



LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES
Génie Electrique

RAPPORT DE FIN D'ETUDES

Intitulé :

*Etude de moulage par injection et
amélioration des pièces effectuées*

Réalisé Par :

NEKKAB SANAE
MRIKA NAIMA

Encadré par :

Pr TAJDINE LAMCHARFI (FST FES)

Mr EL-HAMDAOUI OMAR (CEAC FES)

Soutenu le 9 Juin 2018 devant le jury

Pr TAJDINE LAMCHARFI (FST FES)

Pr MECHAQRANE ABDELLAH (FST FES)

Pr ABDI FARID (FST FES)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

*Nous dédions ce travail,
Comme preuve de respect, de gratitude, et de reconnaissance :*

A Nos très chers parents,

*Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements
qu'ils nous ont apportés au cours de ce projet. Ils ont tout fait pour notre
bonheur et notre réussite.*

A Nos frères et sœurs,

Pour votre soutien et encouragements.

A Nos chers ami(e)s,

*Pour les moments que nous avons passé ensemble veuillez trouver ici l'expression de notre
gratitude.*

A tous Nos professeurs,

Pour votre soutien et vos conseils,

Une spéciale dédicace aux membres de club espoir, veuillez trouver ici

Nos sincères gratitudes et reconnaissances.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Merci infiniment

Remerciements

Nous tenons d'abord à exprimer nos vifs remerciements et notre profonde gratitude à tous les professeurs du département Génie Electrique, spécialement aux membres de jury qui ont accepté de juger ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre encadrant universitaire Monsieur **TAJ DINE LAMCHARFI**, Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, pour son encadrement et son soutien, il a toujours montré l'écoute et la disponibilité tout au long de la réalisation de ce travail, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu nous consacrer pour assurer la réussite de cette étude.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos chaleureux remerciements à **Mr ABDELGHANI EL IDRISI**, et à **Mr EL-HAMDAOUI OMAR**, pour avoir accepté notre demande de stage, pour leur disponibilité, pour leurs conseils précieux qu'ils nous ont prodigués tout au long de la réalisation de ce projet.

Nous sommes également profondément reconnaissants à tous les doctorants de département de génie électrique, en particulier Monsieur **BOUJODAR YOUNESS**, et Monsieur **AZEROUAL MOHAMEED** pour leurs rigueur scientifique et les conseils judicieux qu'ils nous ont prodigués pour l'élaboration de ce travail, nous leurs remercions également pour sa disponibilité et sa gentillesse.

Nos remerciements s'adressent également à tout le corps professoral du département Génie Electrique, pour la qualité de son enseignement ainsi que sa disponibilité tout au long de ces trois années de formation.

Enfin, que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail trouvent ici l'expression de notre reconnaissance et de nos remerciements.

Résumé

Le moulage par injection est un procédé de mise en forme des thermoplastiques permettant la production de pièces indispensables et indissociables de notre vie quotidienne.

Ce procédé est très répandu pour les productions de grandes séries comme l'automobile, l'électroménager et l'électricité, ce pendant certains des défauts communs se produisent sur les pièces moulées par injection, au-delà de l'aspect visuel, ces défauts ont un impact sur ses caractéristiques et sa qualité.

Les géométries de pièces nécessitent généralement un ajustement de la température de moulage, de la vitesse d'injection, des temps de maintien, ou de ces trois éléments à la fois, Ce rapport de fin d'études présente l'étude de moulage par injection comme un procédé principal dans l'industrie ainsi que les différents défauts de moulage , et les solutions proposées pour les atténuer ,en agissant spécialement sur le paramètre de la température en programmant un thermorégulateur électronique avec le MikroC pour PIC ainsi que sa simulation avec ISIS.

Sommaire

Dédicace	1
Remerciements	2
Résumé.....	3
Sommaire :.....	4
Liste des figures :.....	7
Liste des Acronymes :.....	8
Introduction général	9
Chapitre 1 : Présentation de l'entreprise CEAC	10
I. Historique.....	11
II. Fiche technique de la société CEAC	11
III. Organigramme :.....	12
IV. Activités :.....	13
i. Activités principales :.....	13
ii. Activités secondaires :.....	13
V. Renseignements généraux :.....	13
i. Organisation interne :	13
ii. Implantation géographique :.....	13
VI. Description des ateliers :	14
a. Atelier d'injection :.....	14
b. Atelier de montage :	14
c. Atelier d'étalonnage :.....	15
Conclusion :.....	15
Chapitre2 : Etude de la machine DEMAG 200-840 compact.....	16
I. Introduction à l'injection :	17
II. Présentation de la machine :.....	17
a. Identification des parties composantes de la presse :	18
b- caractéristiques techniques :.....	19
c- Terminologie des moules :.....	20

d. Groupe fermeture :	.....21
Rôle du groupe fermeture :	..... Erreur ! Signet non défini.
Type de Fermeture Presse :	.....22
Fonction éjection :	.....23
e. Groupe d'injection ponton :	.....24
Fonctionnement :	.....24
f. Circuit hydraulique :	.....25
Généralités :	..... Erreur ! Signet non défini.
g. Description du cycle de moulage :	.....25
III. Organe de commande et réglages de la presse :	.....26
i. Commandes et indicateurs sur la presse :	.....26
1. Commandes coté opérateur :	.....26
2. Arrêt d'urgence :	.....27
ii. Réglage :	.....27
iii. Mode automatique :	.....29
•Grafcet de fonctionnement automatique :	.....29
Conclusion :	.....30
Chapitre 3 : Problèmes de moulage par injection et des solutions proposées	.....31
I. Introduction :	.....32
II. Exemples des problèmes de moulage par injection :	.....32
• Le gauchissement :	.....32
• La bavure :	.....33
• Les incomplets :	.....33
• Retassure :	.....34
• Trainée :	.....35
• Les lignes de soudures :	.....35
III. Solutions proposées de points de vue techniques aux problèmes de moulage :	.....36
Instrumenter une machine d'injection par des capteurs :	.....36
Conclusion :	.....37

Chapitre 4 : Conception et simulation d'un thermorégulateur à l'aide du programme MicroC	38
I. Introduction :	39
➤ Les raisons du choix d'un thermorégulateur électronique :	39
II .Présentation du système :	40
➤ Objectif principal :	41
➤ Réalisation :	42
➤ Partie Programmation :	44
Conclusion :	50
Conclusion général	51
ANNEXE :	52
Bibliographie :	53

Liste des figures

Figure 1 : organigramme de la société	12
Figure 2 : Implantation géographique de la société	13
Figure 3 : la presse à injecter	14
Figure 4 : les éléments des compteurs monophasés	15
Figure 5 : Ensemble du système d'injection.....	18
Figure 6 : les parties composantes de la presse.....	18
Figure 7 : Les différentes parties d'un moule d'injection	19
Figure 8 : Une vue en 3D d'un moule d'injection.....	20
Figure 9 : le fonctionnement d'un moule à deux plaques	21
Figure 10 : Groupe fermeture	22
Figure 11 : Schéma des surfaces, pressions et forces sur une presse	23
Figure 12 : Fermeture mécanique – Simple et double genouillère	24
Figure 13 : Éjection par Bloc d'éjection ou pavé d'éjection et les défauts à éviter	25
Figure 14 : Groupe d'injection ponton	26
Figure 15 : liaison entre le groupe A, B, C, D, E	28
Figure 16 : description de cycle du moulage	30
Figure 17 : la durée du cycle de moulage	30
Figure 18 : Pupitre de commandes manuelles sur la presse	31
Figure 19 : Gauchissement.....	40
Figure 20 : Bavure	41
Figure 21 : pièce incomplète	41
Figure 22 : Retassure.....	42

Figure 23 : Divers angles de dépouille.....	43
Figure 24 : ligne de soudure	46
Figure 25 : Evolution de la température d'une pièce en fonction de son mode de régulation	47
Figure 26 : chaine de mesure de température.....	49
Figure 27 : capteur LM35	49
Figure 28 : Afficheur LCD.....	50
Figure 29 : schéma de circuit sous ISIS	51

Liste des Acronymes :

CEAC : Construction Electrique Appareillages de Comptage.

PIC : Peripheral Interface Controller (Contrôleur d'interface périphérique).

LCD : Liquid Cristal Display (Ecran à cristaux liquides).

RAM : Random Access Memory (mémoire d'accès aléatoire).

GRAFCET : Graphe Fonctionnel de Commande Etapes-Transitions.

Introduction général

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.

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 optimal de ces paramètres peut améliorer considérablement le bon déroulement de ces phases et ainsi la qualité finale des pièces moulées.

Dans ce travail, nous allons traiter le moulage par injection et le problème d'optimisation des pièces moulées.

Le présent mémoire est organisé dans quatre chapitres :

Chapitre 1 : contient un aperçu général sur CEAC (Construction Electrique Appareillages de comptage) lieu de notre stage.

Chapitre 2 : constitue des généralités sur le procédé de moulage par injection et une étude du presse à injecter DEMAG 800-240.

Chapitre 3 : présente des problèmes de moulage par injection ainsi que des solutions proposées.

Chapitre 4 : présente la programmation d'un thermorégulateur en Micro C pour PIC ainsi que sa simulation avec ISIS, une solution proposée pour les problèmes liés au paramètre de la température.

Chapitre 1 :

Présentation de l'entreprise CEAC

I. Historique

Créée en 1979, CEAC (Construction Electrique Appareillages de comptage), a démarré sa production en 1982 par la fabrication des compteurs monophasés de type DE4 et triphasés de type GH sous licence GANZ (HONGRIE).

Suite au rachat de GANZ par Schlumberger Industries en 1990, CEAC a lancé la fabrication sous licence Schlumberger, du compteur monophasé de type H10 en 1996 puis celle du compteur de type C114 en 1998.

En 1999, CEAC a démarré la fabrication du compteur monophasé M2X S4, prévu dans un premier temps pour l'ONE.

En 2002 la division comptage de Schlumberger a été vendue sous le nom d'ACTARIS pour la partie mondiale hors USA. Sa partie aux USA a été vendue sous le nom d'ITRON. Ainsi en 2002, les compteurs fabriqués par CEAC ont été sous licence ACTARIS.

En fin 2008 ITRON a racheté ACTARIS et a décidé depuis 2010 de se commercialiser sous le nom unique d'ITRON, ainsi depuis cette date la fabrication de CEAC est devenue sous licence ITRON.

II. Fiche technique de la société CEAC

- Forme juridique : Société Anonyme (SA).
- Activité principale : Fabrication de compteurs d'énergie électrique.
- Date de création : 1979.
- Capital : 11.000.000 DH.
- Registre de commerce : 15741 Fès.
- Code fiscal : 04500740.
- Patente : 14202270.
- Effectif : De 100 à 500 salariés.
- Adresse : Q.I, Sidi Brahim II rue 801, Fès-Maroc.
- Tél : 0535644020.
- Fax : 0535640619.
- Email : ceac@menara.ma.

III. Organigramme

La figure ci-dessous présente l'organigramme de la société CEAC, c'est un organigramme fonctionnel ou hiérarchique.

