text{ g}$, $ECC^* = 75 \text{ kJ}$.

Enfin la résolution du problème est réalisée à l'aide d'un programme implémenté sur Matlab en utilisant les données suivantes:

une limitation supérieure sur x: $lb = [6,40,40,220]$

une limitation inférieure sur x: $ub = [4,30,25,190]$

Une solution de départ: $x_0 = [5,35,32.5,205]$

Les résultats d'optimisation sont donnés sur le tableau III.4:

Tableaux III.4. Résultats d'Optimisation non linéaire:

PT (s)	IV(mm/s)	PP (bar)	MT (°C)	PW (g)	ECC (kJ)
4.0000	37.1992	40.0000	220.0000	20.0895	69.8502

III.4.2. L'optimisation à l'aide des surface de réponse :

L'utilisation de la fonction « quadprog » de MATLAB nous a permet de résoudre des problèmes de programmation quadratique , en utilisant la surface de réponse, L'utilisation de la fonction «quadprog» exige une matrice Symétrique de partie non linéaire de la fonction-objectif, et les coefficients de la partie linéaire de fonction-objectif ,et les coefficients linéaires de la contrainte.

La modèle d'optimisation retenu sera formulé comme suit:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{optimiser } PW(x) \\ \text{sous les contraintes} \\ 4s \leq PT \leq 6s \\ 30\text{mm/s} \leq IV \leq 40\text{mm/s} \\ 25\text{bar} \leq PP \leq 40\text{bar} \\ 190^{\circ}\text{C} \leq MT \leq 220^{\circ}\text{C} \\ ECC - ECC^* \leq 0 \end{array} \right. \quad (\text{III.17})$$

Les résultats d'optimisation à l'aide des s de réponses sont donnés sur le tableaux III.5:

Tableaux III.5. résultats d'optimisation à l'aide des s de réponses:

PT (s)	IV(mm/s)	PP (bar)	MT (°C)	PW (g)	ECC (kj)
4.0000	36.5098	33.8155	220.0000	19.1347	71.1166

III.5Discussion:

Dans cette application ,la sélection optimale des paramètres opératoires du cycle de moulage d'une pièce est réalisée de deux différentes méthodes. La première consiste à formaliser un problème de minimisation de l'erreur en poids sous la limitation de la consommation en énergie . Cette méthode utilise, après l'approximation ,un algorithme d'optimisation non-linéaire basé sur l'amélioration itérative de la solution optimale en démarrent d'une solution initiale prédéterminé. Quanta la deuxième, elle consiste à optimiser la fonction qui représente le poids réel , sous la contrainte de la consommation d'énergie en utilisant les surfaces de réponse .

D'un point de vue optimalité, on trouve que la solution obtenue de la première méthode est plus fiable .Elle assure un erreur minimale par rapport à celui obtenu de la deuxième méthode. Par contre, et du point de vue simplicité , la deuxième méthode ne

demande ni la formalisation d'un problème d'optimisation ni la détermination d'une solution initiale.

D'après cet analyse, on trouve que l'avantage de la première méthode est l'inconvénient de la deuxième et le contraire. Par conséquent, suivant la situation du décideur les deux méthodes peuvent être utiles.

Référence:

- [1] Djoudi Tarek, Djemal Hocine, Étude de la phase de remplissage du moulage par injection dans le cas d'un moule secteur , mémoire d'ingénieur, université Mohamed khider BISKRA, 2001.
- [2] Gonei Kasmir. Développement d'un outil de design pour les buse thermique des moules a canaux chauds , Thèse de doctora,Ecole polytechniques de montréal canada, 1999.
- [3] Mikael GUEGUEN, Couplage thermomécanique appliqué au procédé d'injection Prise en compte de la cristallisation, Thèse de doctora, Université de Bretagne sud, 2005.
- [4] N. Lu, G. Gong, Y. Yang, J. LU, Multi-objective process parameter optimization for energy saving in injection molding, Journal of Zhejiang University –Science A (Applied physics & Engineering) , 13(5):382-394, 2012.
-
-

RESUME:

Dans ce travail , nous présentons l'étude d'optimisation des paramètres opératoires du procédé de moulage par injection .La modélisation du cycle de ce procédé à permet , entre outre, la compréhension et l'analyse de ce procédé .En traitent un cas d'application pour une pièce moulée par injection , les qualités technique et économique sont améliorées par le choix optimale des conditions opératoires en minimisent l'erreur en poids de la pièce et en limitant la consommation en énergie .

mot clés : moulage par injection ,la vitesse d'injection, temps de remplissage ,pression de compactage le température de moule, Condition de moulage

الملخص

في هذا العمل المتواضع ، فإننا نقدم دراسة تحسين معايير لعملية القولبة بالحقن النمذجة لهذه العملية تسمح، النوعية التقنية و الاقتصادية تتحسن وذلك بختيارنا ، سندرس حالة تطبيقية لقطعة مقولبة ، الفهم و تحليل العملية الشروط الاحسن وذلك بتتقيص الأخطاء في الوزن وبتحديد الطاقة المستهلكة.

الكلمات المفتاحية. القولبة بالحقن، وقت الشحن، ضغط الرص، درجة الحرارة القالب، شروط القولبة.

SUMMARY:

In this work, we present the study of optimization of operating parameters of the injection molding process. Modeling cycle of this process allows, among addition, understanding and analysis of this process. Process in a case application for an injection molded part, the technical and economic qualities are enhanced by the optimal choice of operating conditions minimizes the error in the weight and limiting energy consumption.

key words : Injection molding , injection velocity, charging time ,compaction pressure ,molding condition ,mold temperature