



**HAL**  
open science

# Développement et étude de mise en forme par injection des colliers de serrage en matière polyamide

Ahmed Birouti

► **To cite this version:**

Ahmed Birouti. Développement et étude de mise en forme par injection des colliers de serrage en matière polyamide. Matériaux. 2011. dumas-00592127

**HAL Id: dumas-00592127**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00592127v1>**

Submitted on 11 May 2011

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

CENTRE CNAM - MAROC

---

MÉMOIRE

Présenté en vue d'obtenir le

**DIPLÔME D'INGÉNIEUR C.N.A.M.**

Spécialité : MATERIAUX

Option : Matériaux polymères industriels

Par

Ahmed BIROUTI

---

**DEVELOPPEMENT ET ETUDE DE MISE EN  
FORME PAR INJECTION DES  
COLLIERS DE SERRAGE EN MATIERE  
POLYAMIDE**

Soutenu le 26- 01 - 2011

---

Devant le jury composé de :

M. Gilbert VILLOUTREIX	Président
M. Abdellah HADDOUT	Encadrant CNAM
Mme. Josiane VILLOUTREIX	Examinatrice
M. Mohammed GHIAT	Encadrant technique
M. Saïd Kamal HAJJI	Examineur

## Remerciements

Je tiens à remercier INGELEC de m'avoir confié ce projet de développement des propriétés de colliers de serrage injectés. Ce produit qui est à la fois difficile et important pour l'entreprise.

Je tiens à remercier spécialement le PDG M. Mohamed GHIAT d'avoir mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour le bon déroulement du projet.

Je remercie particulièrement mes encadrant de ce mémoire, M. Abdellah HADDOUT, M. Gilbert VILLOUTREIX et Mme Josiane VILLOUTREIX, qui m'ont soutenu le long de ma formation C.N.A.M et le long de ce projet par leurs conseils et leurs encouragements.

Un grand remerciement à tous les intervenants dans ce projet M. Abdellah GOUDANI responsable des méthodes et industrialisation ; M. OUARIY responsable atelier mécanique ; M. Ahmed TAZINE responsable de production du site 4 et M. Abdellah BOUHADA qui nous a fournis des conseils sur le plan technique que sur le plan qualitatif. Ils ont tous contribué à la réussite de ce projet chacun dans son domaine.

Pour terminer, un grand merci à toute ma famille pour tous les encouragements et les espoirs qu'elle a placés en moi. Un grand merci tout particulier à mes filles AYA et ZINEB respectivement 7 ans et demi et 1 ans et ma femme qui ont accepté tout au long de ces 5 longues années passées au C.N.A.M. d'avoir un père et un époux toujours pris par les études.

## RESUME

Les colliers de serrage plastiques sont des produits qu'on peut retrouver dans plusieurs domaines. Ils permettent d'assurer la fonction de fixation et d'assemblage des éléments tels que les câbles. Notre entreprise s'est lancée dans la fabrication de ces produits en 2005 comme une extension de sa gamme de production.

Après cinq ans d'expérience dans la fabrication des colliers des remarques sur le produit ont été soulevées aussi bien sur le plan qualitatif que sur le plan quantitatif.

Plusieurs tentatives d'amélioration ont vu le jour mais sans résultats. L'origine de cet échec était tout simplement la modélisation du problème. Dans ce climat la présente étude a été lancée pour trouver les causes réelles et proposer une éventuelle solution.

Après l'écoute de tous les intervenants dans le produit, des analyses approfondies des causes sont enregistrées. Le choix de la solution n'était pas facile vue la complexité du problème et le nombre d'acteurs qui sont mis en jeu : R&D ; Méthodes et industrialisations ; Production ; Contrôle qualité ; Achats ; commercial...etc.

La solution est basées sur les cinq axes d'amélioration : moyen ; milieu ; méthode ; matière et main d'œuvre. La réalisation d'un moule prototype équilibré en remplissage était essentiel pour déterminer l'efficacité de la matière première testée.

Plusieurs matériaux étaient en compétition tels que : PA6 ; PA66 ; PA12 et des alliages de PA/PP. Des critères de sélection ont été utilisés pour déterminer la meilleure formulation adéquate en termes de rapport : qualité/prix.

Pour cela des essais ont été pratiqués sur les matériaux pour évaluer leurs aptitudes au moulage sur des longueurs importantes suivi par des essais de caractérisation au laboratoire. Ces essais ont satisfait les exigences normatives.

Le mélange PA66/PP a prouvé un bon comportement à l'humidité. Les deux matériaux de base existent déjà dans l'entreprise. L'agent de couplage qui est l'anhydride maléique constitue une nouveauté dans l'entreprise. Il permet de créer des liens entre les nodules du polypropylène avec la phase continue constituée par le polyamide.

Cette étude avait pour mission de résoudre le problème des colliers de serrage et en même temps d'élargir les horizons de choix des matériaux pour tous nos produits. Le climat concurrentiel que connaît le secteur d'appareillages électriques à l'échelon national et international nous oblige à mieux faire avec le minimum de coût.

## SUMMARY

The cable ties are plastic products we can find them in several areas. They ensure the function of fixing and assembly of components such as cables. Our company has engaged in the manufacture of these products in 2005 as an extension of its product range.

After 5 years of experience in making cable ties. Some complaints have been raised on both quality and quantity of the product.

Several attempts for improvement have emerged, but without results. The origin of this failure was simply the problem specification. At this circumstance, the present study was initiated to find the real causes and the best solution.

After listening to the applicants of the product, a depth analysis of cases was registered. The choice of the solution was not easy because of the complexity of the number of actors who are involved: R & D; engineering service; Production service; Quality control service; Purchasing service; commercial service ... etc.

The solution took into account five axes of improvement: tools; environment; method, material and labor. Achieving a balanced prototype mold filling was essential to determine the effectiveness of the material tested.

Several materials were in competition such as PA6, PA66, PA12 and PA / PP alloys. Selection criteria were used to determine the suitable formulation with the best value for money.

For this some tests were performed on materials to evaluate their abilities to mold over long lengths. Impact test; fire test and traction test are the main laboratory tests their results are decisive for the final choice

The PA66/PP blend showed good performance in moisture test. The two basic materials already exist in the company. The coupling agent is the maleic anhydride .It is an innovation in the factory. The A.M create links between the nodules of polypropylene and nylon.

The study mission was to solve the problem of cable ties and simultaneously expand the choice border of materials for all our products. The competitive environment that knows the sector of electrical equipment obliges us to do better with low cost.

# TABLE DES MATIERES

## REMERCIEMENT

RESUME.....	4
SUMMARY.....	6
LISTE DES FIGURES.....	11
LISTE DES TABLEAUX.....	14
INTRODUCTION.....	15

## CHAPITRE I : ETAT DES LIEUX ET ANALYSE DES CAUSES DES PROBLEMES DES COLLIERS DE SERRAGE

I. SITUATION ACTUELLE.....	17
1. Présentation de la problématique.....	18
2. Historiques des non-conformités.....	18
3. Brainstorming des causes.....	21
4. Analyse fonctionnelle.....	23
II. ANALYSE DES CAUSES.....	24
1. Diagramme d'ISHIKAWA.....	24
2. Causes liées à la matière.....	24
3. Causes liées à la méthodologie.....	26
4. Causes liées au site de production.....	28
5. Causes liées à la main d'œuvre.....	28
6. Causes liées aux moyens.....	28
III. MATIERE UTILISEE.....	30
1. Caractéristiques des polyamides.....	31
2. Limitations des polyamides.....	37
IV. METHODE DE TRAVAIL ACTUELLE.....	38
1. Présentation de la méthode de travail actuelle.....	38
2. Limitations et handicaps.....	41
V. MOYENS UTILISES.....	42
1. Les moules utilisés actuellement.....	42
2. Les machines.....	44
3. Dessiccateurs.....	45
4. Broyeurs.....	45
VI. MILIEU.....	45
1. Critiques de la situation.....	45

## **CHAPITRE II : ETUDE ET PROPOSITION DE SOLUTIONS**

<b>I. SOLUTIONS PROPOSEES</b> .....	<b>48</b>
1. Cahier des charges.....	48
2. Sélection des matériaux.....	48
2.1. Analyse des besoins : Compromis à satisfaire.....	48
2.2. Critères techniques intrinsèques.....	50
2.2.1. Aperçu sur les essais.....	50
2.2.2. Comparaison des matériaux proposés.....	52
2.3. Critères techniques industriels.....	53
2.4. Critères économiques.....	53
2.5. Critères spécifiques.....	53
3. Etude de la formulation à base du mélange de polymères.....	54
3.1. Finalités des mélanges de polymères.....	54
3.2. Paramètres thermodynamiques.....	55
3.3. Paramètres de solubilité.....	56
3.4. Comptabilisation.....	57
3.5. Etude de l'application PA/PP.....	58
3.6. Synthèse.....	61

## **CHAPITRE III : MISE EN ŒUVRE DE LA SOLUTION RETENUE ET REALISATION DE MOULE**

<b>I. AXES D'AMELIORATION</b> .....	<b>63</b>
1. Le moule.....	63
1.1. Problèmes à résoudre.....	63
1.2. Choix de l'article.....	63
1.3. Conditions à assurer dans le nouveau moule.....	64
1.4. Conception des empreintes.....	64
1.5. Dessin d'un collier de serrage.....	65
1.6. Définition du nombre optimum d'empreintes.....	67
1.7. Simulation MOLDFLOW.....	69
1.7.1. Temps de remplissage.....	69
1.7.2. Temps de refroidissement.....	70
1.7.3. Pression d'injection.....	71
1.7.4. Température de front de la matière.....	72
1.7.5. Bulles d'air.....	72



1.7.6. Lignes de soudure.....	73
1.7.7. Remplissage par fraction de poids de la moulée..	73
1.7.8. Profil de la vitesse recommandée d'injection.....	74
1.8. Refroidissement du moule.....	75
1.8.1. Généralités.....	75
1.8.2. Bilan thermique du moulage.....	75
1.8.3. Conception du circuit de refroidissement.....	79
1.9. Système à canaux chauds.....	81
1.9.1. Généralités.....	81
1.9.2. Choix technique des composants du système à canaux chauds.....	83
1.10. Système d'éjection.....	85
1.10.1. Généralités.....	85
1.10.2. Conception des éjecteurs.....	85
1.10.3. Guide des 2 parties du moule.....	86
1.11. Encombrement du moule.....	86
2. Machines et Dessiccateurs.....	86
2.1. Caractéristiques de la machine.....	86
2.2. Caractéristiques de dessiccation.....	88
3. Méthodes de travail.....	89
3.1. Avant démarrage de la machine.....	89
3.2. En cours de démarrage.....	90
3.3. En cours de fabrication.....	91
3.4. Fin de la fabrication.....	91
4. Main d'œuvre.....	91
4.1. Définition.....	91
4.2. Conception / industrialisation.....	92
4.3. Mise en production.....	92
4.4. Achat de la matière équivalente.....	92
4.5. Axes d'amélioration.....	93

## **CHAPITRE IV : CARACTERISATION DES PRODUITS FABRIQUES**

<b>I. PROCEDURE DES ESSAIS EXPERIMENTAUX</b> .....	<b>96</b>
1. Objectif des essais.....	96
2. Principaux essais de sanction.....	96
2.1. Mode opératoire des essais.....	96

2.1.1. Impact de l'humidité.....	96
2.1.2. Essai de choc.....	96
2.1.3. Essai de la flamme.....	97
3. Essais sur Cinq matériaux proposés.....	97
3.1. Préparation des matériaux à injecter.....	97
3.1.1. L'agent de couplage.....	97
3.1.2. Préparation des mélanges.....	99
3.1.3. Paramètres de la mise en œuvre.....	99
3.2. Résultats des essais et l'impact de l'humidité sur la force d'arrachement .....	100
3.2.1. Procédure des essais.....	100
3.2.2. Relevés des essais et courbes représentatives.....	101
<b>CHAPITRE V : RESULTATS ET DISCUSSION</b>	
1. Interprétation des résultats.....	104
2. Synthèses des essais.....	105
<b>CHAPITRE VI : ETUDE TECHNICO- ECONOMIQUE</b>	
1. Etude comparative.....	110
2.1. Prix de la matière et poids des colliers 9x355.....	110
2.2. Productivité.....	112
2.3. Qualité de la production.....	112
2. Synthèse.....	113
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>114</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>115</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>119</b>

# Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Photo d'un collier de serrage pour la fixation d'un faisceau de câbles.....	(17)
<b>Figure 2</b> : Colliers de serrage cassables.....	(24)
<b>Figure 3</b> : Décoloration différente sur les colliers de serrage .....	(25)
<b>Figure 4</b> : Présence des bulles d'air à l'intérieur des colliers.....	(25)
<b>Figure 5</b> : Présence des retassures sur un collier 9x265.....	(26)
<b>Figure 6</b> : Bavures sur des les colliers 9x265 .....	(26)
<b>Figure 7</b> : Photo des colliers de serrage éparpillés sur le banc de la machine après éjection .....	(27)
<b>Figure 8</b> : L'ergonomie de la machine en cours d'injection des colliers de serrage.....	(27)
<b>Figure 9</b> : Photo d'un exemple d'incident sur les moules : fissuration.....	(29)
<b>Figure 10</b> : Photo d'un exemple d'un moule non équilibré.....	(29)
<b>Figure 11</b> : schématisation de la liaison hydrogène .....	(31)
<b>Figure 12</b> : Représentation schématique des liaisons hydrogène (En pointillé bleu) entre les chaînes de polyamide 6-6 .....	(32)
<b>Figure 13</b> : Courbes contrainte-allongement en traction à 23 °C de PA 6-6 non chargés, à différentes teneurs en eau absorbée (% en masse).....	(33)
<b>Figure 14</b> : Absorption d'humidité des différents polyamides non chargés.....	(34)
<b>Figure 15</b> : Relation entre le %d'humidité absorbée par Les PA et l'humidité relative dont il est exposé.....	(35)
<b>Figure 16</b> : % d'humidité absorbée dans le temps par Les PA à des températures différentes.....	(35)
<b>Figure 17</b> : Variation de la permittivité relative à 23 °C, sous 30 V et 1 kHz, de différents polyamides en fonction de l'humidité relative de l'air ambiant dans lequel les PA sont en équilibre.....	(36)
<b>Figure 18</b> : les différents éléments d'addition dans un matériau.....	(37)
<b>Figure 19</b> : Schématisation de l'évolution des prix d'un produit en fonction des performances souhaitées.....	(38)
<b>Figure 20</b> : Colliers en plein air pour la prise d'humidité .....	(40)
<b>Figure 21</b> : Exemple de sachets d'emballage des colliers de serrage.....	(41)
<b>Figure 22</b> : Exemple de machine d'injection ENGEL.....	(44)
<b>Figure 23</b> : Accessibilité et l'ergonomie d'une machine qui travail les colliers de serrage...	(46)
<b>Figure 24</b> : Méthode de sélection des matériaux pour une application donnée.....	(49)
<b>Figure 25</b> : Photo de la machine de traction de la boucle.....	(50)
<b>Figure 26</b> : Position du PA et du PP dans la classification industrielle des matériaux	

polymères.....	(54)
<b>Figure 27:</b> Diagramme de type UCST et LSCT pour un mélange de polymères A et B....	(55)
<b>Figure 28:</b> Adhésion en PA6 et PP.....	(57)
<b>Figure 29:</b> Cliché MEB d'un mélange de type ORGALLOY (CERDATO-ARKEMA) .....	(59)
<b>Figure 30:</b> Evolution du module en flexion en fonction de la prise d'humidité pour le PA6, le PA66 et leurs mélanges avec du PP .....	(61)
<b>Figure 31:</b> Photo d'un collier de serrage de type 9 x 265.....	(63)
<b>Figure 32:</b> Stabilité dimensionnelle du PA66/PP [RS6600] .....	(65)
<b>Figure 33:</b> dessin de définition d'un collier de serrage de type 9xL .....	(66)
<b>Figure 34:</b> Calcul du prix de revient en fonction du nombre d'empreintes.....	(67)
<b>Figure 35:</b> Schématisation de la position des empreintes sur le moule .....	(68)
<b>Figure 36:</b> Gros plan sur les nappes et les canaux d'alimentation.....	(69)
<b>Figure 36a :</b> Simulation du temps de remplissage des colliers de serrage.....	(70)
<b>Figure 36b :</b> Simulation du temps de refroidissement des colliers de serrage.....	(71)
<b>Figure 36c :</b> Simulation de l'évolution de la pression d'injection dans le moule des colliers de Serrage.....	(71)
<b>Figure 36d :</b> Simulation de l'évolution de la température de front de la matière dans le moule des colliers de serrage.....	(72)
<b>Figure 36e:</b> Simulation des lieux de présence des bulles d'air dans colliers de serrage....	(73)
<b>Figure 36f :</b> Simulation des lieux de présence des lignes de soudure dans colliers de serrage .....	(73)
<b>Figure 36g :</b> Simulation de l'évolution de remplissage dans colliers de serrage.....	(74)
<b>Figure 36h :</b> Simulation de la vitesse recommandée d'injection.....	(74)
<b>Figure 37 :</b> Courbes enthalpiques de différents polymères.....	(76)
<b>Figure 38 :</b> Gradient de température dans les canaux de refroidissement et dans l'épaisseur du moule, pour différents métaux constitutifs.....	(77)
<b>Figure 39 :</b> Abaque relatif aux échanges thermiques dans le moule.....	(79)
<b>Figure 40:</b> Un moule isolé thermiquement.....	(79)
<b>Figure 41:</b> Influence de la position des canaux par rapport à la surface de l'empreinte sur la température $T_p$ .....	(81)
<b>Figure 42:</b> Différents système d'injection des matières thermoplastiques.....	(82)
<b>Figure 43 :</b> Principe d'un système à canaux chauds similaire à celui choisi dans notre application.....	(83)
<b>Figure 44 :</b> Détail d'un système à canaux chauds pour PA66 avec les températures de la matière dans les différentes positions.....	(83)
<b>Figure 45 :</b> Différentes étapes dans le processus de fabrication des colliers de serrage..	(39)

<b>Figure 46:</b> Bloc de distribution avec un schéma du flux de la matière.....	<b>(84)</b>
<b>Figure 47 :</b> Collier chauffant.....	<b>(85)</b>
<b>Figure 48 :</b> Colliers 9x355 avec positions des éjecteurs sur une des pièces.....	<b>(86)</b>
<b>Figure 49 :</b> Contact buse de la machine et cheminé moule.....	<b>(90)</b>
<b>Figure 50 :</b> Type de buse spéciale pour les polyamides.....	<b>(90)</b>
<b>Figure 51:</b> Enceinte remplie d'eau chauffée à 90°C.....	<b>(96)</b>
<b>Figure 52 :</b> Application de la flamme à un échantillon de collier de serrage.....	<b>(97)</b>
<b>Figure 53:</b> Symbole chimique d'une molécule de l'anhydride maléique .....	<b>(98)</b>
<b>Figure 54 :</b> Echantillon de l'anhydride maléique utilisé dans les essais.....	<b>(98)</b>
<b>Figure 55 :</b> L'amélioration de la force de traction en fonction du taux utilisé de L'A.M. dans un mélange.....	<b>(99)</b>
<b>Figure 56:</b> Les étapes de préparation des échantillons de 3 matières PA6 ; PA66 et PA66/PP pour la prise d'humidité puis l'essai de traction.....	<b>(101)</b>
<b>Figure 57 :</b> Courbe de comparaison entre les 3 matériaux avec les mêmes conditions d'humidité.....	<b>(102)</b>
<b>Figure 58 :</b> Histogrammes montrant le comportement de chaque matériau par rapport aux temps d'immersion.....	<b>(104)</b>
<b>Figure 59:</b> Comparaison entre 2 moulées à gauche PA/PP et à droite en PA66 .....	<b>(106)</b>
<b>Figure 60:</b> Comportement des 3 matières à l'essai de la flamme.....	<b>(106)</b>
<b>Figure 61:</b> SEM micrographs of PA/PP blends: (a) unmodified 70/30 blends; (b) Modified blends PA/PP/PA-TMA10-C8 glycidyl ether (1/1/1).....	<b>(107)</b>
<b>Figure 62:</b> Emballage non adéquat avec la nature de la matière des colliers.....	<b>(108)</b>
<b>Figure 63 :</b> Colliers de serrage (SAREL) du type 9xL sont en PA12 .....	<b>(124)</b>
<b>Figure 64 :</b> Colliers de serrage (Legrand) du type 9xL sont en PA12 .....	<b>(124)</b>
<b>Figure 65 :</b> Processus actuel de fabrication des colliers de serrage.....	<b>(112)</b>
<b>Figure 66 :</b> Processus amélioré de fabrication des colliers de serrage.....	<b>(112)</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Prévisions de production des principaux colliers « source production INGELEC .....	<b>(18)</b>
<b>Tableau 2</b> : Défauts concernant la qualité et la production .....	<b>(18)</b>
<b>Tableau 3</b> : Extrait des réclamations clients « source : indicateurs des réclamations clients d'INGELEC 2009 /2010 » .....	<b>(21)</b>
<b>Tableau 4</b> : Les défauts et leurs origines possibles.....	<b>(22)</b>
<b>Tableau 5</b> : Cahier de charges.....	<b>(23)</b>
<b>Tableau 6</b> : Liste des moules des colliers de serrage et leurs machines respectives.....	<b>(42)</b>
<b>Tableau 7</b> : Cahier des charges des colliers de serrage plastiques.....	<b>(48)</b>
<b>Tableau 8</b> : Liste de la tenue minimale à la traction de la boucle.....	<b>(51)</b>
<b>Tableau 9</b> : Classes des températures maximales pour un usage permanent.....	<b>(51)</b>
<b>Tableau 10</b> :Classes températures minimales pour un usage permanent .....	<b>(51)</b>
<b>Tableau 11</b> : Liste des classes des temps d'application de la flamme exigés par la norme.....	<b>(52)</b>
<b>Tableau 12</b> : Paramètre de solubilité des polymères .....	<b>(57)</b>
<b>Tableau 13</b> : Propriétés de mélanges PA66/PP et PA66/élastomère.....	<b>(58)</b>
<b>Tableau 14</b> : Liste de quelques fournisseurs et produits.....	<b>(60)</b>
<b>Tableau 15</b> : Caractéristiques du mélange "ORGALLOY" .....	<b>(60)</b>
<b>Tableau 16</b> : Les prévisions annuelles en production des colliers de serrage 9xL.....	<b>(67)</b>
<b>Tableau 17</b> : Diamètre du canal de refroidissement en fonction de l'épaisseur de la pièce à injecter.....	<b>(80)</b>
<b>Tableau 17a</b> : Paramètres de séchage des 3 matières. ....	<b>(88)</b>
<b>Tableau 18</b> : Correspondance des colliers et leurs matières premières et fournisseurs ...	<b>(93)</b>
<b>Tableau 19</b> : Formulations préparées.....	<b>(99)</b>
<b>Tableau 20</b> :Paramètres de réglage pour chaque matériau utilisés dans l'expérience.....	<b>(99)</b>
<b>Tableau 21</b> : Les températures utilisées au dessiccateur ; au machine et au moule .....	<b>(100)</b>
<b>Tableau 22</b> : Relevé des essais de traction pour les différents matériaux a différentes durées d'immersion dans l'eau .....	<b>(100)</b>
<b>Tableau 23</b> : comparaison des 5 matériaux en compétition .....	<b>(105)</b>
<b>Tableau 24</b> : Poids des colliers de serrage en fonction des matériaux utilisés pour le nouveau moule .....	<b>(110)</b>
<b>Tableau 25</b> : Poids des colliers de serrage en fonction des matériaux utilisés pour l'ancien moule .....	<b>(111)</b>
<b>Tableau 26</b> : Comparaison des matériaux en (prix /poids) pour les colliers de serrage .....	<b>(111)</b>

## INTRODUCTION

Les colliers de serrage sont utilisés dans plusieurs domaines industriels. Ils existent sous plusieurs formes avec différents matériaux : Colliers métalliques ; colliers semi-métalliques et colliers plastiques. La présente étude se portera sur les colliers fabriqués en thermoplastiques.

En effet ces colliers doivent répondre aux exigences réglementaires et à leurs cahiers des charges. La quantité fabriquée annuellement dépasse 41 millions et cela nous renseigne sans doute sur l'importance consacrée par l'entreprise à ce genre d'articles.