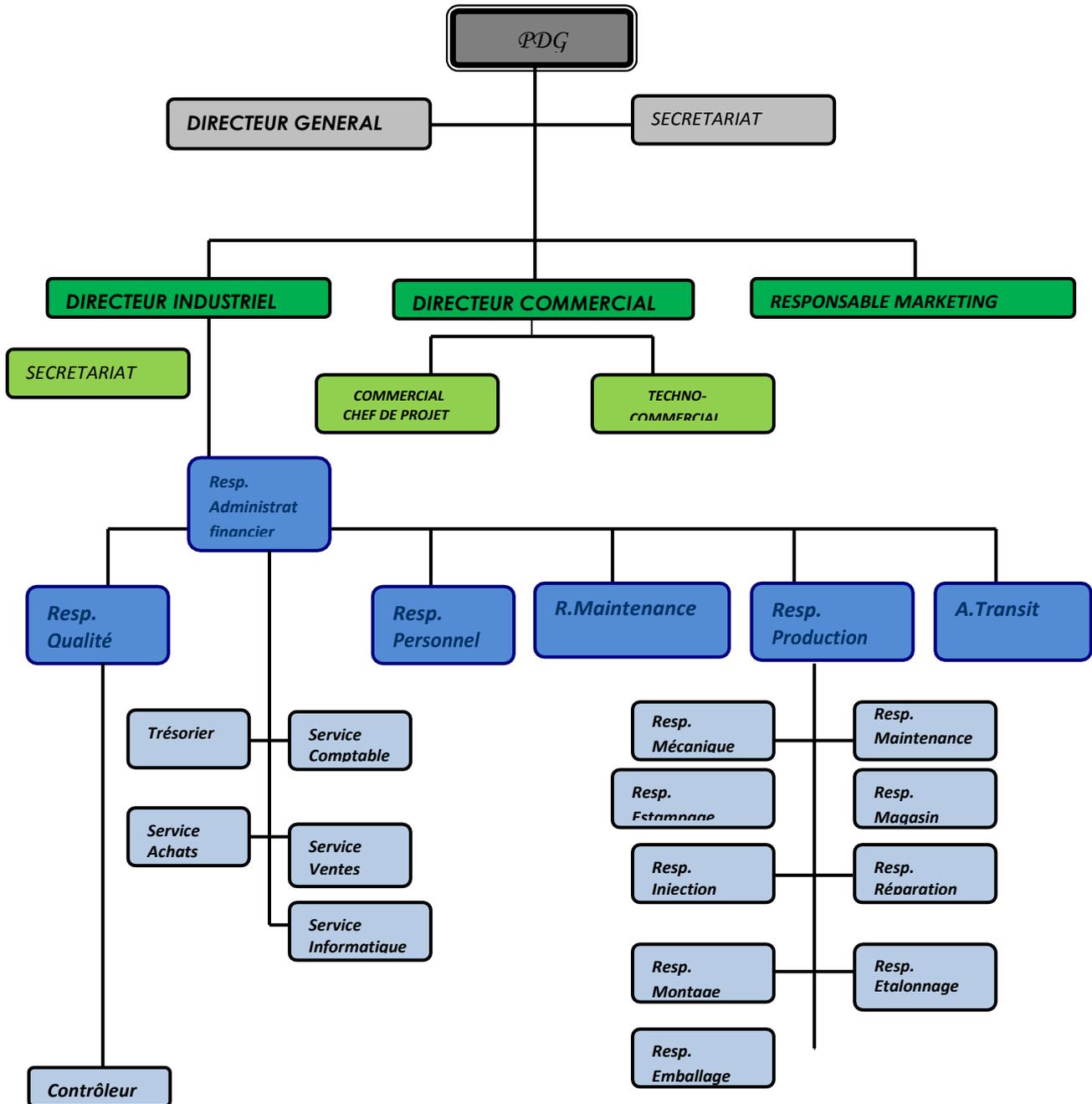


Figure 1 : Organigramme de la société

IV. Activités

i. Activités principales :

Fabrication des compteurs d'énergie électrique active basse tension monophasée 2fils et triphasés 4fils.

ii. Activités secondaires :

- Maintenance des compteurs numériques Spectral
- Services dans l'environnement du compteur : ventes et maintenance des TSP (Terminaux de Saisie Portable), systèmes de télé relèvement, gestion de la clientèle,...

V. Renseignements généraux

i. Organisation interne :

Les différents services de CEAC s'articulent autour de deux directions : la direction générale dont le siège à Rabat et la direction industrielle a l'usine de Fès.

ii. Implantation géographique :

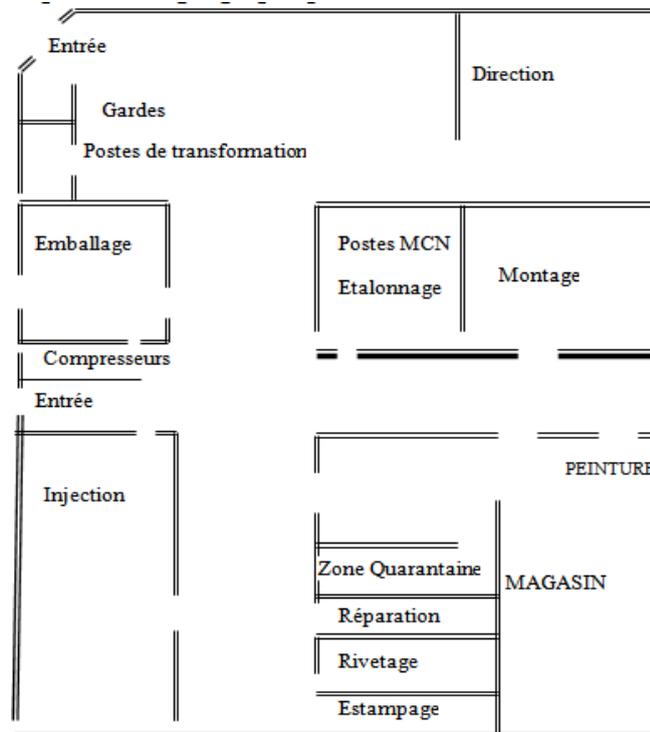


Figure 2 : Implantation géographique de la société

VI. Description des ateliers

a. Atelier d'injection :

Dans l'atelier d'injection nous avons trois générations de machines qui font la même opération. Ces machines s'appellent les presses d'injection. Elles servent à fabriquer des pièces par la transformation de la matière Bakélite d'une carcasse très dure et résistante à la température.



Figure 3 : la presse à injecter

Cet atelier contient plusieurs machines autres que les presses : utilisées pour le refroidissement du capot, pour l'échauffement d'huile à une valeur très précise et pour insérer des vices, donc elles possèdent trois installations :

- Installation pneumatique
- Installation hydraulique
- Installation électrique

b. Atelier de montage :

Cet atelier est considéré comme le cœur de l'usine, c'est le lieu où les éléments des compteurs monophasés et triphasés sont rassemblés. Ces pièces sont montrées sur la figure 4.



Figure 4 : les éléments des compteurs monophasés

c. Atelier d'étalonnage :

Pour garantir la qualité des compteurs, la société se base sur une procédure de contrôle appelé étalonnage. Cette opération consiste à déterminer les valeurs des erreurs des compteurs en faisant varier les différents paramètres qui sont la tension, l'intensité et l'angle de déphasage. Son principe consiste à faire une comparaison entre le compteur produit et un autre compteur électronique que nous pouvons considérer comme un étalon. Enfin le compteur est transféré à l'atelier d'emballage afin d'être livré à la régie spécifiée. Le compteur qui présente une anomalie est transmis à l'atelier de réparation.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons décrit l'organisme d'accueil, ainsi que le processus de fabrication des compteurs électriques.

Chapitre2

Etude de la machine DEMAG 200-840 compact

I. Introduction à l'injection

La fabrication des pièces par injection se fait sur une presse à injecter. Cette fabrication dépend de trois composantes :

- La matière première (bakélite)
- Le moule
- La presse

Pour une production rentable et de qualité, chacune de ces composantes doit tenir compte des caractéristiques intrinsèques des deux autres.

En pratique, le processus se déroule de la façon suivante : on choisit d'abord une matière pour ses caractéristiques physiques, chimique, esthétiques, etc. bien définis, répondant au cahier des charges. Ensuite on construit un moule dont les spécifications autres que la forme sont le mieux adaptées à la matière choisie pour la fabrication. On choisit une presse à injecter qui respectera à la fois les critères économique et ceux de la qualité.

La fabrication commence par la transformation de la matière solide (bakélite) en matière pâte injectable. Elle continue par la fermeture du moule et le remplissage de celui-ci sous pression avec la matière injecter. Après que la matière dans le moule est redevenue solide, on ouvre le moule et on éjecte la pièce.

II. Présentation de la machine

Notre machine est une presse horizontale DEMAG ergo Tech 200-840 compact. De 300 tonnes.

Elle est à fermeture à genouillères avec verrouillage hydraulique du moule. Les genouillères sont actionnées par un vérin et l'éjection est également assurée hydrauliquement.

Le bloc qui injecte la matière est équipé d'une buse ouvert ; la rotation de la vis est obtenue grâce à un moteur hydraulique transmettant son mouvement de rotation à la vis par l'intermédiaire d'un couple roue et vis sans fin. Un vérin commande l'avance de la vis lors de l'injection et un autre déplace l'ensemble du bloc qui injecte la matière.

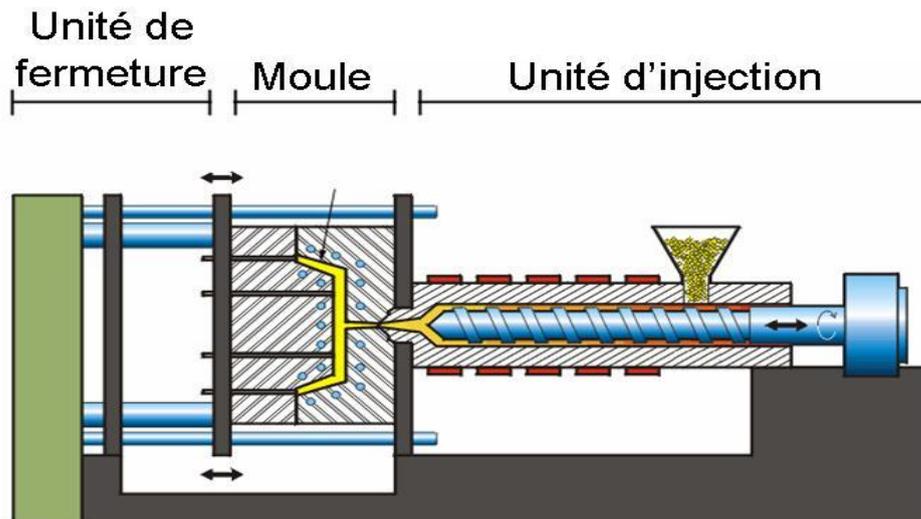


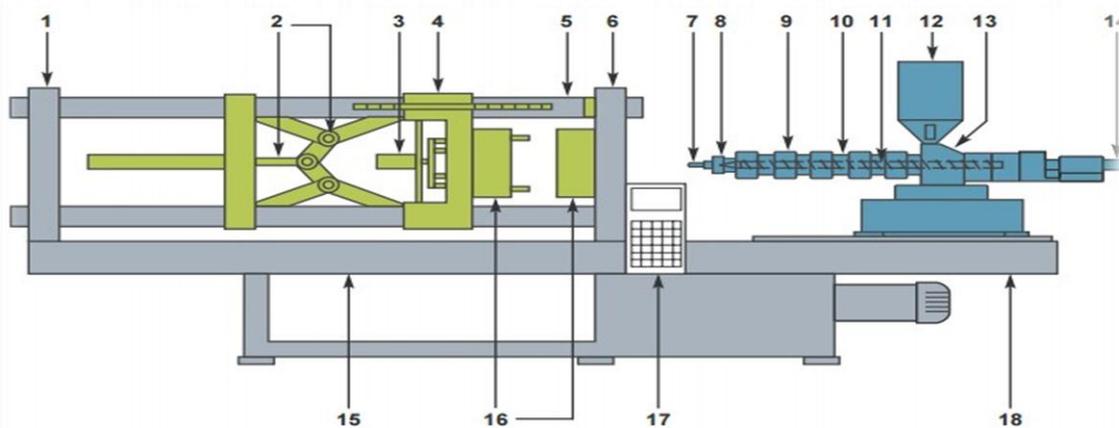
Figure 5 : Ensemble du système d'injection

Le circuit hydraulique est équipé avec les pompes basses pression P et haute pression G, entraînées par le moteur électrique, fournissent l'huile sous pression. Le volume d'huile nécessaire au bon fonctionnement du circuit est stocké dans le réservoir et le refroidissement à circulation d'eau maintient la température du fluide à une valeur acceptable.

a. Identification des parties composantes de la presse :

Figure 6 : les parties composantes de la presse

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1. Plateau arrière fixe | 11. Vis |
| 2. Mécanisme de fermeture - genouillère et vérin | 12. Trémie d'alimentation |
| 3. Éjecteur | 13. Goulotte d'alimentation |
| 4. Plateau mobile | 14. Motorisation de la vis |
| 5. Colonne de guidage | 15. Décharge des pièces |
| 6. Plateau fixe d'injection | 16. Moule |
| 7. Buse d'injection | 17. Console de commande |
| 8. Tête du baril | 18. Bâti |
| 9. Bande chauffante | |
| 10. B | |



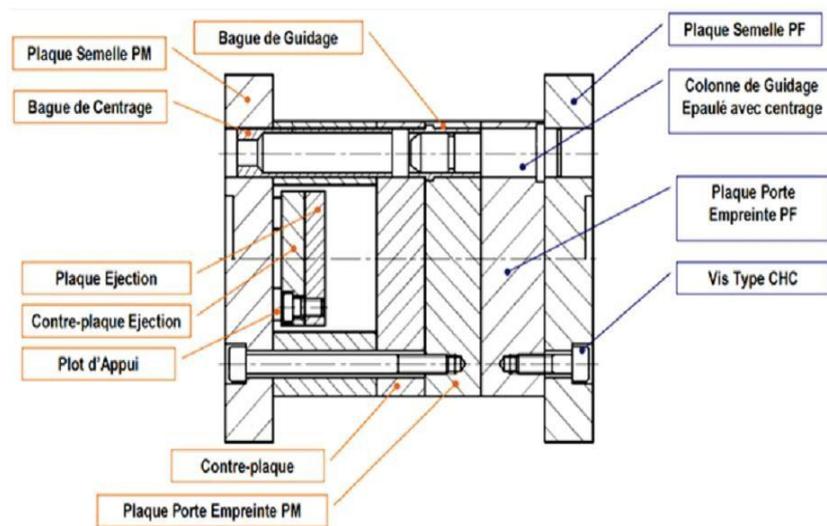
b- caractéristiques techniques :

Type de presse : DEMAG ergo Tech 200-840 compact (Voir l'annexe).

c-Terminologie des moules :

Le moule est l'outil utilisé en injection des matières plastiques, qui remplit plusieurs fonctions et il a pour but de donner à la matière une forme finale nommée pièce ou article. Un moule est constitué principalement des composants illustrés par les figures suivantes :

Figure 7 : Les différentes parties d'un moule d'injection



Moule à deux plaques (utilisés dans la figure suivante par les

deux plaques CEAC) : la figure suivante illustre le fonctionnement d'un moule à deux schémas associés.

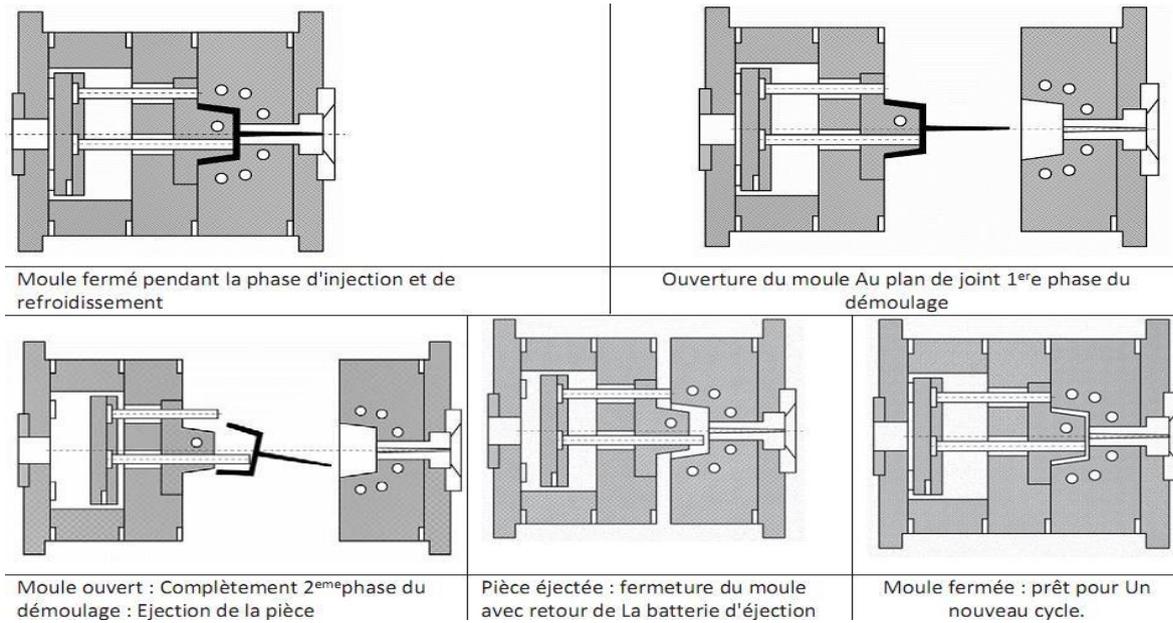
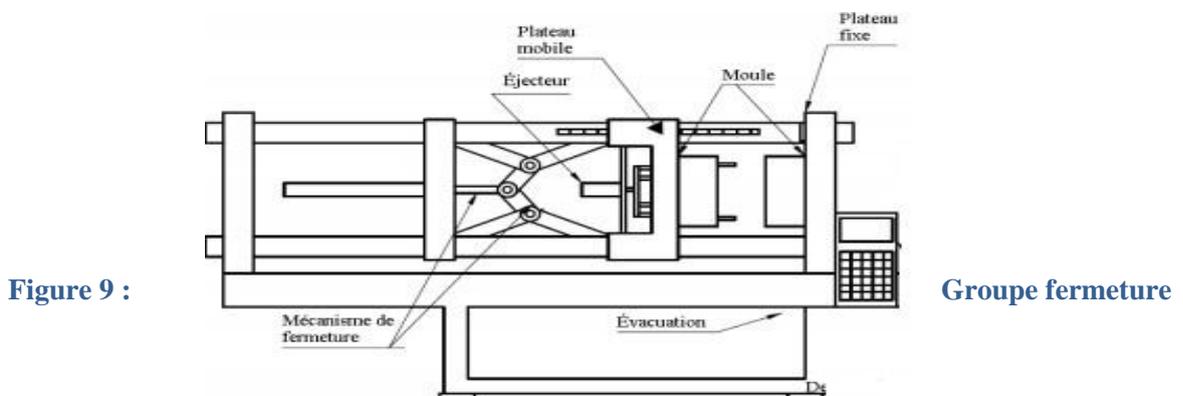


Figure 8 : le fonctionnement d'un moule à deux plaques

d. Groupe fermeture :

Le rôle du groupe de fermeture est de permettre de monter le moule sur la presse et de rendre possible son ouverture et de fermeture. Ce groupe comprend deux plateaux : l'un est mobile, l'autre est fixe. La partie mobile, comme nous allons voir, peut se déplacer à des vitesses et courses très différentes. Le groupe sert aussi à appliquer la force de fermeture et à centrer les deux parties du moule lors de la fermeture.



La force de fermeture est la force nécessaire pour maintenir les deux parties du moule fermé pendant son remplissage sous haute pression.

Cette force, par conséquent, doit être plus grande ou au moins égale à celle qui résulte de l'application à l'intérieur du moule d'une pression de remplissage ou d'injection.

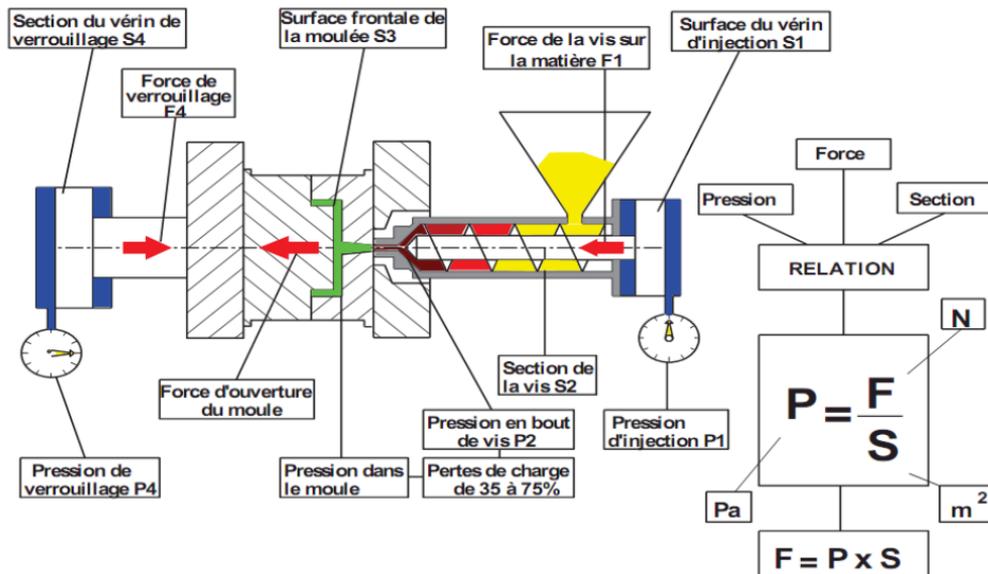


Figure 10 : Schéma des surfaces, pressions et forces sur une presse

La dernière condition à remplir est le parfait guidage des deux parties du moule, qui doivent rester centrées l'une par rapport à l'autre non seulement lors de la rencontre des plans de joint du moule mais aussi quand la répartition de la pression de remplissage n'est pas symétrique ce qui pourrait avoir pour effet de déplacer une partie du moule par rapport à l'autre.