Les colliers thermoplastiques sont fabriqués généralement en polyamide. Ce matériau répond convenablement aux exigences mécaniques et électriques demandées sur le produit. En contre partie le polyamide présente des limitations par sa sensibilité à la fois à l'absorption de l'eau et sa rapidité de décomposition lorsqu'il est exposé à des températures élevées.

Notre étude traitera les différents facteurs nécessaires qui pourront assurer une cadence élevée de production ; une élasticité nécessaire des colliers et une qualité maîtrisée dans le temps.

Afin d'assurer une bonne modélisation du problème, cette étude traitera le problème selon les cinq "M" : Matière ; Moyen ; Méthodes ; Milieu et Main d'œuvre.

Cette étude débutera par l'établissement de la situation actuelle qui retracera la problématique sous plusieurs angles. En suite une série de causes probables ont été énumérées afin de cerner le problème dans tous ses aspects. Et finalement plusieurs axes d'amélioration sont proposés touchant les cinq M et sont mis en œuvre sur l'article le plus critique « collier 9x355 » à savoir la réalisation d'un moule prototype et le développement d'un matériau économique plus adapté à la fonction de serrage des colliers et les circonstances dont ils sont soumis.

Une étude économique clôturera ce projet afin de donner le volume de gain qu'on peut atteindre avec la nouvelle solution.

**CHAPITRE I :**  
**ETAT DES LIEUX ET ANALYSE DES CAUSES DES**  
**PROBLEMES DES COLLIERS DE SERRAGE**



## I. SITUATION ACTUELLE

### 1. Présentation de la problématique

#### 1.1. Rôle des colliers de serrage en matière plastique

Les colliers sont des éléments de fixation ou de serrage de deux ou plusieurs pièces. Ils sont utilisés principalement dans le domaine de câblage au niveau des tableaux électriques et dans le domaine de l'automobile au niveau des tableaux de bords. (Figure 1)



Figure 1 : Photo d'un collier de serrage pour la fixation d'un faisceau de câbles [24]

Ils sont classés par leurs fonctions en deux types :

- Colliers non démontables.
- Colliers démontables.

Les colliers par leur nature d'utilisation sont fabriqués en grandes quantités (l'ordre en million par an).

Afin de prendre une idée sur l'ordre de grandeur sur les quantités fabriquées vous trouverez dans le tableau ci-dessous les prévisions annuelles des principaux colliers à INGELEC :

Colliers (Largeur x longueur)	Quantité (million)
4.7 x 370	10
7.6 x 340	5.54
2.5 x 200	4.36
7.6 x 265	4.3
7.6 x 185	3.84
3.6 x 300	3.6
2.5 x 95	2.44
4.7 x 350	2.4
3.6 x 140	2.16

Tableau 1 : Prévisions de production des principaux colliers

## 1.2. Présentation de la problématique

Les colliers plastiques sont fabriqués en grandes quantités, leurs moules sont caractérisés par leurs grands nombres d'empreintes allant de 20 empreintes à 52 empreintes. Les colliers sont fabriqués en polyamide. Tout l'enjeu est de remplir rapidement tous ces empreintes sans provoquer de défauts ou de contraintes sur le produit final. La prise d'humidité du polyamide n'est pas maîtrisée ce qui agit d'une façon négative sur deux phénomènes antagonistes l'élasticité d'une part et la rigidité d'autre part.

Voici l'ensemble des défauts constatés concernant la qualité et la production (tableau 2) :

Défauts qualité	Défauts production
<ul style="list-style-type: none"><li>- Brûlures</li><li>- Bavures</li><li>- Bulles</li><li>- Incomplets</li><li>- Casse</li><li>- Décoloration</li><li>- Saleté</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Consommation inadaptée du broyé</li><li>- Problème de convoyage</li><li>- Opération de tri</li><li>- Prise d'humidité non maîtrisée</li></ul>

Tableau 2: Défauts concernant la qualité et la production

## 2. Historique des non-conformités

Le long des années de fabrication des colliers plusieurs réclamations internes ou/et externes ont été enregistrées permettant de donner une vision claire sur les points faibles aux quels l'entreprise doit faire face afin de maîtriser la fabrication des colliers.

Une opération de tri est instaurée d'une façon automatique à la sortie des machines d'injection permettant de déceler 30 % à 40% de colliers non conformes.

La variation de la fluidité de la matière ainsi que le non-équilibre des moules ont causé l'arrêt des empreintes à problème et par conséquent une chute en productivité.

Un ensemble de tâches de contrôle ; de vérification ou de tri sont instaurées exclusivement dans le processus de fabrication des colliers :

- Contrôle de réception de la matière première
- Autocontrôle : l'opérateur lui-même qui procède à un contrôle par la vérification des produits aux pieds des machines
- Contrôle aléatoire: l'agent qualité qui procède à un audit de processus

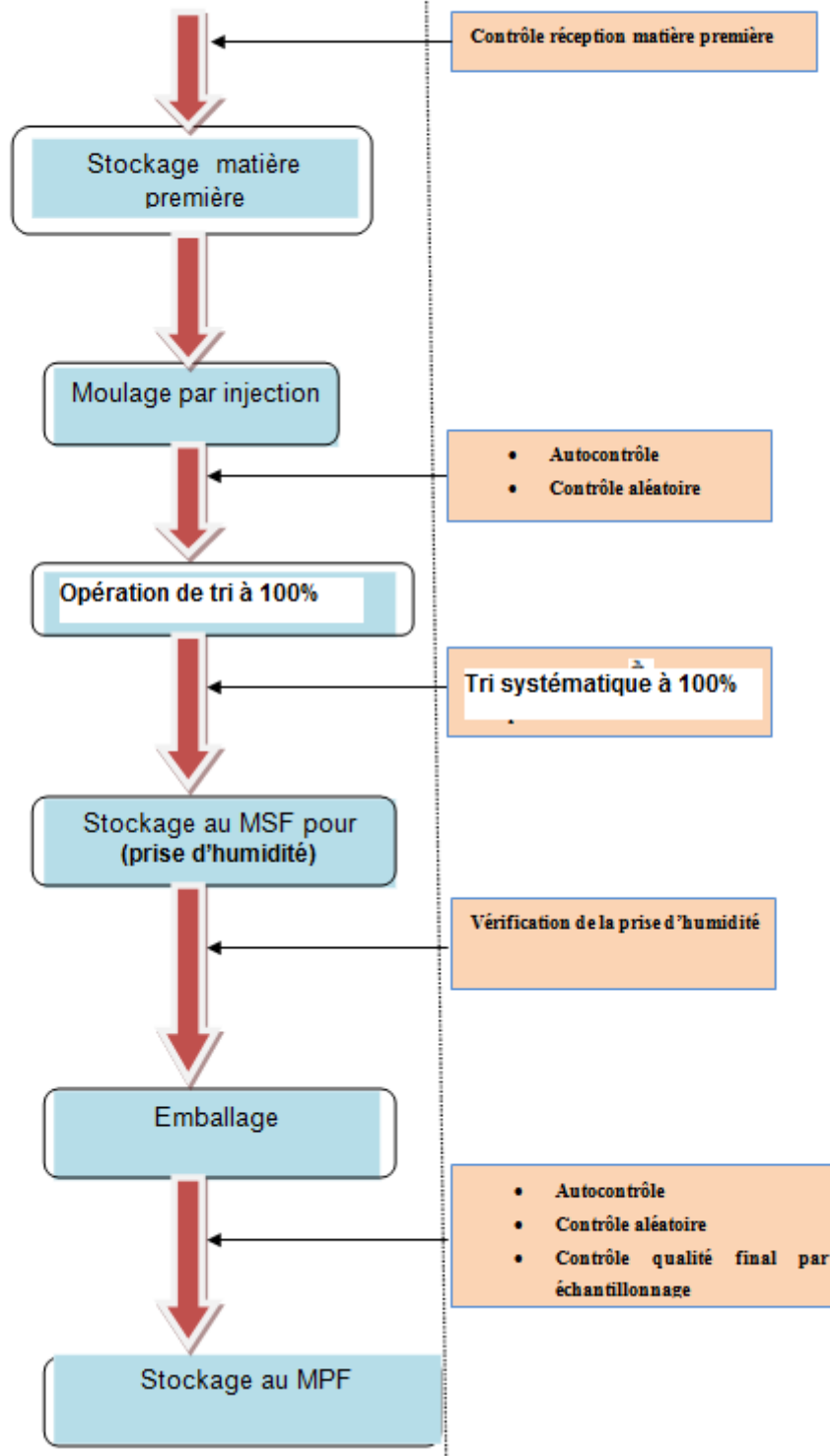
par la vérification des produits aux pieds des machines

- Tri avant stockage au magasin semi-fini.
- Vérification de la prise d'humidité après trois semaines de séjour
- Autocontrôle pendant la mise en emballage
- Contrôle qualité final avant expédition

Vous trouverez ci-dessous un schéma du processus de fabrication des colliers avec les différents points de contrôle ; de vérification ou de tri.

## PROCESSUS DE FABRICATION DES COLLIERS

## POINTS DE CONTROLE DE VERIFICATION ET DE TRI



Le tableau ci-dessous résume les réclamations clients pour les années 2009 - 2010

Année	trimestres	Quantité (unité)	Fréquences
2009	1	100	1
2009	2	7200	6
2009	3	606000	4
2009	4	337000	5
2010	1	369000	3
2010	2	118000	5
2010	3	100	3

Tableau 3 : Extrait des réclamations clients.

Les réclamations clients sont remarquables. En effet, ces retours se situent en première position quant à l'ensemble des réclamations et requièrent ainsi une attention particulière de la part de l'entreprise.

### **3. Brainstorming des causes**

Cette opération permet de lister les différentes causes qui peuvent être à l'origine des défauts constatés. Ensuite les principaux axes à améliorer vont être définis.

Le tableau 4 résume les principaux défauts et leurs origines possibles.

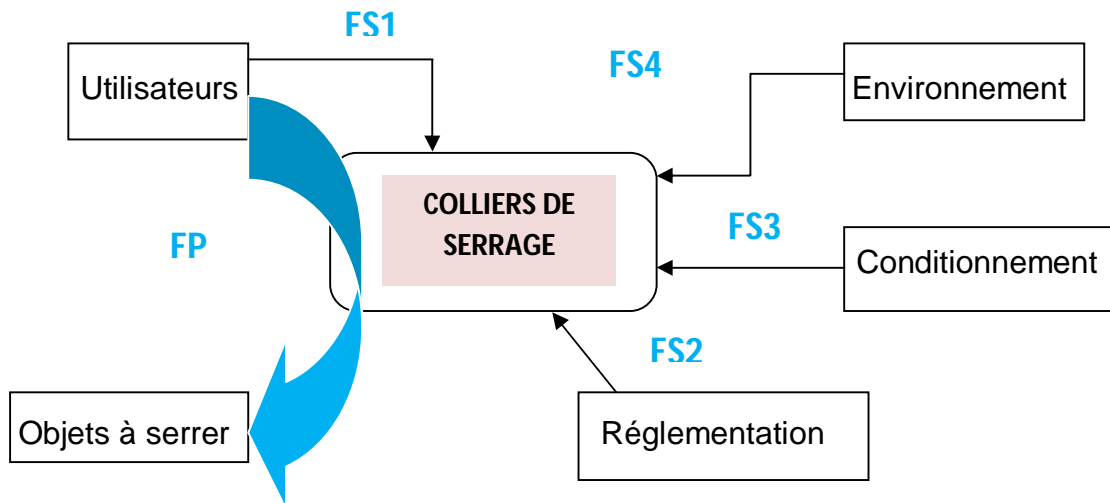
	<b>Moule</b>	<b>Matière</b>	<b>Méthode</b>	<b>Machine</b>
<b>Bulles</b>	-Dimensions évents	Matière humide	-Pression maintien faible. -Contre pression insuffisante. -Matière mal étuvée. -Températures non adéquates.	
<b>Incomplets</b>	-Dimensions évents -Nombre de seuils d'alimentation réduit. -Dimensions carotte.	-Fluidité insuffisante	-Pression d'injection insuffisante. -Température matière et moule trop basse. -Verrouillage élevé. -course de dosage faible.	-Etat du clapet anti-retour
<b>Bavures</b>	-Usure du moule	-Indice de fluidité trop grand	-Faible force de verrouillage. -Pression de maintien élevée. -Température moule matière élevée.	
<b>Casse</b>		-Granulométrie non constante.	-Broyage non soigné -Maintien non optimisé ou vitesse d'injection trop forte (contraintes internes).	
<b>Brûlures</b>	-Non évacuation de l'air dans l'outillage.		-Vitesse d'injection trop forte. -Températures élevées	
<b>Décoloration</b>			-Temps de séjour trop lent.	
<b>Saleté</b>			-Conditionnement	
<b>Stockage 21 jours</b>		-Matière hygroscopique		

Tableau 4: Les défauts et leurs origines possibles

#### 4. Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle permet de recenser les différentes fonctions associées au produit tout en prenant en compte l'environnement dans lequel l'article est utilisé.