Type de Fermeture Presse :

- **Fermeture mécanique – Simple et double genouillère :**

L'avance rapide de la partie mobile est assurée par la genouillère. Le verrouillage du moule est fourni par la mise en traction des colonnes de la machine, au moment où le moule est verrouillé.

La genouillère est actionnée par un vérin hydraulique. Ce système est très simple mais n'assure pas une force de fermeture constante et reste difficile à régler.

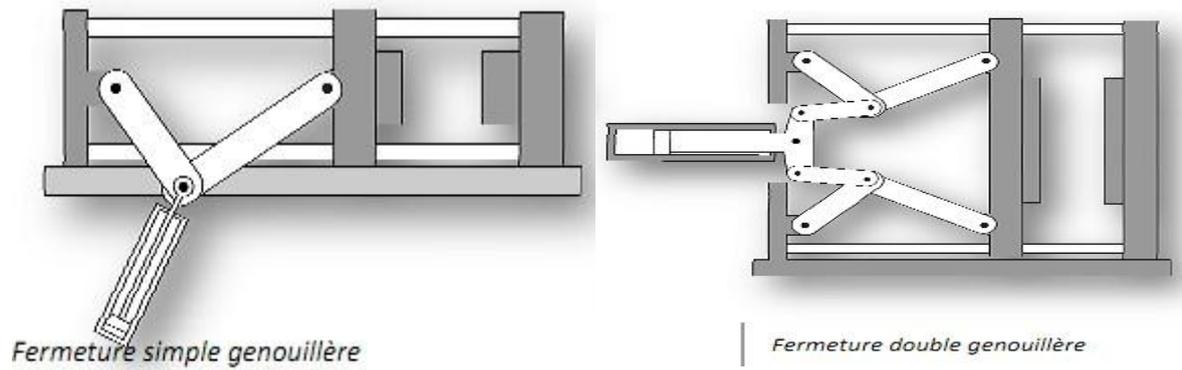
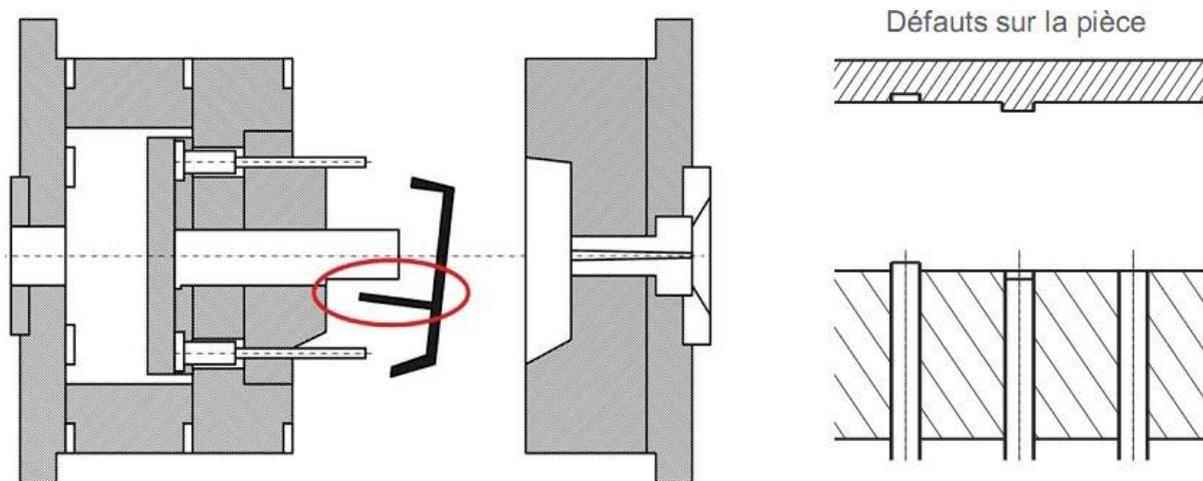


Figure 11 : Fermeture mécanique – Simple et double genouillère

Fonction éjection :

Cette fonction assure l'extraction correcte des pièces et suivant besoin de leur système d'alimentation hors de l'outillage.



Figure

Éjection par Bloc d'éjection ou pavé d'éjection et les défauts à éviter

12 :

Les fonctions associées aux éjecteurs peuvent être :

- Démouler la pièce après ouverture du plan de joint.
- Remise à zéro des plaques d'éjection.
- De démoulage de la carotte par un arrache carotte.

e. Groupe d'injection ponton :

Le groupe d'injection assure les tâches suivantes :

- Recevoir la matière première
- transformer la matière première à une matière pâte
- établir le contact entre le moule et l'unité d'injection
- injecter la matière dans des conditions établies

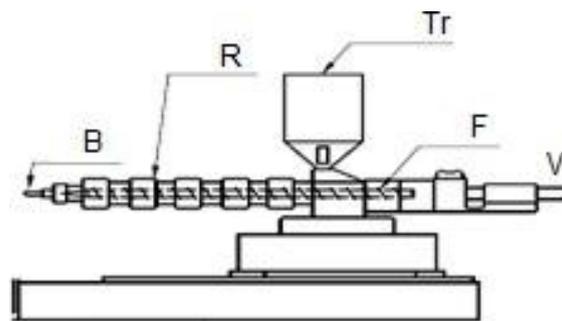


Figure 13 : Groupe d'injection ponton

R : résistance électrique (collier chauffant) Tr : trémie
 B : Buse F : fourreau de la vis
 V : vis

Fonctionnement :

La matière bakélite sous forme des poudres est chargée dans la trémie Tr. La vis V est placée dans le pot d'injection P dont le diamètre intérieur est ajusté au diamètre de la vis avec une tolérance très serrée. Le pot d'injection est muni de résistance électrique R (bande chauffante) dont le rôle est de chauffer le pot.

La vis mise en rotation entraîne les granulés de la trémie vers l'avant, comprime le polymère contre les parois chaudes du pot et le cisaille ; la vis remplit donc, par la variation de son profil, 3 fonctions importantes :

- Alimentation
- Compression
- Cisaillement

La matière qui se produit à l'intérieur de la vis est refoulée à l'avant du pot d'injection, ce qui a pour effet de faire reculer la vis grâce à un clapet qui se trouve à son extrémité.

Son rôle est le suivant :

- Laisser passer la matière fondue vers l'avant du pot pendant la phase de transition et empêcher de repasser dans les files de vis, quand celle-ci avance pour la refouler dans le moule sous haute pression, le clapet est vissé au bout de la vis.

f. Description du cycle de moulage :

Le cycle de moulage simplifié d'une pièce injectée se décompose en plusieurs parties :

- ✓ Fermeture du moule
- ✓ Avance du ponton
- ✓ Injection
- ✓ Maintien
- ✓ Refroidissement
- ✓ Dosage
- ✓ Décompression
- ✓ Recul ponton
- ✓ Ouverture moule
- ✓ Ejection

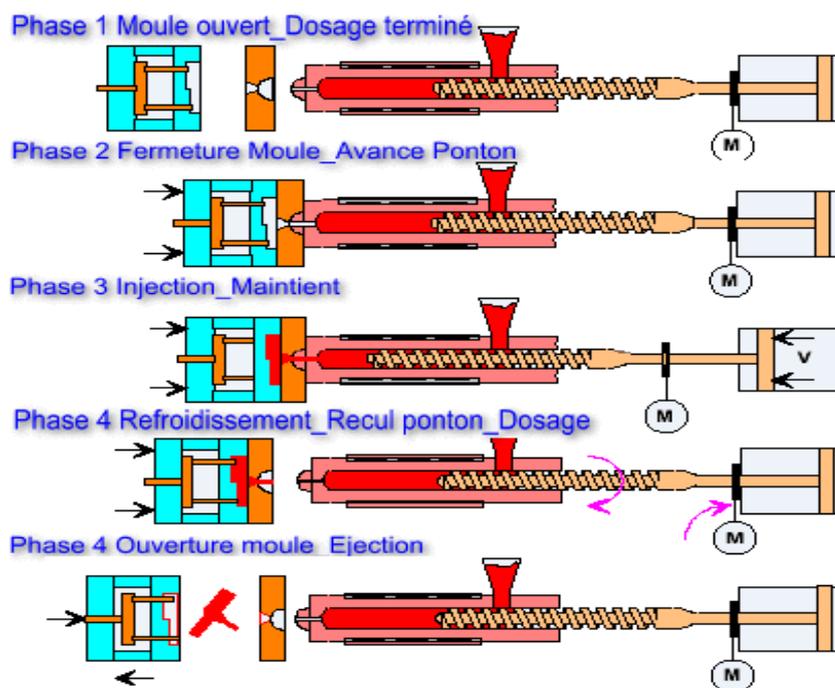


Figure 14 :

moulage

description de cycle du

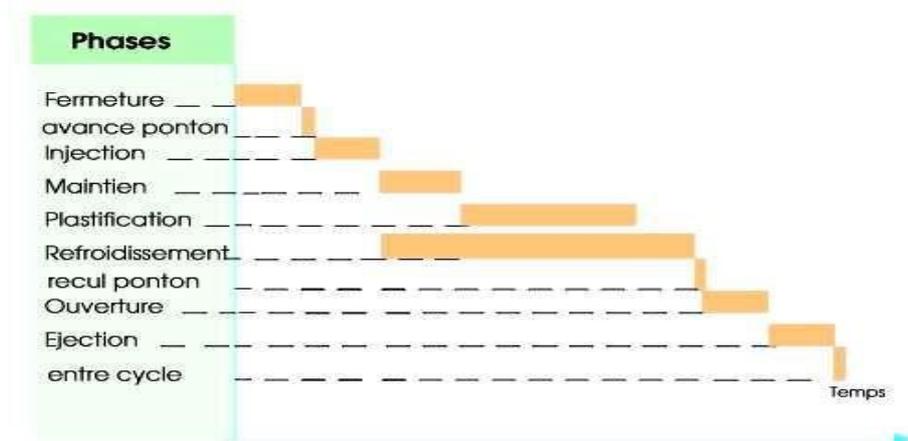


Figure 15 : la durée du cycle de moulage

III. Organe de commande et réglages de la presse

Nous avons reporté la description du pupitre de commande dans sa configuration maximum, complétée de toutes les fonctions standard et optionnelles, automatisation. Nous essaierons de décrire dans les moindres détails son fonctionnement de manière à établir son grafcet de niveau 1.

i. Commandes et indicateurs sur la presse :

1. Commandes coté opérateur :

Du coté opérateur de la presse, il y a le dispositif suivant :



Figure 16 : Pupitre de commandes manuelles sur la presse

2. Arrêt d'urgence

La touche d'ARRET D'URGENCE permet d'immobiliser la presse à injecter en cas d'urgence, c'est-à-dire :

- Coupure du moteur de pompe
- Coupure du chauffage du cylindre
- Coupure du chauffage du moule

Les touches vertes permettent de remettre les fonctions

- Pompe
- Chauffage cylindre
- Chauffage moule

Les touches rouges correspondantes permet de couper ces fonction l'une après l'autre.

ii. Réglage :

Pour beaucoup plus de commodité le responsable d'injection à élaborer des fiches de réglages approprié pour chaque type de produit que l'entreprise voudra fabriquer.

Et cette fiche sera remise à l'opérateur de la machine qui aura à faire le paramétrage. Ci-dessous est joint un exemple de fiche de réglage.

✓ Profil de réglage du moule

	consigne		consigne		
Ouverture moule	-V1	12 %	Départ -V2	10.0mm	0.0 mm
Ouverture moule	-V2	35%	Départ -V3	140.0mm	
Ouverture moule	-V3	35%	stop	330.0mm	
Fermeture moule	-V1	35%	épart -V2	140.0mm	
Fermeture moule	-V2	35%	Départ -V3	50.0mm	
Fermeture moule	-V3	35%			
Force de sécurité moule		20.0 KN	Départ	20.0mm	0.65 s 532 KN
Fin de sécurité moule			stop	2.0mm	
Répétition sécurité moule		1.00 s			
Force de fermeture		1600 KN			
Arrête refroid moule		0.10 s			

✓ **Profil de réglage d'injection**

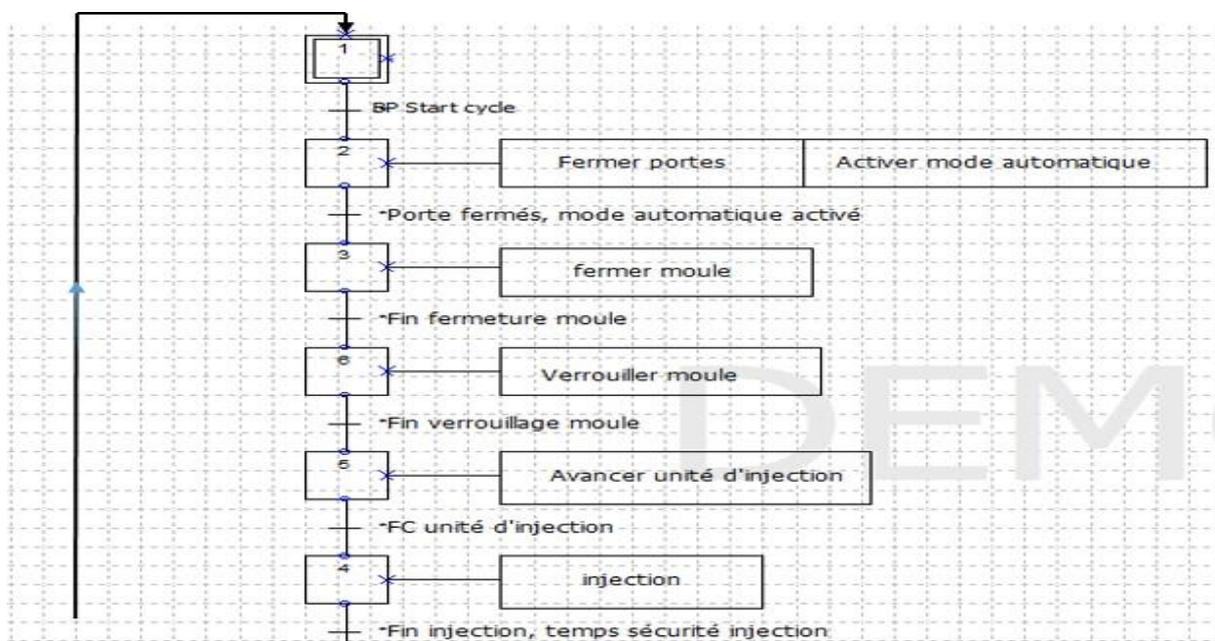
	consigne	Réel		consigne
Temps contrôle cycle [s]	130.0	58.2	Reculé de vis [mm]	102.0
Temps de blocage [s]	6.00	0.00	Fin de dosage [mm]	102.0
Temps de pause [s]	0.50			
Temps d'injection [s]		2.59	PC ch. De vis [mm]	10.5
Temps de dosage [s]		16.27	PC Temps [s]	0.00
Pression injection [bar]	180	130		
Vitesse injection [mm/s]	40			
Temps maintien [s]				
Pression maintien [bar]		181		
Temps refroidissement [s]			Profil injection	
Retard de dosage [s]			Profil maintien	
Vitesse rotation		96	Profil dosage	

✓ **Profil d'éjection hydraulique :**

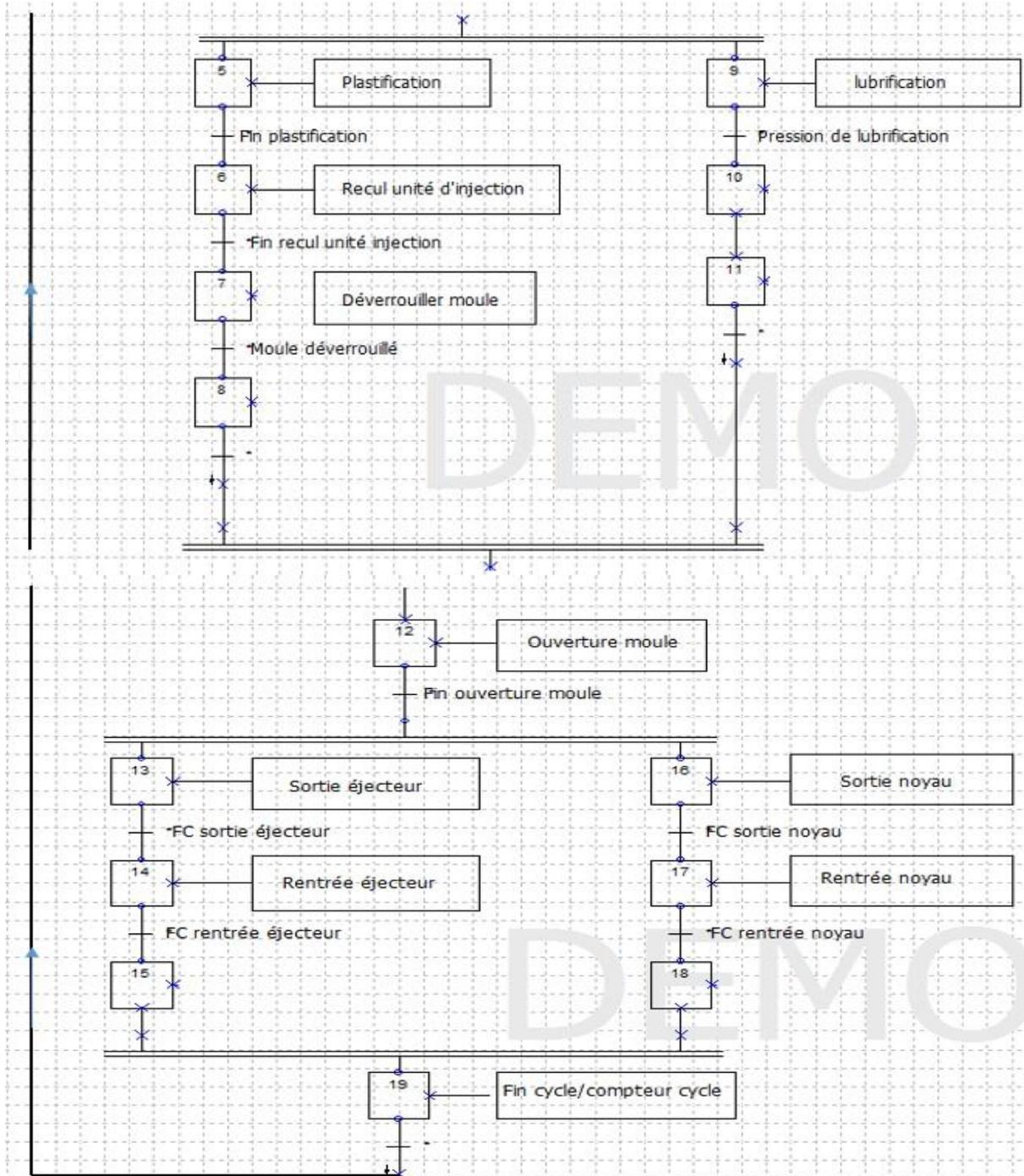
	Consigne		Consigne	Réel
Retard éjection	0.00s			
Avance éjection -Pression	75 Bar		118.0 mm	
Avance éjection -V1	35%	Départ-V2	118.0 mm	51.3 mm
Avance éjection -V2	35%	Stop		
Ejection en position avant	0.00s			
Retour éjection -Pression	75 Bar			
Retour éjection -Vitesse	50%	Stop	54.0 mm	
Retour éjection -multiple		Stop	54.0 mm	
Ejection hydraulique	<input checked="" type="checkbox"/> 2			
Ejection multiple/nombre	<input checked="" type="checkbox"/>			0
Multiple avec manipulateur	<input type="checkbox"/>			
Coupure éjection a l'arrêt	<input type="checkbox"/>			
Ejection volet opér. ouvert	<input type="checkbox"/>			

iii. Mode automatique :

Ce mode doit être sélectionné quand on entend lancer un cycle répétitif. Les réglages du moule manuel sont valables aussi pour le mode automatique. Pour ce faire on fonctionne d'abord en mode manuel ensuite on passe en mode automatique en sélectionnant la commande manuel « milieu auto ». Et le bouton « Start cycle » pour démarrer le cycle qui s'exécute comme le mode manuel seulement les commandes manuelles ne seront plus fonctionnelles sur ce milieu opératif



- **Graficet de fonctionnement automatique :**



Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons fait l'étude de l'ensemble du système, ainsi que la partie commande et réglage de la presse en se basant sur les différentes commandes et réglage de la machine, et ébauchant les grafjets point de vue système.

Chapitre 3

Problèmes de moulage par injection et solutions proposées

I. Introduction

Les problèmes de moulage se répartissent selon trois catégories principales : modélisation, paramètres de la machine et matériaux. Les effets de ces choix sont lourds de conséquences, allant des défauts visuels tels que les retassures aux défauts physiques comme le gauchissement, et pouvant même avoir des implications financières résultant de durées de cycle excessives ou de gaspillages dus à des remplissages incomplets.

II. Exemples des problèmes de moulage par injection

- **Le gauchissement :**

C'est le principal problème causé par un refroidissement non uniforme,

Le schéma ci-dessous montre comment la couche inférieure refroidit en premier. Comme cette couche rétrécit, elle glisse sous la couche supérieure qui est encore à l'état fondu. Lorsque la couche supérieure se solidifie, elle se fixe à la couche inférieure qui rétrécit et elle ne peut pas glisser au-dessus de celle-ci. La contrainte de traction résultante peut entraîner le gauchissement de la pièce.

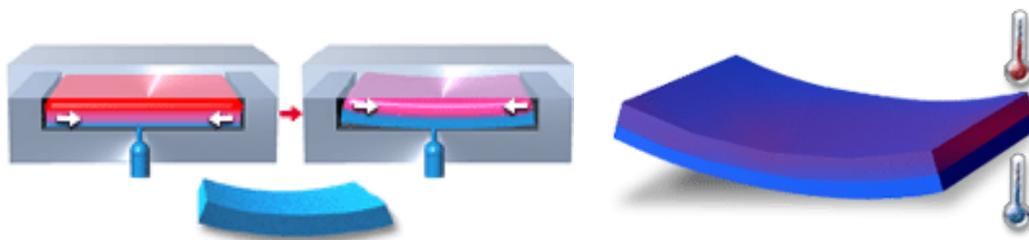


Figure 17 : Gauchissement

CAUSES :

- les variations des conditions d'injection telles qu'un compactage incohérent et des températures moule et matière qui varient.