##### Diagramme de pieuvre



**FP** : Serrer et maintenir

**FS1** : Résister aux sollicitations mécaniques de l'utilisateur

**FS2** : Répondre aux normes

**FS3** : Facile au rangement

**FS4** : Résister aux attaques environnementales

Prenons l'exemple du collier 4.7x370 le cahier des charges de cette article est défini par la norme EN50146.

Pour cela le collier doit respecter les exigences suivantes (tableau 5) :

Niveau de flexibilité: A- pas de flexibilité, B- flexibilité

N°	Désignation	Critère	Niveau	Flexibilité
1	Serrer, bloquer et maintenir	Efforts en traction (daN)	22	A
2	Respecte le serrage	Diamètre (mm)	1.6 - 102	A
3	Tenue en température	T° d'utilisation (°C)	(-40) – (85)	B
4	Comportement au feu		HB	A

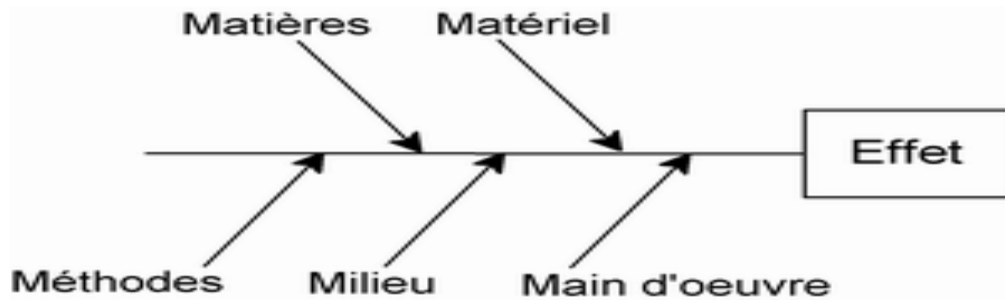
Tableau 5: Cahier des charges (\*)

(\*) Ces valeurs sont extraites de la norme pour le collier 4.7x370

## II. ANALYSE DES CAUSES

### 1. Diagramme D'ISHIKAWA

Cet outil graphique issu d'un brainstorming, hiérarchise les causes aboutissant à un effet. Son analyse permet de résoudre un problème ou la mise en place d'un projet :



### 2. Causes liées à la matière

Dans cette partie on traitera les causes liées à la matière première. Dans notre cas la matière première utilisée est le polyamide.

Les polyamides sont connus par leurs rigidités mécaniques et leurs propriétés d'isolation. Ils sont utilisés dans plusieurs domaines et spécialement le domaine électrique. Les causes liées à la matière sont :

**La casse :** Le polyamide est un matériau rigide et cassable après sa transformation. Il est donc impératif de son utilisateur d'attendre sa prise d'humidité pour son utilisation ou pour continuer la suite des opérations de fabrication (Figure 2).



Figure 2 : Colliers de serrage cassables



**Décoloration :** Ce phénomène est le signe d'un début de dégradation du matériau causé par les facteurs suivants : temps de séjour ou la température de matériau élevée dans le fourreau. (Figure 3)



Figure 3 : Décoloration différente sur les colliers de serrage

**Bulles :** Ce défaut est lié principalement à la présence de l'humidité dans le matériau. (Figure 4)



Figure 4 : Présence des bulles d'air à l'intérieur des colliers.

**Incomplet / bavure :** Ce défaut peut être causé par la fluctuation de la viscosité de la matière première. (Figure 5)



Figure 5 : Présence des retassures sur un collier 9x265



Figure 6: Bavures sur des les colliers 9x265

### 3. Causes liées à la méthodologie

Cette cause est la plus importante parmi les cinq M. Il constitue la façon de faire. Les colliers sont fabriqués par million .Les machines réservées ne sont pas équipées pour la très grande série.

**Saletés :** Après l'éjection des pièces par la machine les colliers sont éparpillés dans tous les sens. Il en résulte la saleté des produits fabriqués. (Figure 7)



Figure 7: photo des colliers de serrage éparpillés sur le banc de la machine après éjection

**Désordre :** Comme décrit précédemment, le produit fabriqué n'est pas acheminé correctement vers les contenances, ce qui rend la tâche difficile pour l'opérateur à ranger son poste et/ou exécuter son autocontrôle.(Figure 8)



Figure 8 : L'ergonomie de la machine en cours d'injection des colliers de serrage

**Insuffisance de la reprise d'humidité :** l'opération d'arrosage des colliers n'est pas pratique .Il sont arrosés dans leurs contenances ce qui rend la prise d'humidité irrégulière.

**Dégradation de la matière :** Le travail avec des paramètres de réglage dans leurs limites supérieures « température de séchage ; température de moule ; vitesse de rotation de la vis...etc. » rends la matière sujette à la dégradation. Les arrêts répétitifs pour la maintenance ; le réglage ou autres interventions causent immédiatement la dégradation des produits.

Aussi la non-maitrise de la gestion des broyés constitue également un autre facteur de la dégradation de la matière.

Ce défaut est difficilement détectable par l'opérateur ou par le contrôle mais il est généralement accompagné par le dégagement d'une odeur.

#### **4. Causes liées au site de production**

La fabrication des colliers nécessite un milieu adéquat :

- Éclairé : Pour la détection de toutes les anomalies visuelles « jaunissement ; brûlures ; manque de matière ».
- Moins de poussières : un milieu poussiéreux cause le dépôt de la saleté sur les colliers après l'arrosage.

#### **5. Causes liées à la main d'œuvre**

Ce facteur est l'élément clé dans cette opération. Il est responsable de :

- La qualité de la production (Autocontrôle ; essais...etc.) ;
- Le feed-back pour toutes les remarques d'amélioration du procédé ;
- La gestion de la production ;
- La formation adéquate des opérateurs.

Le facteur humain englobe l'ensemble des acteurs qui ont un lien avec le procédé et qui peuvent agir positivement ou négativement.

#### **6. Causes liées aux moyens**

- **Le moule :**

L'ensemble des colliers sont fabriqués par plusieurs moules. Ce paramètre sera analysé de point de vue conception :

**La maintenabilité :** le moule est fabriqué d'un acier prétraité .Ses empreintes sont taillées directement dans la carcasse. Ce qui rend son entretien difficile voire impossible dans le cas d'une casse ou usure (Figure 9)

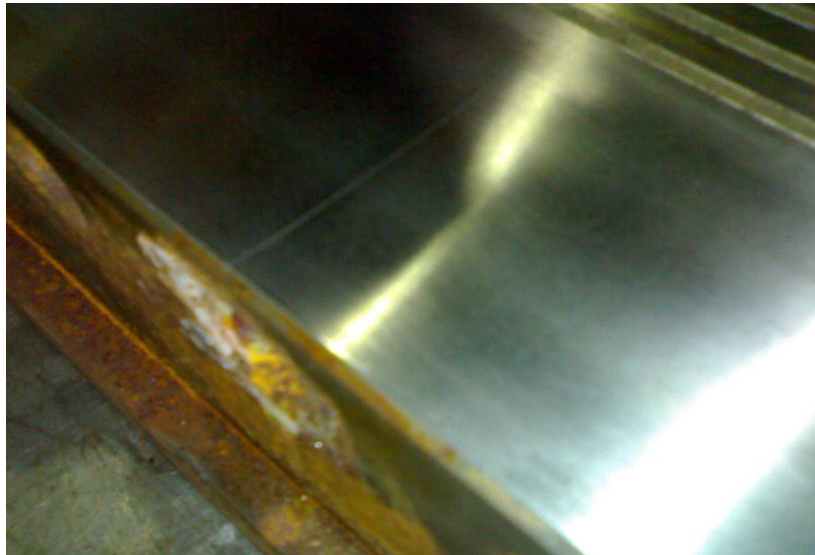


Figure 9: Photo d'un exemple d'incident sur les moules : fissuration

**L'efficacité des événements** : Des bulles sont emprisonnées dans les pièces injectées. Elles sont causées par la non-efficacité des événements d'une part et par la force de fermeture qui peut atteindre 400 T d'autre part.

**Equilibrage des empreintes des moules** : Le non-équilibrage du moule est à l'origine de plusieurs non-conformités. (Manque matière ; retassures relâchement dans la force de traction...etc.)(Figure 10)



Figure 10 : Photo d'un exemple d'un moule non équilibré

- **La machine**

Le choix des machines est important dans l'optimisation du procédé. Une

machine dont la capacité est supérieure au moule peut induire à la dégradation de la matière (Capacité de dosage est grande) et elle peut aussi causer l'usure ou la fissuration du moule dans le cas d'un verrouillage mal réglé.

- **Le Dessiccateur :**

Les dessiccateurs jouent un rôle très important dans la préparation de la matière. Deux remarques peuvent être notées :

- La position des dessiccateurs par rapport à l'opérateur (Aucune visibilité en cas d'anomalie).
- L'adéquation de la capacité de dessiccation avec le besoin réel des moules.

### III. LA MATIERE UTILISEE

Les polyamides sont des polymères semi-cristallins préparés par une réaction chimique appelée polycondensation. Ci-dessous des exemples de polyamides aliphatiques :

« Homopolyamides aliphatiques :

- poly (caprolactame) PA 6
- poly (hexaméthylène adipamide) PA 6-6
- poly (hexaméthylène sébaçamide) PA 6-10
- poly (lauroamide) PA 12
- poly (undécanamide) PA 11
- poly (tétraméthylène adipamide) PA 4-6
- poly (hexaméthylène azélaamide) ou poly (hexaméthylène nonanediamide) PA 6-9
- poly (hexaméthylène dodécanediamide) PA 6-12 » [1]

Dans la présente étude, nous allons donner un aperçu sur le PA6 et le PA66 qui sont les deux polyamides dans notre étude.

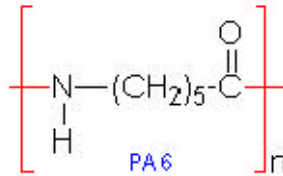
#### ✓ Polyamide 6.6



Le PA66 a été découvert en 1936 et mis en production en 1938 par la société Dupont. Il fait partie de la famille des thermoplastiques semi-cristallins. Il est obtenu par polycondensation à la suite d'une réaction équilibrée entre les groupes terminaux

NH<sub>2</sub> (amine) et COOH (acide) et qui conduit à la formation de groupes CONH (amide) et d'eau. Il existe différents types de polyamides, leurs propriétés sont conditionnées par leur teneur en fonctions amides. [4]

## ✓ Polyamide 6



### 1. Caractéristiques des polyamides

#### 2.1. Propriétés physiques

“Les PA ont une densité allant de 1.04 à 1.15.

Sous certaines conditions de fabrication et en faible épaisseur, les PA peuvent être transparent mais en général sont translucides à opaques (fortes épaisseurs).

Les PA reprennent 2.5% d'eau dans des conditions normales à 50% d'humidité relative (HR), et jusqu'à 8.5% dans une ambiance saturée (100% HR)” [2]

L'eau a un impact sur le polyamide. Il permet de baisser son T<sub>g</sub>. Il joue le rôle dans plastifiant. Cela est dû à la liaison hydrogène présente dans sa structure des polyamides :

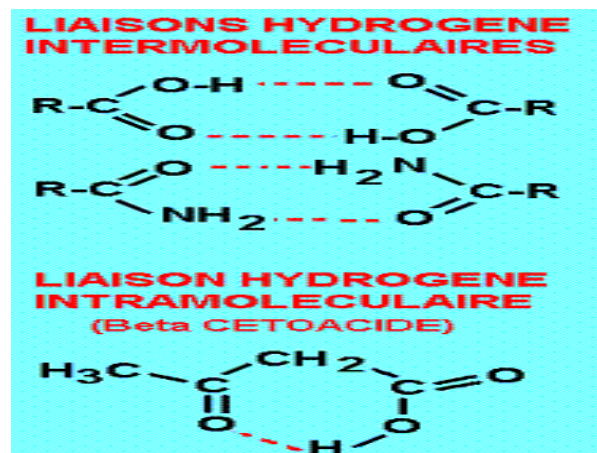


Figure 11: schématisation de la liaison hydrogène. [25]

Qu'est ce qu'une liaison hydrogène ?

'Les liaisons hydrogène, interactions électrostatiques entre un atome d'hydrogène lié à un atome fortement électronégatif (N) et un groupement polaire comportant un atome fortement électronégatif (O), sont très énergétiques car elles font intervenir des moments

dipolaires importants, aux très faibles distances inter-polaires liées à la petite taille des atomes mis en jeu. [4]

La figure 12 représente des liaisons hydrogènes au niveau du PA66 :

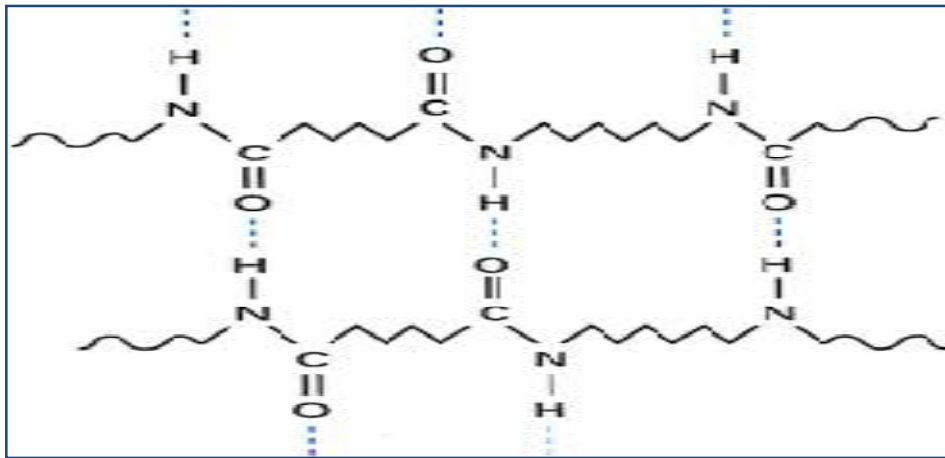


Figure 12 – Représentation schématique des liaisons hydrogène (En pointillé bleu) entre les chaînes de polyamide 6-6 [3]

Une absorption exagérée d'eau altère négativement les propriétés mécaniques, thermiques et électriques.

## 2.2. Propriétés mécaniques

Les polyamides sont considérés comme les thermoplastiques les plus résistants mécaniquement. Ils sont utilisés dans plusieurs applications techniques.

« La fonction amide est **hydrophile** : la reprise d'eau provoque **une baisse** de la température de transition vitreuse, donc une **diminution de la fragilité**, une diminution forte du module et **affecte la stabilité dimensionnelle**.

Aussi, les propriétés mécaniques sont données le plus souvent à sec et après 24 heures à 23°C dans une atmosphère de 50% d'humidité relative (HR).

On classe les polyamides en fonction de leurs propriétés mécaniques et physiques : La stabilité dimensionnelle est mauvaise pour les PA à forte teneur en groupes amides PA6, 46, 66, 610, 612. » [26]

La figure 13 nous indique le comportement du PA66 en fonction du taux d'humidité absorbé :



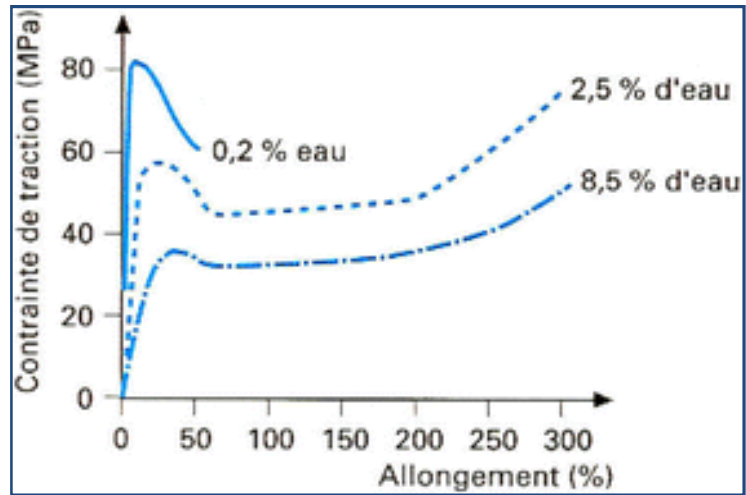


Figure 13 – Courbes contrainte-allongement en traction à 23 °C de PA 6-6 non chargés, à différentes teneurs en eau absorbée (% en masse) [4]

A la sortie du moule, les pièces en PA sont cassantes (0.2% à 0.3%). Elles absorbent de l'humidité dans le milieu ambiant. (Figure 14)

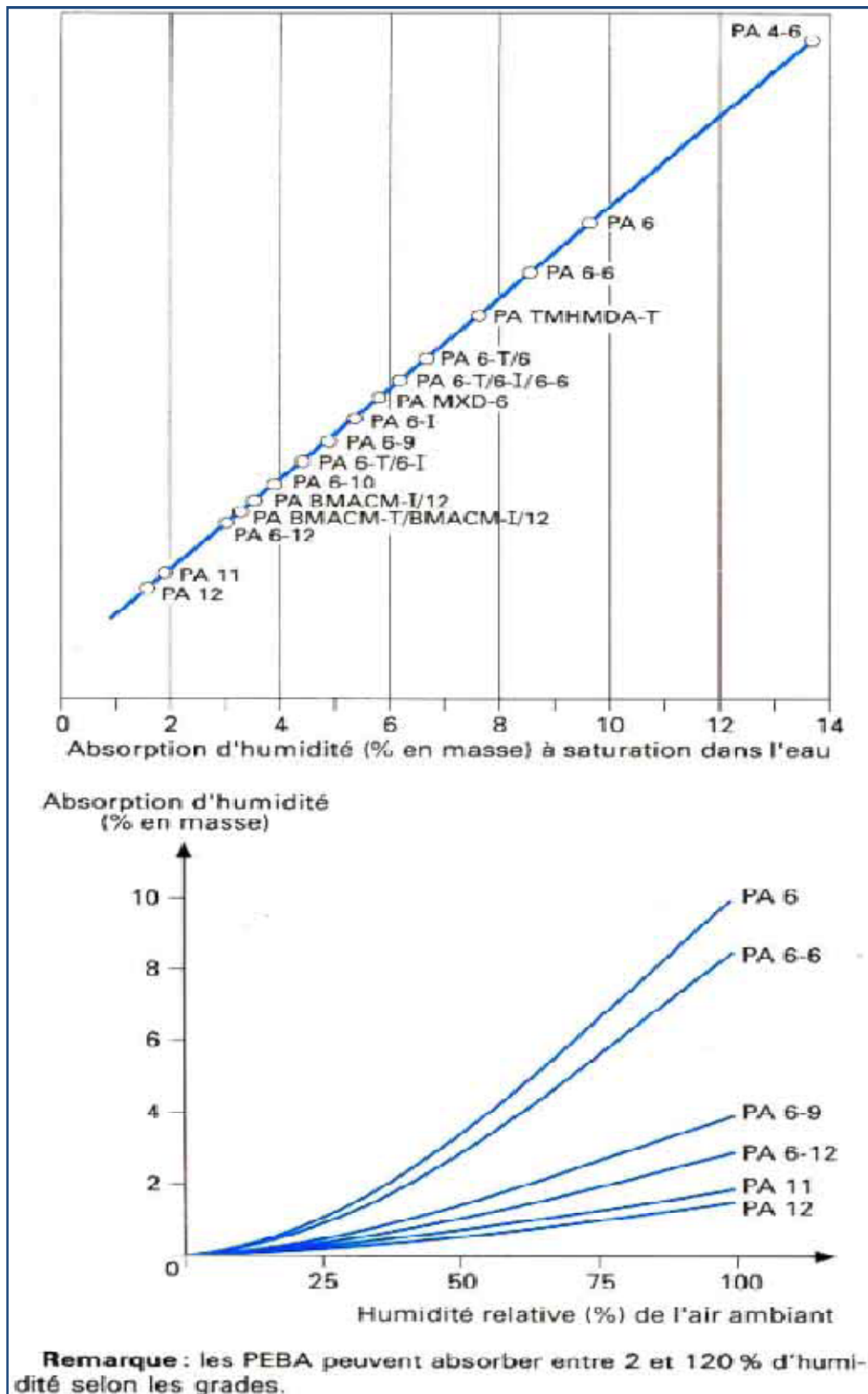


Figure 14 – Absorption d'humidité des différents polyamides non chargés [4]

Sur la figure 15 on visualise la relation entre le taux d'humidité et l'humidité relative concernant les PA.

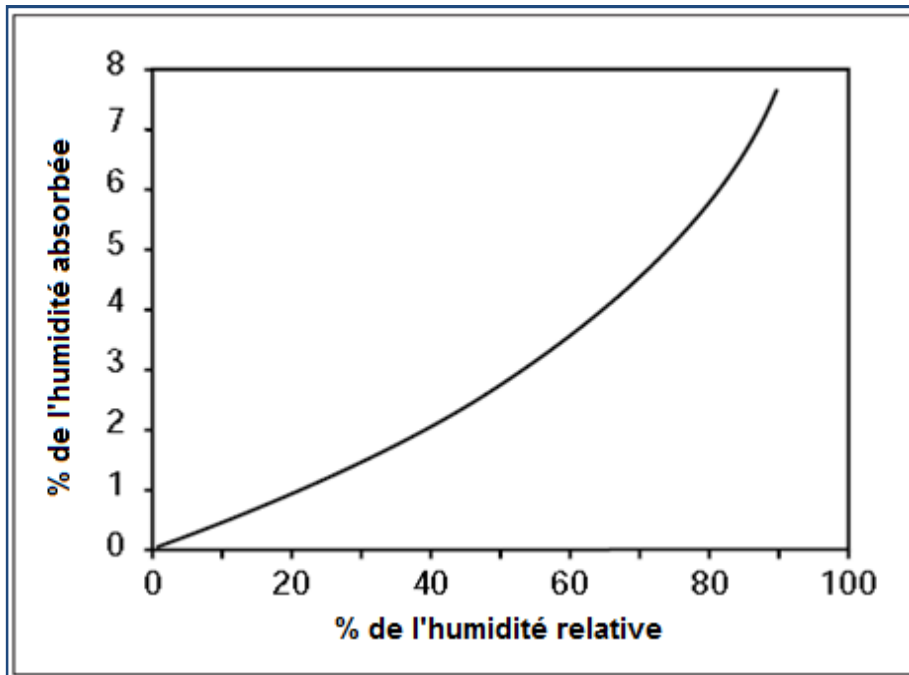


Figure 15: Variation du %d'humidité absorbée par Les PA en fonction de l'humidité relative dont ils sont exposés. [5]

Pour l'influence de la température sur les PA : (Figure16)

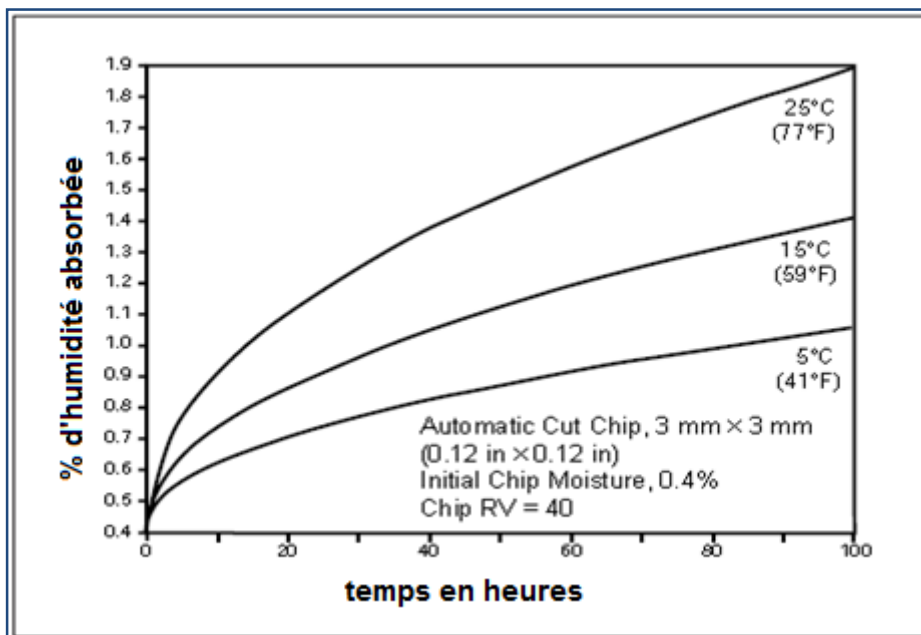


Figure 16:Variation du % d'humidité absorbée par Les PA en fonction du temps à des températures différentes [5]

### 2.3. Propriétés chimiques

Les PA résistent bien à l'eau bouillante désaérée ou chlorée (servi des PA d'eau). Leur durée de vie est limitée en présence d'eau bouillante fortement oxygénée (eau brassée). Ils présentent une bonne résistance à eau salée.