- **La bavure :**

A lieu lorsqu'une fine couche de matière est poussée hors de l'empreinte du moule au niveau du plan de joint ou des broches d'éjection.

Cet excès de matière demeure attaché à l'objet moulé et doit généralement être enlevé manuellement.



Figure 18 : Bavure attaché à une pièce

CAUSE :

- Force de fermeture insuffisante. La force de fermeture de la machine doit être supérieure à la pression dans l'empreinte (à savoir la force d'ouverture) pour maintenir les plaques du moule fermées.
- Conditions de moulage non optimales. La viscosité de la matière, le taux d'injection et le système d'alimentation sont des causes possibles. Par exemple, une température matière élevée réduit la viscosité de la matière.

- **Les incomplets :**

Pièce inachevée due au remplissage incomplet d'une des cavités d'un moule.

Si le plastique ne remplit pas entièrement l'empreinte, la pièce obtenue est incomplète. L'écoulement se solidifie avant le remplissage des trajectoires d'écoulement.



Figure 19 : pièce incomplète

CAUSES :

- une trémie vide, ou quantité de matière insuffisante pénétrant dans l'empreinte ;à **CEAC** cela est dû à la quantité du bakélite incomplète à injecter, le technicien contrôle manuellement cette quantité ;à chaque fois il jette un coup d'œil à une surface transparente de la trémie pour voir s'il doit ajouter du bakélite ce qui nous fait perdre le temps (production).
- Températures moule et/ou matière faibles.

- **Retassure :**

Les retassures sont des dépressions formées à la surface d'une pièce moulée. Bien que très petites, elles sont souvent bien visibles. Même si les retassures n'ont pas d'incidence sur la résistance des pièces ou sur leur fonctionnement, elles sont considérées comme des défauts nuisant gravement à la qualité.

PlastiOyo
3D Printing



Retassure

Figure 20 : Retassure dans la surface d'une pièce moulée

CAUSES :

- Temps de compactage ou de refroidissement court.
- Températures moule et/ou matière élevées.
- ...

- **Trainée :**

Une dépouille suffisante constitue une partie importante de toute conception de pièce, au même titre qu'un outillage rapide. Les parois verticales, c'est-à-dire les surfaces de pièces parallèles au sens de fonctionnement du moule, doivent présenter un angle de dépouille minimum d'un 1/2 degré, 2 degrés étant encore mieux. Les surfaces fortement texturées peuvent nécessiter un angle d'au moins 5 degrés. En l'absence d'une dépouille adéquate, l'éjection de la pièce s'avère difficile, voire impossible, et il peut se produire des traînées ou des raclures.



Figure 21 : Divers angles de dépouille

- **Les lignes de soudure :**

Une ligne de soudure ou de fusion est une faiblesse ou un défaut visible dû à la rencontre de deux fronts d'écoulement ou plus lors du remplissage de la pièce. Il peut causer des problèmes de structure et/ou être inacceptables sur le plan de l'apparence.



Figure 22 : ligne de soudure

CAUSES :

- Dû à la rencontre de deux fronts d'écoulement ou plus lors du remplissage de la pièce.
- causées par des trous ou des inserts dans la pièce, par des seuils d'injection multiples ou une épaisseur variable des parois là où une hésitation ou l'effet Champ de course se produit.
- Si les deux fronts d'écoulement se refroidissent avant de se rencontrer, ils ne fusionnent pas correctement et peuvent causer un défaut dans la pièce moulée. Une ligne, une entaille et/ou un changement de couleur peuvent alors apparaître.

III. Solutions proposées de points de vue techniques aux problèmes de moulage fréquents à CEAC

Nous avons remarqué dans la partie précédente que la majorité des problèmes et défauts sont dû à un **refroidissement non homogène et déséquilibré**, des températures moule et/ou matière non adaptées, force de fermeture ou pression insuffisante, hors ces paramètres constituent des éléments principaux à définir pour un moulage par injection.

- **Instrumenter une machine d'injection par des capteurs :**
 - **Pour le moule : (Des moules intelligents pour une amélioration de la productivité)**

Des moules instrumentés par de capteurs qu'ils soient de pression, de température ou de vitesse d'écoulement, les capteurs informent l'utilisateur sur ce qui se passe à l'intérieur du moule. Les dernières générations de capteurs effectuent une mesure sans contact, pour connaître la pression dans le moule sans endommager l'état de surface des pièces. Lorsqu'un problème de remplissage est détecté au démarrage d'une série par exemple, le plasturgiste les installe pour affiner les réglages de sa presse. Les capteurs sont aussi utiles pour identifier d'éventuelles fuites dans le moule, que la machine seule ne peut détecter.

Temps de fabrication divisés par deux :

D'après des études menées par le projet européen **Mold4ProdE**, qui signifie "Intelligent Mold for productivity enhancement" » surveiller la température et la pression

à l'intérieur d'un moule permet de diviser par deux les temps de réglages par l'identification plus rapide des problèmes ; et cela signifie aussi deux fois moins de matière perdue, car pendant toutes les phases de réglages, la machine consomme de la matière pour produire des pièces non conformes.

- **Pour la trémie :**

Un capteur de niveau lié à la trémie pour contrôler la quantité de la matière et la solution adéquate pour une pièce inachevée due à une trémie vide ou quantité de matière incomplète, ce capteur va être mené d'une alarme pour avertir le technicien avant que la bakélite soit finie de la trémie.

Conclusion

La résolution d'un problème peut souvent en générer d'autres dans le processus de moulage par injection. Il est donc recommandé d'envisager chaque option en tenant compte de tous les aspects pertinents relatifs aux paramètres de moulage, dans le chapitre suivant nous présentant la programmation d'un thermorégulateur et sa simulation avec ISIS une solution pour les problèmes lié au paramètre de la température

Chapitre 4

Conception et simulation d'un thermorégulateur à l'aide du programme MikroC

I. Introduction

Le but de ce chapitre est de créer un thermorégulateur électronique qui devra régler et afficher la température via un L.C.D. En somme cela se présente sous la forme d'une carte électronique pour remplacer la colonne d'un thermorégulateur classique et résoudre les problèmes de moulage lié au paramètre fondamental de ce procédé qui est la température.

➤ Les raisons du choix d'un thermorégulateur électronique :

Avec les systèmes de régulation électronique, la température est ajustée de façon beaucoup plus douce. Elle reste constante même lorsque la température extérieure augmente.

Température
extérieure en °C

Température
intérieure

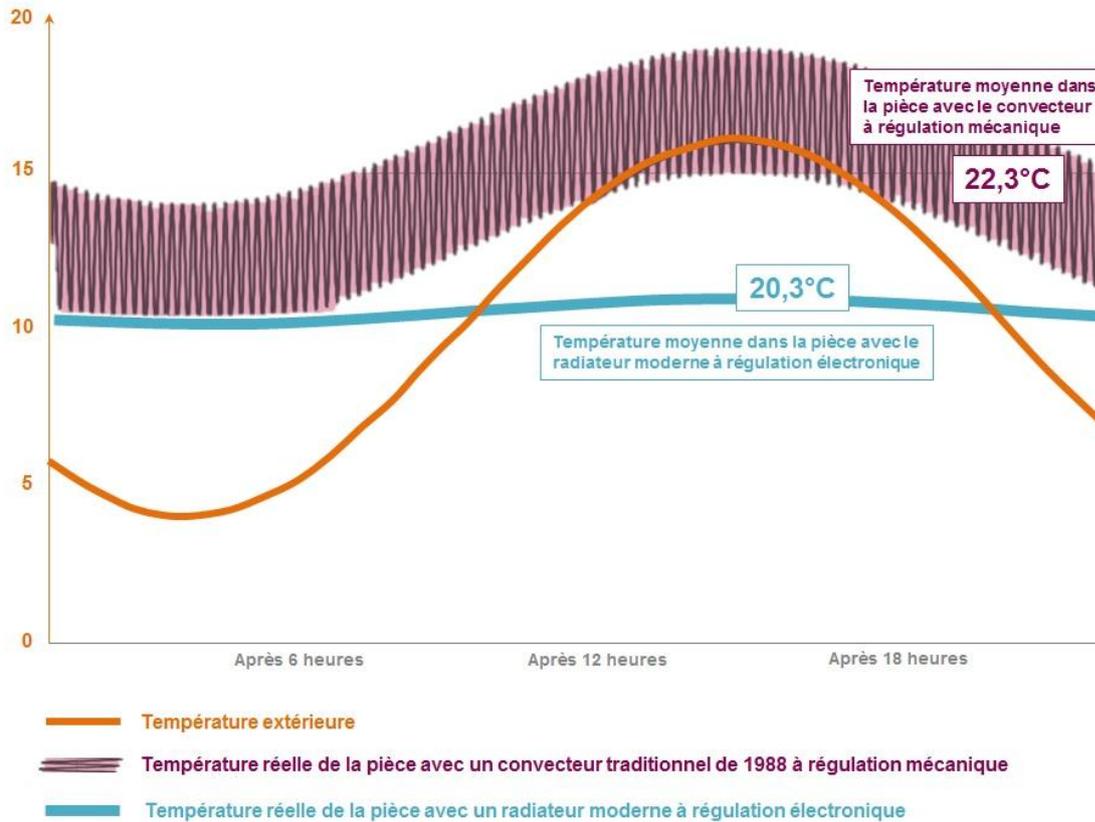


Figure 23 : Evolution de la température d'une pièce en fonction de la température extérieure et de son mode de régulation (mécanique ou électronique)

Ainsi, pour la même variation de température à l'extérieur, l'appareil maintient une température moyenne de 20,3°C dans la pièce, sans oscillations.

Avec les systèmes de régulation mécanique, cet ajustement **n'est pas suffisamment précis ni stable**. La température oscillait constamment, entraînant une surconsommation, et elle est trop élevée par rapport aux besoins des utilisateurs (entre 20 et 22°C quand la température extérieure était de 5°C, entre 22,5 et 24,5°C quand la température extérieure atteignait 15-16°C).

II. Présentation du système

Les thermostats sont des unités monobloc entièrement autonomes permettant de produire puis de maintenir un fluide (eau ou huile) à une température constante. Une régulation fine de type

PID permet **la stabilisation continue de la température** ($\pm 0.2^{\circ}\text{C}$) autour d'une consigne enregistrée par l'utilisateur. Cette précision maximale associée à une **faible consommation énergétique** est possible grâce à l'utilisation combinée de vannes modulantes spéciales et d'échangeurs à grandes surfaces d'échange réduisant l'inertie thermique lors d'un changement de température.