Agents atmosphériques : Les PA ne résistent que très moyennement aux

agents atmosphériques (surtout la lumière solaire). Pour remédier à ça des stabilisants anti-UV sont ajoutés. [2]

## 2.4. Propriétés électriques

Les polyamides sont utilisés comme isolants pour des tensions allant jusqu'à 600 V et des fréquences égales ou inférieures à 400 Hz. Leurs propriétés électriques sont affectées d'une façon radicale par la teneur en humidité.

La figure ci-dessus montre l'augmentation de la permittivité relative lorsque l'humidité relative augmente et par conséquent la perte de la caractéristique de l'isolation.

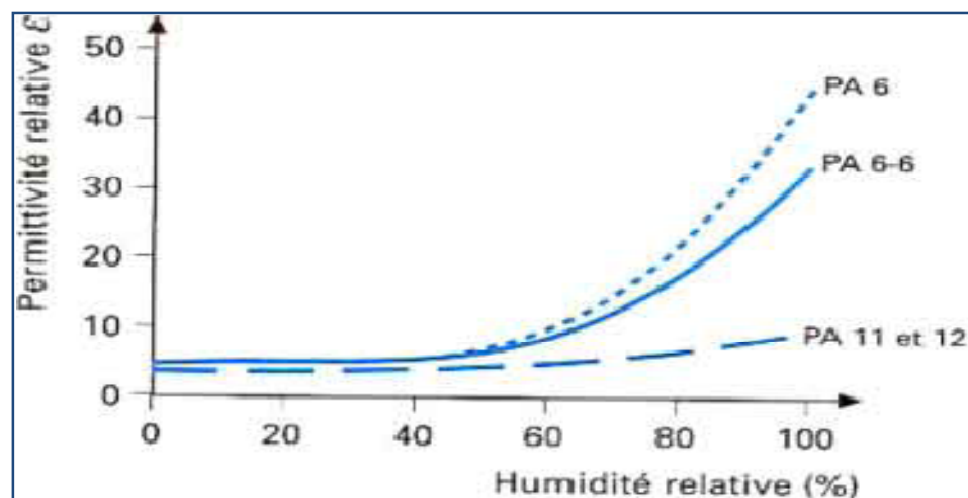


Figure 17: Variation de la permittivité relative à 23 °C, sous 30 V et 1 kHz, de différents polyamides en fonction de l'humidité relative de l'air ambiant dans lequel les PA sont en équilibre [4]

## 2.5. Propriétés thermiques

Les polyamides sont des semi-cristallins. La température de fusion pour chacun des polymères est franche. Les PA fondus sont très fluides. A partir de 300 °C, ils commencent à se décomposer. Le classement varie selon les tests de V-2 à V-0 pour les grades ignifuges, HB pour les renforcés fibres.

Quant à l'inflammabilité, les PA sont classés auto-extinguibles

## 2.6. Charges, renforts et adjuvants

« Afin de corriger les limitations des polyamides des ajouts sont effectués selon le besoin en tant que charges ; adjuvants et/ou renforts.

- Des agents anti-UV pour la tenue aux agents atmosphériques.
- Des agents réduisant le frottement. (MoS<sub>2</sub>, graphite, huile...)
- Des additifs renforçant les propriétés électriques et mécaniques (renfort par des fibres courtes de verre) et dimensionnelle par des charges

minérales (talc, wollastonite, kaolin calciné)» [2]

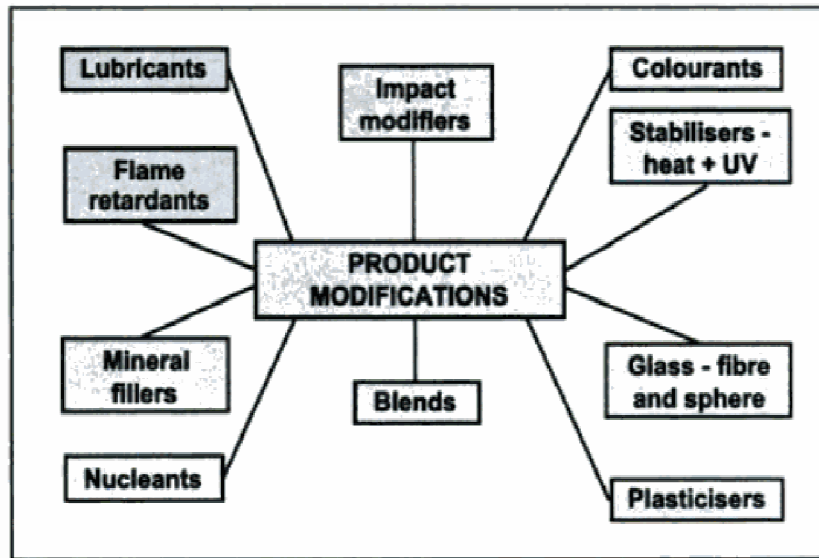


Figure 18 : les différents éléments d'addition dans un matériau [6]

## 2.7. Propriétés dimensionnelles

Les PA comme tous les polymères semi-cristallins ont un retrait important au moulage.

Les tensions internes sont réduites par le recuit mais en contre partie provoque une augmentation notable du retrait

Une prise d'humidité provoque de sa part un gonflement de dimensions ce qui peut nuire dans le cas d'assemblage de pièces.

## 2. Limitations des polyamides

Les polyamides comme nous l'avons vu précédent présentent des avantages mais ils restent très sensibles à l'humidité ; l'excès de température lors de la transformation et aux facteurs atmosphériques tels que le soleil ...etc.

Pour cela on doit prendre plusieurs précautions pour garantir des pièces avec des propriétés optimales. Dans l'industrie de pointe telle que l'automobile les fabricants de polyamides procèdent à des ajouts pour corriger les défauts précités mais cela peut rendre la nouvelle formulation plus coûteuse que le polyamide de base.

Voir la courbe explicative (Figure 19) :



Figure 19 : schématisation de l'évolution des prix d'un produit en fonction des performances souhaitées. [26]

D'autre part le polyamide est comme toutes les matières plastiques conservent une histoire thermodynamique permettant d'affecter les caractéristiques des pièces avec l'ajout d'un pourcentage du broyé.

La question comment maîtriser ces phénomènes pour maîtriser le produit en étude qui est les colliers ?

#### **IV. METHODE DE TRAVAIL ACTUELLE**

Cette analyse nous permettra d'une part d'identifier les activités à valeurs ajoutées et les autres qui ne les sont pas tout le long du processus de réalisation des colliers de serrage. et d'autre part conduire une analyse critique pour réduire voire supprimer les situations à non valeur ajoutée.

##### **1. Présentation de la méthode de travail actuelle**

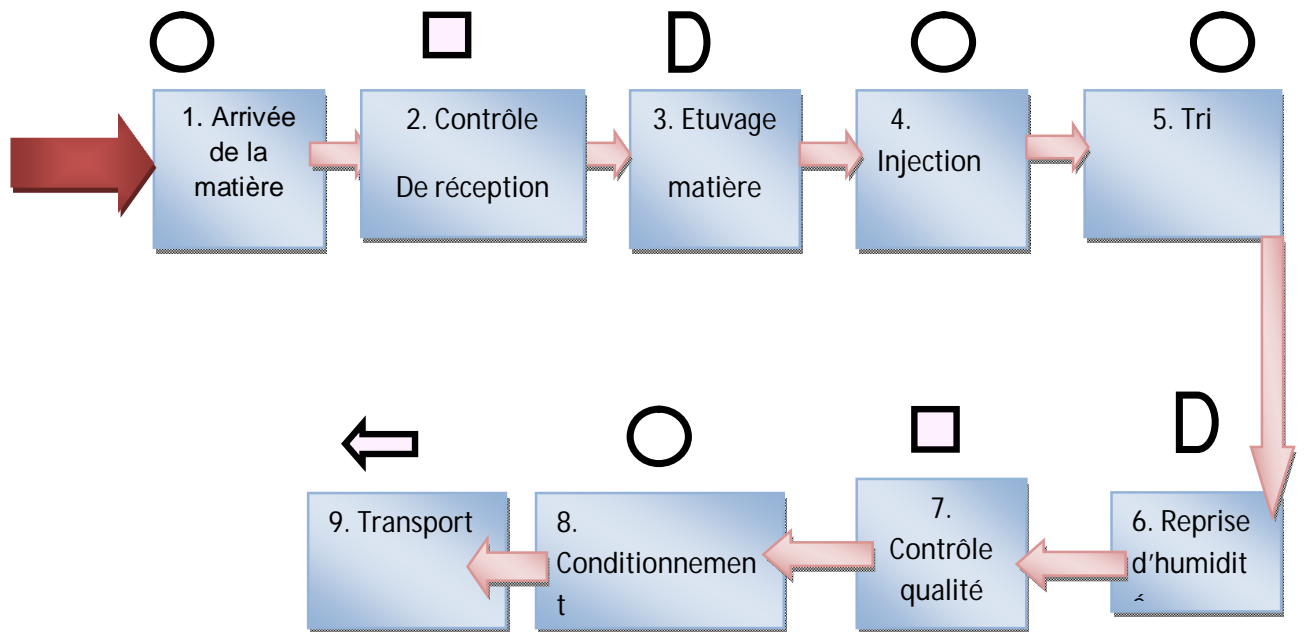


Figure 45: Différentes étapes dans le processus de fabrication des colliers de serrage

Légende :

○	◻	D	←
Opération	Contrôle	Attente	Transport

Entre l'arrivée de la matière première et l'expédition du produit fini, l'avancement du processus est ralenti par des anti-flux, caractérisant ainsi le temps passé à produire de la non-valeur ajoutée sur le produit tels que les attentes, le stockage et les contrôles.

**Arrivée de la matière première :** Dans cette étape la matière première arrive à l'entreprise du fournisseur (DSM ; POLIBLEND ; RHODIA...etc), une vérification administrative est effectuée (référence et la quantité de la matière reçue).

**Contrôle de réception de la matière première :** Dans cette étape le service contrôle qualité procède à une vérification de la matière première en exécutant à des essais et/ou tests au laboratoire afin de s'assurer de la conformité de la matière reçue aux exigences instaurées par l'entreprise. Dans le cas favorable la matière reçue est tamponnée puis stockée dans le magasin de la matière première.

**Etuvage de la matière première :** Cette opération est nécessaire pour le polyamide vue sa propriété hydrophile. Elle est nécessaire avant toute transformation

de la matière. L'utilisation d'un pourcentage de broyé a été abandonné suite à la non-maîtrise de la qualité des produits et à l'historique thermodynamique de la matière recyclée.

**Moulage par injection** : C'est la phase essentielle dans la transformation de la matière première. Les colliers de serrage sont le résultat de cette étape. Le degré d'optimisation des paramètres de réglage permet d'avoir un moulage plus ou moins correct. Par conséquent des produits dont la qualité n'est pas maîtrisée.

**Tri** : Cette opération a été instaurée spécialement dans le processus de fabrication des colliers de serrage vue le nombre de réclamations évoquées lors du conditionnement des colliers ou par le client final. Les non-conformités décelées sont principalement :

- Manque matière
- Brûlure
- Bulles
- Bavure ...

**Reprise d'humidité** : C'est une opération nécessaire pour le polyamide. Une période d'une semaine a été fixée par l'entreprise avant le conditionnement des colliers. (Figure 20) Cette étape par sa grandeur constitue plus 50% du temps pour la disponibilité du produit dans le magasin des produits finis. L'efficacité de cette opération reste limitée vue les moyens manuels effectués.