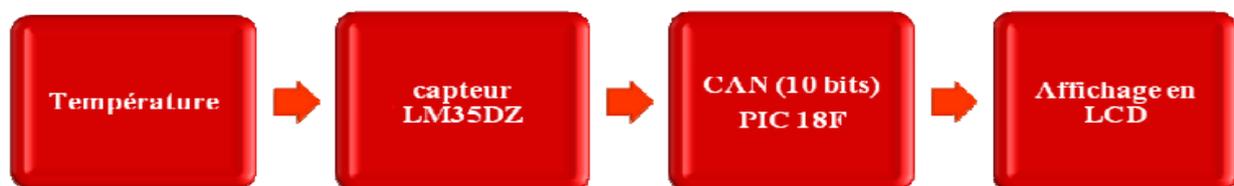
Le choix du fluide caloporteur dépend de la température voulue sur l'installation à réguler :

- $T^{\circ} < 90^{\circ}\text{C}$: eau
- $T^{\circ} < 140^{\circ}\text{C}$: eau pressurisée
- $T^{\circ} < 180^{\circ}\text{C}$ jusqu'à 250°C : huile diathermique

Dans cette partie, on a utilisé le capteur analogique LM35DZ pour réaliser le thermostat. Les étapes séquentielles de la mesure de la température sont les suivantes :

Figure 24 : chaîne de mesure de température

Ce thermostat devra faire la mesure de la température à l'aide de capteur LM35DZ, d'effectuer la conversion analogique numérique de la donnée à l'aide d'un PIC 16F 887, et finalement d'afficher la température en Celsius sur un écran à cristaux liquides (LCD).



➤ Objectif principal :

Programmer un thermorégulateur électronique qui affiche la température par une tension sur un écran L.C.D.



Bloc principal



Bloc optionnel

➤ Réalisation :

- La température devra être captée à l'aide d'un capteur, notre choix se porte sur le LM35.
- Afin de traiter les informations nous utiliserons le microcontrôleur 16F887 pour Contrôler l'affichage de la température.
- Il faudra au préalable effectuer une source d'une tension (pile) car 16F887 fonctionne sous +5V.

➤ Les composants utilisés :

❖ Le microcontrôleur pic 16F887 :

Un PIC est un microcontrôleur, c'est à dire une unité de traitement de l'information de type microprocesseur à laquelle on a ajouté des circuits internes permettant de réaliser des montages sans nécessiter l'ajout de composants externes. Il est un composant électronique autonome composé par :

- D'un microprocesseur.
- D'une mémoire vive type mémoire RAM.
- D'une mémoire morte type mémoire Flash.
- D'interfaces d'entrées/sorties parallèles, séries.
- D'interfaces d'entrées/sorties analogiques.
- De TIMERS (registres compteurs de temps ou d'évènements).

Module de conversion A/N:

Le convertisseur A/N convertit le signal analogique présent sur une de ses 8 entrées en son équivalent numérique, codé sur 10 bits. Les pattes AN2 et AN3 peuvent être utilisées comme références de tension ou comme entrées analogiques standard. Les tensions de référence haute et basse peuvent être choisies par programmation parmi : VDD (broche PA3) pour VREF+ et VSS (broche PA2) pour VREF- . On peut donc numériser jusqu'à 8 signaux analogiques...

Capteur de température : LM35 :

Le LM35 est un capteur à circuit intégré qui peut être utilisé pour mesurer la température avec un signal électrique proportionnel à la température (en °C)

Nous pouvons mesurer la température avec plus de précision que l'aide d'une thermistance. Le circuit capteur est scellé et non soumis à l'oxydation, etc.

Le LM35 génère une tension de sortie plus élevée que les thermocouples et ne peut exiger que la tension de sortie soit amplifiée.

Il a une tension de sortie est proportionnelle à la température Celsius. Le facteur d'échelle est 0.1V/°C .

Le LM35 ne nécessite pas de calibration externe ou de taille et maintient une précision de +/- 0,4 °C à température ambiante et +/- 0,8 °C sur une plage de 0 °C à +100 °C.

Le capteur a une sensibilité de 10 mV /°C :

$$\boxed{\text{Température (°C)} * V_{out} = (100^{\circ}\text{C} / \text{V})}$$

Donc, si Vout est 1V, puis, la température = 100 °C La tension de sortie varie linéairement avec la température.

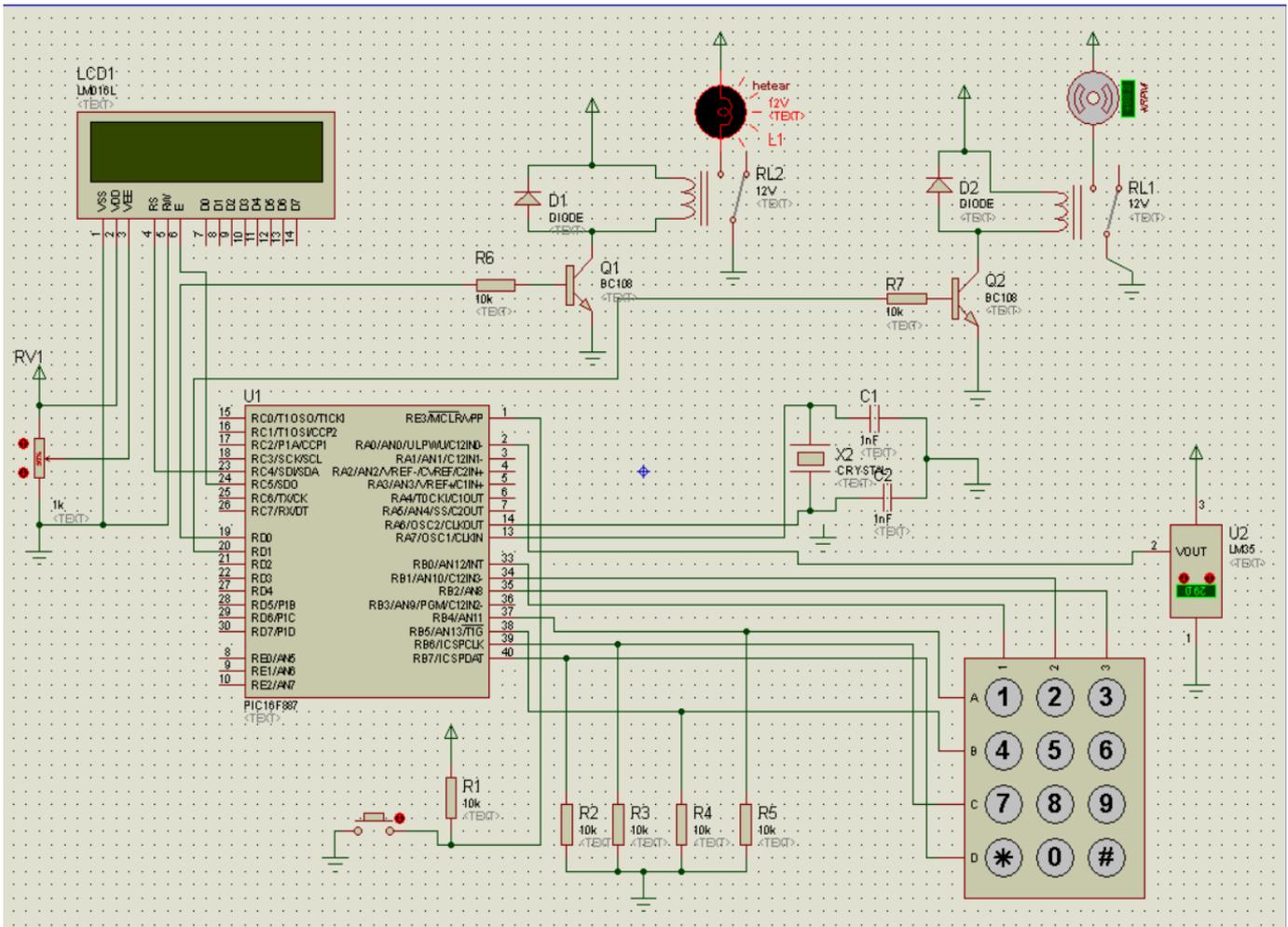


Figure 27 : Schéma du circuit sous ISIS

- **Le fonctionnement prévu est le suivant :**

Le microcontrôleur lit la température toutes les 10 secondes et la compare à la valeur souhaitée, si la valeur souhaitée est supérieure de la valeur de mesure, le dispositif de chauffage sera allumé pour chauffer le liquide, l'élément chauffant est désactivé une fois que la température désirée est atteinte. Si d'autre part la valeur mesurée est supérieure à la valeur désirée alors que le ventilateur est mis en marche pour refroidir le liquide jusqu'à ce que la température désirée soit atteinte. Un écran LCD indique la température mesurée continuellement.

- **fonctionnement du capteur de température LM35 :**

Le capteur de température [LM35] donne une tension de 0.25V à la sortie, dont la variation de [LM35] est linéaire est pour cela on obtient pour chaque variation de 0.01V une température de 1°C.

La relation que doit lire le microcontrôleur est la tension du référence de capteur V_{reff} (dans notre cas est de 5V) diviser sur 1024 (10bit) multiplier par 100 (100 qui est la sensibilité du capteur égale à $25/0.25=100$) multiplier par la tension de sortie de capteur LM35 (V_{out}).

$$\text{Température affiché sur LCD} = (V_{\text{out}} * V_{\text{reff}} * 100 / 1024)$$

On obtenu une relation de variation de température on fonction de la tension de sortie du capteur LM35.

- **Code sous MikroC :**

```
// connexions du module écran LCD
sbit LCD_RS at LATC4_bit;
sbit LCD_EN at LATC5_bit;
sbit LCD_D4 at LATC0_bit;
sbit LCD_D5 at LATC1_bit;
sbit LCD_D6 at LATC2_bit;
sbit LCD_D7 at LATC3_bit;

sbit LCD_RS_Direction at TRISC4_bit;
sbit LCD_EN_Direction at TRISC5_bit;
sbit LCD_D4_Direction at TRISC0_bit;
sbit LCD_D5_Direction at TRISC1_bit;
sbit LCD_D6_Direction at TRISC2_bit;
sbit LCD_D7_Direction at TRISC3_bit;
//Fin connexions du module écran LCD

#define HEATER PORTD.RD0
#define FAN PORTD.RD1
#define ENTER 15
#define CLEAR 13
#define ON 1
#define OFF 0

void main() {
    unsigned short kp,Txt[14];
    unsigned short Temp_Ref ; // Température de référence
    unsigned char inTemp;
    unsigned int temp;
    float mV, ActualTemp;

    Keypad_Init(); // Initialisation du clavier
    ANSELC = 0; // Configurer PORTC comme entrée/sortie numérique
    ANSELB = 0; // Configurer PORTB comme entrée/sortie numérique
    ANSEL D = 0; // Configurer PORTD comme entrée/sortie numérique
    TRISA0_bit = 1; // Configurer AN0 (RA0) comme entrée
    TRISC = 0; //PORTC sont des sorties (LCD)
    TRISD0_bit=0; //RD0 est sortie (Appareil de chauffage)
    TRISD1_bit=0; //RD1 est sortie (ventilateur)
```

```

Lcd_Init();           // Initialisation écran LCD
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // Effacer l'écran
Lcd_Cmd(_LCD_CURSOR_OFF); // supprimer le curseur
Lcd_Out(1, 4, "Automatic");
Lcd_Out(2, 2, "Temp Control");
delay_ms(2000);      //Délai de 2 secondes

HEATER = OFF;
FAN = OFF;

//Au démarrage, lire la température de référence à partir du clavier
START:
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // Effacer l'écran
Lcd_Out(1, 1, "Enter Temp Ref");
Temp_Ref=0;
Lcd_Out(2, 1, "Temp Ref: ");
while(1)
{
do
kp = Keypad_Key_Click(); //Conservez le code de la touche dans la variable kp
while (!kp);
if ( kp == ENTER )break;
if (kp > 3 && kp < 8) kp = kp-1;
if (kp > 8 && kp < 12) kp = kp-2;
if (kp ==14)kp = 0;
if ( kp == CLEAR )goto START;
Lcd_Chrcp(kp + '0');
Temp_Ref =(10*Temp_Ref) + kp;
}
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // Effacer l'écran
Lcd_Out(1, 1, "Temp Ref: ");
intToStr( Temp_Ref,Txt); //Convertir en String
inTemp=Ltrim(Txt);
Lcd_Out_CP(inTemp); //Afficher la température de référence
Lcd_Out(2, 1, "Press # to Cont.");
//Attendez jusqu'à ce que # est pressée

```

```

kp =0;
while(kp!=ENTER)
{
do
kp = Keypad_Key_Click(); //Conservez le code de la touche dans la variable kp
while(!kp);
}
Lcd_Cmd(_LCD_CLEAR); // Effacer l'écran

Lcd_Out(1, 1, "Temp Ref: ");
Lcd_Chr(1,15,223); // Écran LCD Différents ont le code ASCII différents pour le degré
Lcd_Chr(1,16,'C'); // Afficher "C" pour Celsius
//Program Loop
while(1) {
//Afficher la température de référence et la température réelle
temp = ADC_Read(0); //Lire la température de AN0
mV = temp * 5000.0/1024.0; //Convertir en mV
ActualTemp = mV/10.0 ; // Convertir en degrés Celsius
intToStr( Temp_Ref,Txt); //Convertir en String
inTemp=Ltrim(Txt);
//Lcd_Out(1, 1, "Temp Ref: ");
Lcd_Out(1, 11, inTemp); //Afficher la température de référence
Lcd_Out(2, 1, "Temp= ");
FloatToStr(ActualTemp,Txt); //Convertir en String
Txt[4] = 0;
Lcd_Out(2,7,Txt);

//Comparer la température de référence avec la température réelle
if (Temp_Ref > ActualTemp) //Si la température de référence est inférieure à la température réelle, allumer l'Appareil de chauffage
{
HEATER = ON,
FAN = OFF;
}
if (Temp_Ref < ActualTemp) //Si la température de référence est supérieure à la température réelle, allumer le ventilateur
{
HEATER = OFF,
FAN = ON;
}
if (Temp_Ref == ActualTemp) // Si la température de référence est égale à la température réelle, éteindre le ventilateur et l'appareil de chauffage
{
HEATER = OFF,
FAN = OFF;
}
Delay ms(10000); //Attendre 10 secondes puis répéter

```

➤ Simulation :

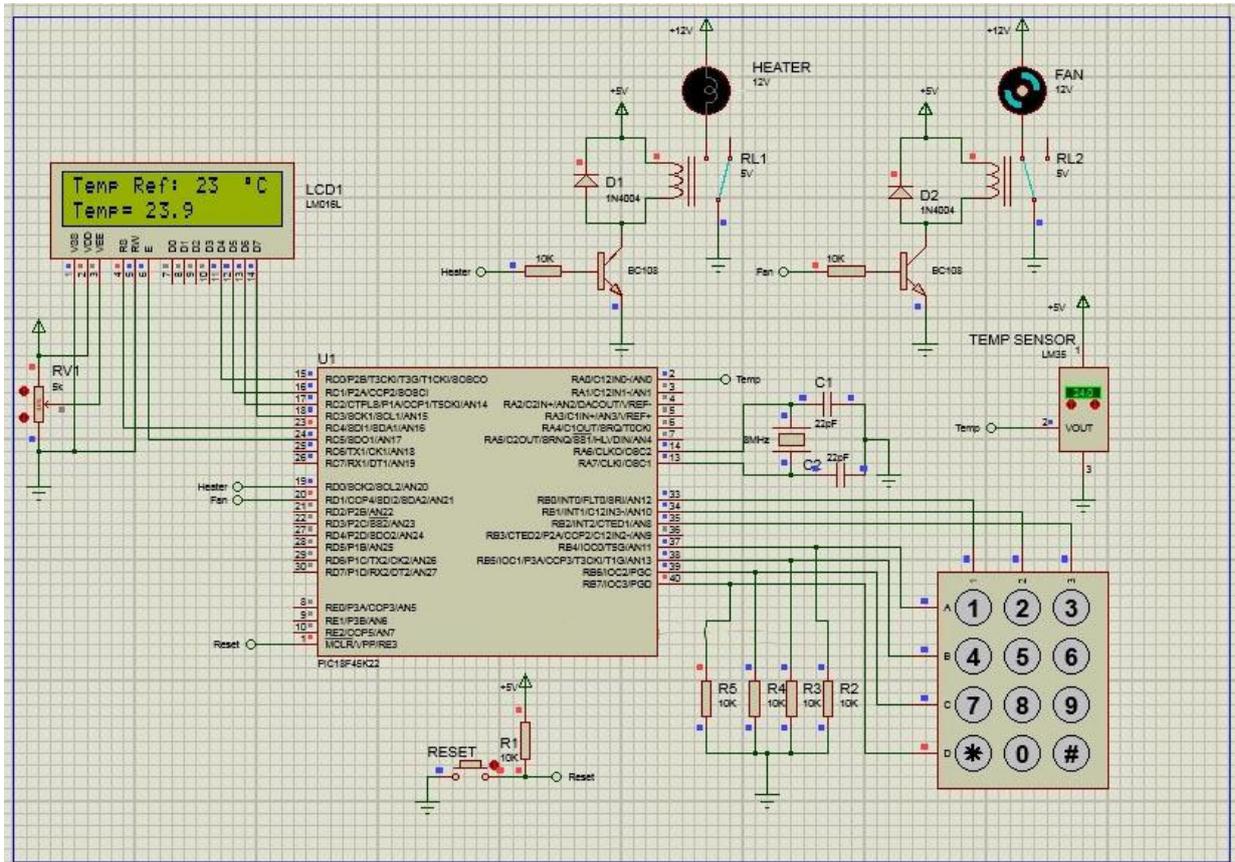


Figure 28 : capture de simulation du circuit sous ISIS

• Interprétation :

Le microcontrôleur lit la température et la compare à la valeur de consigne ($T=23^{\circ}\text{C}$), le dispositif de chauffage s'allume pour chauffer le liquide, l'élément chauffant se désactive une fois que la température désirée est atteinte ($T=23.9^{\circ}\text{C}$).

Ce circuit permet un ajustement **plus précis (0.9°C de différence)** et **plus stable** de la température.

Conclusion :

La qualité de la pièce moulée dépend de manière déterminante d'une évolution de température locale constamment uniforme d'un cycle à l'autre. C'est pour cela un thermorégulateur électronique sera la solution adéquate pour un refroidissement non homogène et températures moule et/ou matière non adaptées.

Conclusion générale

Ce rapport avait pour objectif d'étudier La presse à injection ainsi que les problèmes de moulages et de proposer des solutions pour optimiser ce procédé important dans l'industrie.

Pour cela nous avons proposé d'instrumenter la machine d'injection avec des capteurs, un procédé qui va nous permettre de réduire le temps de réglage et d'identifier plus rapidement les problèmes.

Nous avons pu régler les problèmes dus à la température, un paramètre fondamental dans le moulage par injection, en utilisant un thermorégulateur électronique programmé avec le MikroC pour PIC et en faisant sa simulation avec le logiciel ISIS. Ce procédé a permis un ajustement stable et plus précis de la température.

Ce stage au sein de la société CEAC, nous a été extrêmement enrichissant de part sa diversité tant au point de vue technique, que relation humaine. Il nous a aussi appris à savoir adopter nos connaissances universitaires au domaine pratique.

ANNEXE

Caractéristique technique :

Désignation du type	Ergotech 200-610 / 200-840 / 200-1450	
Désignation internationale	2000-610 / 2000-840 / 2000-1450	
Unité de fermeture		
Force de fermeture dynamique	KN	2200
Force de fermeture statique	KN	575
Course d'ouverture du moule maxi	Mm	310
Hauteur mini du moule	Mm	660
Hauteur maxi du moule	Mm	1235
Distance maxi entre plateaux porte-moule	Mm	830*830
Dimensions des plateaux	Mm	560*560
Espace libre entre colonne	Mm	2500
Poids des moules maxi	Kg	1700
Poids moule maxi dont plateau mobile	Kg	

Ejecteur hydraulique

Course d'éjection	Mm	180
Force d'éjection	KN	80
Force de rappel de l'éjecteur	KN	35

Bibliographie :

Ouvrage :

Oumnad, Abdelmadjid. *Les microcontrôleurs : étude détaillée du PIC .16F887*. Ellipses, 2012. 208.

DEMAG Mannesmann (Manuel de fonctionnement).

Site web :

https://www.researchgate.net/figure/1-Processing-cycle-of-conventional-injection-molding-process-Source-Veltkamp_fig1_221913235

<http://www.etcvn.com/en/delta-solution-achieves-excellent-control-of-plastic-injection-molding-machinery-for-shoemaking.html>

Unité d'injection

Cylindre de plastification				
Diamètre de la vis	mm	40	45	50
Rapport L/D		20	20	20
Pression d'injection (à 400 °C)	Bar	2418	1973	1598
Volume maxi injectable	ccm	255	323	399
Poids de la moulée	G	230	290	360
Course de dosage maxi	mm	203		
Course de la buse maxi	mm	400		
Pénétration de la vis	mm	40		
Force d'application de la buse	KN	80		
Puissance de chauffe du cylindre	KW	11.7	13.0	14.8
Capacité de la trémie	LTr	70		

Caractéristiques générales

Capacité du réservoir d'huile	L	650		
Puissance du groupe motopompe	KW	30/37		
Puissance totale installée	KW	42/49	43/50	45/52
Poids net (sans huile)	Kg	9600		

<https://www.a2p.eu/Thermoregulateurs.asp>

<http://imedelmottakel.blogspot.com/2014/04>

<http://www.mecaplastic-80.com/presse-injection.php>

http://www.ispa.asso.fr/media/formation_technique_injection_077459400

<http://www.danzaplast.com/injection%20moulding%20machines/Demag%20Ergotech%20>

<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/procedes-d-injection-des-thermoplastiques-42151210/securite-dans-les-techniques-d-injection-am3698/>

<http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-822.pdf>

https://www.devicemed.fr/dossiers/equipements-de-production-et-techniques-de-fabrication/metrologie_controle/aide-a-la-mise-au-point-des-outillages-et-du-process-dinjection/7435

<http://help.autodesk.com/view/MFAA/2016/FRA/?guid=GUID-3E3EFE66-AE31-4E50-831E-5944C5820ED6>

https://www.devicemed.fr/dossiers/equipements-de-production-et-techniques-de-fabrication/metrologie_controle/aide-a-la-mise-au-point-des-outillages-et-du-process-dinjection/7435

<https://www.protolabs.fr/ressources/conseils-de-conception/9-défauts-esthétiques-et-comment-les-éviter/>

<https://www.technologuepro.com/cours-moulage/17-defauts-de-moulage.pdf>

<http://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/pedagogiques/5349/5349-ressources-injection.pdf>