Figure 20: Colliers en plein air pour la prise d'humidité

**Contrôle qualité** : C'est une activité instaurée par le service contrôle qualité vue la non-uniformité causée par l'insuffisance de la prise d'humidité. La gestion du



stock dans le magasin semi-fini par la méthode FIFO ne garantit pas le respect de cette période (1semaine) de prise d'humidité.

**Conditionnement** : C'est l'opération de la mise en emballage des colliers. Le conditionnement se fait par 100 unités par sachet. (Figure 21)



Figure 21 : Exemple de sachets d'emballage des colliers de serrage

**Transport** : C'est l'opération de transfert du produit au magasin des produits finis pour le stockage ou pour les distributeurs agréés par l'entreprise.

## 2. Limitations et handicaps

Cependant, certaines de ces opérations sont nécessaires dans la mise en œuvre des opérations à valeurs ajoutées. Elles sont dites « à dépense ajoutée » et doivent être minimisées et non supprimées. Dans le cas présent, citons par exemple les opérations de contrôle, d'étuvage de la matière ou de reprise d'humidité. Par ailleurs, les opérations qui n'apportent rien au produit ou au service client, ou correspondent à des corrections et reprises, sont dites de gaspillage et doivent être supprimées. Le cas de l'opération cinq par exemple qui consiste à trier les colliers présentant le défaut visuel, qui requiert la présence au pied de la machine d'une opératrice fixe, et qui génère donc des coûts supplémentaires à l'entreprise. La multiplication des postes de contrôle le long du processus de fabrication ne constitue pas une garantie de la bonne qualité du produit mais uniquement des barrages pour empêcher le maximum possible de produits non-conformes. En effet toutes les actions de rattrapages ou de corrections sur les paramètres de réglage seront inefficaces voir trop tard.

Cependant et d'après l'analyse de cette méthode le processus de travail est loin d'être maîtrisé. Cela est expliqué par le retard ou l'absence du feed-back émis par les postes en aval pour la correction de la situation dans les postes en amont. On est donc dans une situation curative du premier degré.

## V. MOYENS UTILISES

### 1. Les moules utilisés actuellement

#### 1.1. Présentation des moules

La production des colliers est assurée par un ensemble de moules. Ces derniers sont conçus pour la réalisation de 12 références différentes de colliers.(Tableau 6)

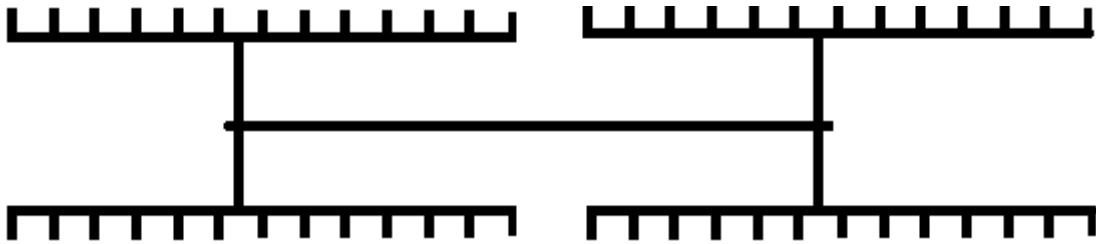
Références	Dimensions Des colliers de serrage (Largeur X longueur)	Moule	Nombre d'empreintes par moule	Machine
1610/01	2.5x96	1	52	200T
1620/01	2.5x200	1	52	200T
1614/02	3.6x140	1	52	200T
1630/02	3.6x300	1	52	400T
1625/03	4.7x250	1	26	400T
1637/03	4.7x370	2	26	400T
1618/04	7.6x185	1	26	400T
1626/04	7.6x265	1	26	400T
1634/04	7.6x340	2	20	400T
1618/05	9.0x185	1	20	270T
1626/05	9.0x265	1	20	270
1635/05	9.0x355	1	20	400

Tableau 6 : Liste des moules des colliers de serrage et leurs machines respectives.

On remarque qu'il y a une variété de moules avec des nombres d'empreintes relativement grands.

L'architecture des canaux d'alimentation des moules :

→ Moule à 52 empreintes :



→ Moule à 26 empreintes :



→ Moule à 20 empreintes :



### 1.2. Avantages

- Le nombre élevé d'empreintes permet d'augmenter la productivité des moules.
- Article de collier par moule (Pas de risque de mélange d'articles).

### 1.3. Inconvénients

- Carottes importantes générées par les moules
- L'équilibrage des moules est absents (longueurs de flux de la matière différentes)
- Risques de fermeture des empreintes dans les extrémités
- Dépendance du remplissage du moule à la fluctuation de la fluidité des lots de la matière première.
- Exigence d'une presse d'injection spéciale (Vis de 60 mm pour une presse de 400 Tonnes)
- La maintenance des moules se limite aux poinçons et non aux empreintes (Empreintes taillées directement dans les carcasses).
- Problème d'éjection des pièces est souvent présent (soit par coincement des pièces dans le moule ou éjection hors portée des contenances prévues à cet effet)

### 1.4. Synthèse

Certainement les colliers sont fabriqués en millions de pièces par an. Le

déséquilibre des moules a un impact fatal sur le remplissage et le compactage des colliers. En conséquence :

- Des empreintes bouchées.
- Force de traction des colliers variable d'une empreinte à l'autre.
- Refus systématique de qualification de nouvelles matières premières
- Travail avec des paramètres de réglage extrêmes (Température ; vitesse d'injection ; verrouillage).

Donc on peut conclure que les moules des colliers sont très sollicités de tous les côtés et la marge de la manœuvre est très réduite.

## 2. Les machines

### 2.1. Caractéristiques des machines

Comme nous l'avons vu, tous les moules ont besoin des machines dont la force de verrouillage est de 200 tonnes à 400 tonnes (Tableau 6). Les cycles de fabrication des colliers sont rapides nécessitant une vitesse d'injection rapide accompagnée par un dosage équivalent au besoin d'une moulée. Pour cela le diamètre choisi de la vis de plastification est de 50 ou 60mm. La figure 22 montre un type de machine d'injection.

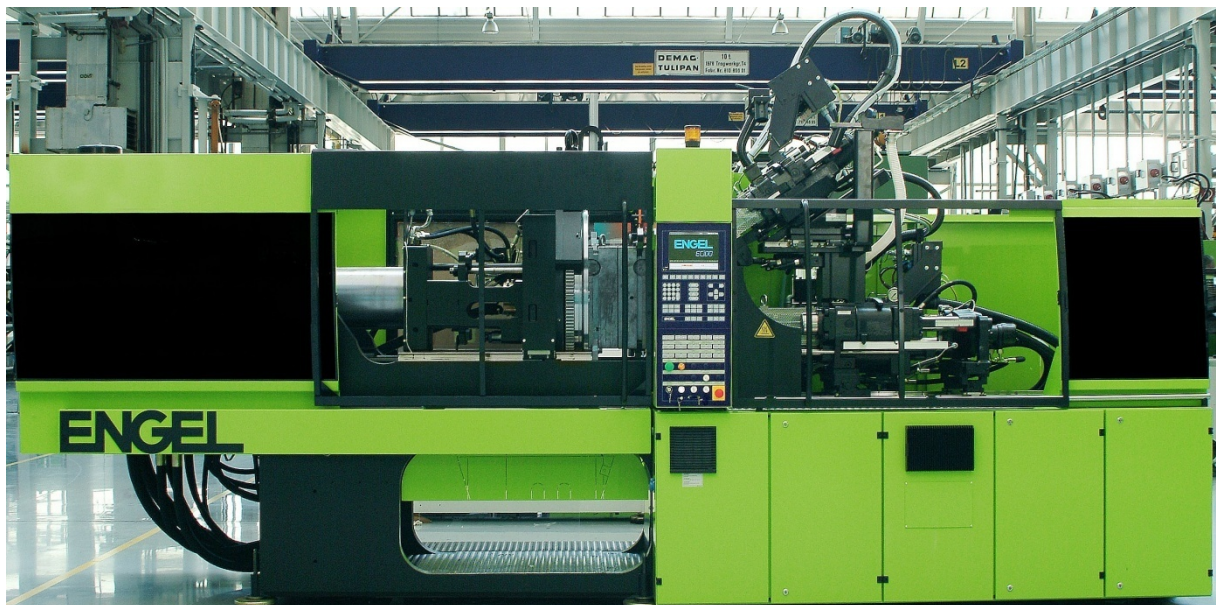


Figure 22: Exemple de machine d'injection ENGEL [27]

### 2.2. Remarques

Les machines représentent les points forts dans la fabrication des colliers. Mais

La surcharge de ces machines est considérée comme un problème majeur par le service production.

### **3. Dessiccateurs**

#### **3.1. Caractéristiques des dessiccateurs**

Les dessiccateurs utilisés font parties d'une centrale de la matière première. Cette dernière est aménagée dans une zone distante d'environ 30 mètres à l'extrémité de l'atelier. Les dessiccateurs généralement utilisés sont d'une capacité de 50 à 60 litres.

#### **3.2. Remarques**

Les dessiccateurs sont d'une grande importance dans la préparation de la matière première. Fréquemment des arrêts imprévisibles des dessiccateurs provoquent des perturbations et des arrêts pour de longues heures. Un système d'alerte sur l'état des dessiccateurs est nécessaires pour aviser l'opérateur afin d'intervenir à temps.

La capacité de dessiccation doit être calculée d'avance. Capacité préparée en matière doit être égale ou légèrement supérieure aux besoins des moules utilisant la même matière. Tout dysfonctionnement à ce niveau présente un problème majeur pour le polyamide qui peut être oxydé ou dégradé par un excès de dessiccation d'une part ou, par la présence de l'humidité d'autre part.

### **4. Broyeurs**

Actuellement et vue la non maitrise de la qualité des colliers. L'introduction des broyés a été abandonnée. Suite à cette décision un déséquilibre a été crée par la présence de grandes quantités de polyamide recyclées.

Une gestion de ce broyé doit être mise en place afin de réduire le coût des pièces qui reste un souci avec la compétition acharnée dans le marché national et international.

## **VI. MILIEU**

Le milieu constitue un élément très important dans la maitrise de la qualité des colliers. Dans cette rubrique il est important de tenir compte de :

- L'éclairage
- Le local
- Accessibilité et visibilité

## 1. Critiques de la situation

La fabrication des colliers nécessite une amélioration dans le lieu de fabrication afin de faciliter la maîtrise de la qualité et de la production.

- Le local : Le lieu de fabrication des colliers de serrage est un site de production dont l'activité principale est la fabrication des produits de grand volumes tels que les coffrets en polyester ; les réglettes étanches...etc. la similitude entre ces produits et les colliers est totalement absente. (Par exemple une retassure sur un coffret ne doit pas être jugé de la de la même manière que celle sur les colliers de serrage). L'opérateur de la machine est souvent confronté à ce genre de situation.
- L'éclairage : L'éclairage est un moyen incontournable pour améliorer la visibilité dans l'atelier. Il offre aux opérateurs des machines et agents de contrôle qualité la possibilité de pouvoir déceler les défauts aux pieds des machines et de procéder à des corrections qui peuvent éliminer les défauts à la source.
- Accessibilité : L'ergonomie du poste de travail permet à l'opérateur d'accéder facilement à toutes les parties de la machine. Les pièces générées du moulage sont stockées dans des caisses sur des palettes à côté des machines ce qui rendre l'accès à la machine difficile.

Voir sur la figure 23 un exemple de machine



Figure 23: Accessibilité et l'ergonomie d'une machine qui travail les colliers de serrage

## **CHAPITRE II : ETUDE ET PROPOSITION DE SOLUTIONS**

## I. SOLUTIONS PROPOSEES

### 1. Cahier des charges

Les colliers ont un rôle de serrage et de maintien des câbles ou autres éléments. Ils peuvent être utilisés dans des milieux différents. Le matériau demandé doit respecter les conditions citées dans le tableau ci-dessus :

Caractéristiques	Valeurs
<b>*Absorption d'humidité</b>	2,5 % (à 50 % d'humidité relative)
<b>*Plage de températures :</b>	
• Température d'utilisation prolongée de (après la pose)	- 40 °C à + 85 °C
• Température d'installation de (lors de la pose)	- 10 °C à + 60 °C
• À court terme jusqu'à	+ 110 °C
• Point de fusion :	+ 256 °C
<b>*Indice limité d'oxygène (LOI)</b>	27 %
<b>*Corrosion en présence de fumée :</b>	5 %
<b>*Ignifugation :</b>	UL 94 V2
<b>*Rigidité diélectrique :</b>	50 000 Volts/mm
<b>Résistance aux produits chimiques :</b>	Excellente résistance aux alcalis, huiles, graisses lubrifiantes, produits pétroliers, solvants au chlorate ; résistance limitée à tous les acides. Ne résiste pas aux phénols.
<b>Résistance aux UV :</b>	env. 150 heures QUV-B selon ISO 4892 (correspond à env. 3 ans de résistance en plein air)

Tableau 7 : Cahier des charges des colliers de serrage plastiques [7]

En ce qui concerne le produit fini, les colliers de serrage doivent répondre à certaines. Les exigences mentionnées dans le tableau 7 sont extraites des 2 normes :

- NFEN 50146 version 2000
- CEI 62275 version 2006.

### 2. Sélection des matériaux

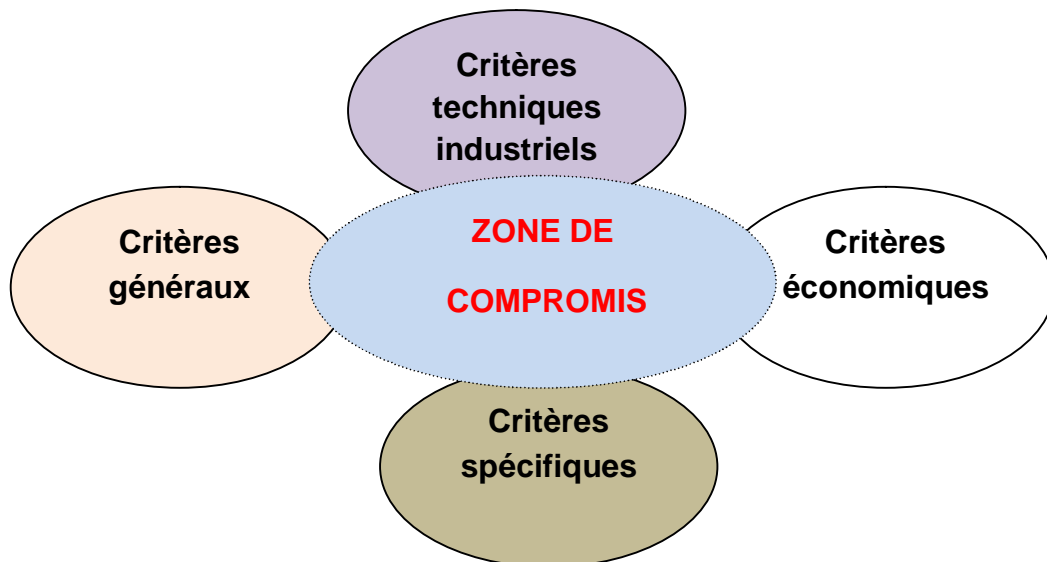
#### 2.1. Analyse des besoins : Compromis à satisfaire

Les colliers de serrage obéissent aux normes citées auparavant. Ils doivent accomplir leur fonction de serrage sans aucune défaillance. Cela donc revient à choisir le(s) matériau(x) qui réponde(nt) aux critères ci-dessous:



- Critères techniques intrinsèques
- Critères techniques industriels
- Critères économiques
- Critères spécifiques

Le résultat final est un compromis entre tous ces critères:



Le choix du matériau va être établi suivant la fiche synoptique (Figure 2) :

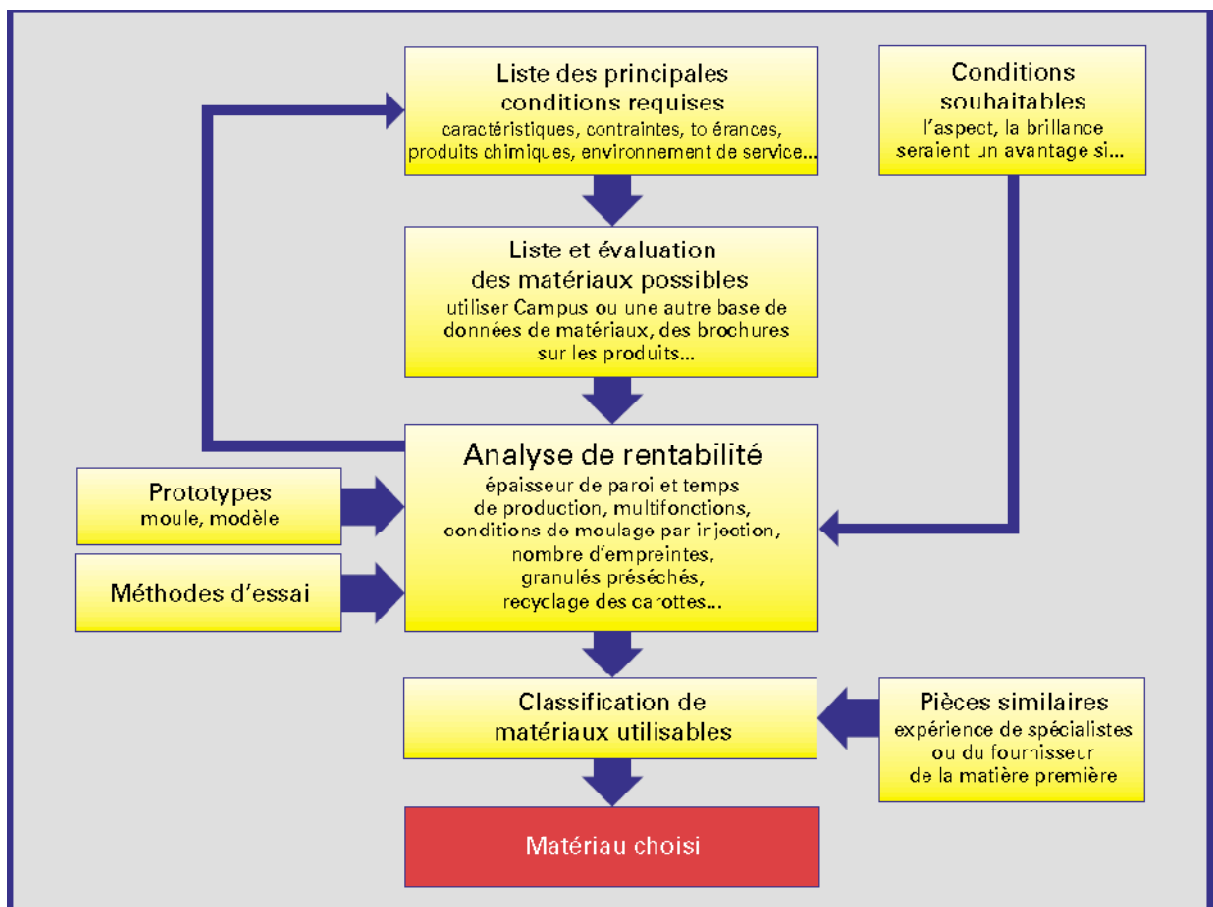


Figure 24 : Méthode de sélection des matériaux pour une application donnée [8]

## 2.2. Critères techniques intrinsèques

### 2.2.1. Aperçu sur les essais

Dans ce volet on va se référer aux deux normes dans le domaine de fabrication des colliers. Les essais sont appliqués directement sur le produit fini.

Avant d'entamer la sélection des matériaux il est essentiel de faire un aperçu sur les essais sanctionnant le produit et permettant aux fabricants de déterminer les classes admises qui seront mentionnées ultérieurement.

- **Essai de traction:**

**Méthodologie d'essai :**

Dans cet essai on examine la force ultime d'arrachement des colliers de serrage. L'opération est réalisée par une machine de traction spéciale. (Figure 25)

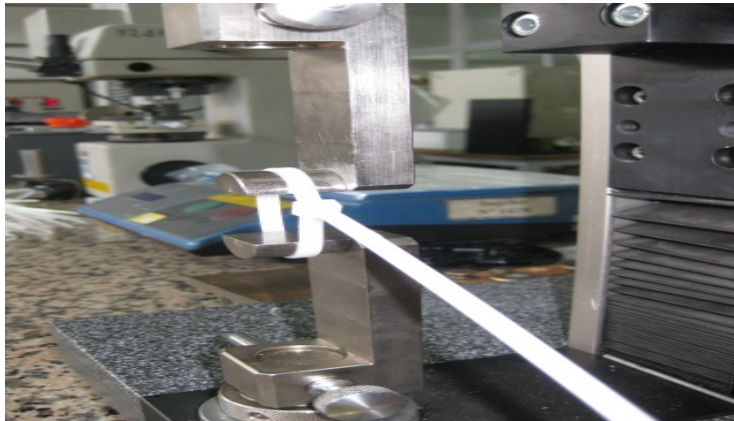


Figure 25 : Photo de la machine de traction de la boucle

Selon la tenue minimale à la traction de la boucle. La déclaration de la classe des colliers sera déterminée à partir du tableau ci-dessous : (Tableau 8)

Tenue minimale à la traction de la boucle (N)
50
80
130
180
220
360
450
530
800
1150
1300
2200

Tableau 8: Liste de la tenue minimale à la traction de la boucle [9]

- **Température maximale en usage permanent**

Température (°C)
60
85
105
120
150
250

Tableau 9: Classes des températures maximales pour un usage permanent [9]

- **Température minimale**

Température (°C)
0
-5
-15
-25
-40
-60

Tableau 10: Classes températures minimales pour un usage permanent [9]

- **Essai de l'autoextinguibilité**

*\* Il s'agit de l'application de la flamme sur le produit fini.*

Temps d'application* (s)
Moins de 5
5
10
20
30
60
120

Tableau 11 : Liste des classes des temps d'application de la flamme exigés par la norme [10]

- **Essai de choc :**

Cet essai est conçu pour sanctionner la résilience du produit après les essais à la température maximale d'utilisation et aussi à la température minimale. Le résultat est concluant en l'absence de tous signes de détérioration.

- **Résistance aux UV et à la corrosion d'origine atmosphérique**

Deux cycles d'essais sont prévus permettant de simuler :

- La résistance des colliers aux UV
- La corrosion provoquée par la pollution atmosphérique.

### **2.2.2. Comparaison des matériaux proposés**

Les matériaux doivent être d'une structure semi-cristalline afin de répondre aux contraintes de la température ainsi qu'aux efforts permanents causés par la fonction de serrage attribuées aux colliers.

#### **Polyamides : PA6 ; PA66 ; PA12 :**

Avec des formulations adaptées parfaitement à nos moyens moules/machines existants.

#### **Alliage de polyamide :**

Cela consiste à la recherche d'un mélange industriel permettant de corriger les inconvénients du polyamide (tels que la prise d'humidité...) et confère aux colliers une grande fiabilité dans leurs fonctions.

Le mélange de PA et PP est l'un des matériaux les plus convenables à cette

application.

### **2.3. Critères techniques industriels**

Dans ce volet on détermine le procédé de transformation. Le moulage par injection est l'unique technique utilisée pour la fabrication des colliers.

### **2.4. Critères économiques**

Ils concernent le prix du matériau, lié d'une part à sa disponibilité et d'autre part, à l'évolution du marché.

Ils englobent aussi le coût de la mise en œuvre, lié :

- aux investisseurs et
- aux coûts de production eux-mêmes fonctions des volumes et des rythmes de production.

Les matériaux proposés des polyamides (PA6 ; PA66 et PA12) sont disponibles chez plusieurs fournisseurs en Europe DUPONT ; POLIBLEND ; RHODIA...etc, qui sont eux-mêmes des fournisseurs de l'entreprise "INGELEC". par exemple :

En ce qui concerne le prix des polyamides. Le PA12 est pratiquement 2 fois plus cher que les PA6 et PA66 .Il faut noter ce point moins encourageant mais pas éliminatoire de ce matériau.

Pour le mélange des 2 polymères PA et PP, cela constitue une nouveauté dans la recherche d'un matériau adéquat à l'utilisation des colliers. Ce mélange permet d'avoir une formulation capable de corriger les défauts du PA en termes d'absorption de l'humidité.

### **2.5. Critères spécifiques**

La quantité de fabrication des colliers est estimée par des dizaines de millions par an. Cela constitue un critère essentiel dans l'équation pour l'adoption d'une solution.

Pour cela la méthode de fabrication des colliers doit être caractérisée par une fluidité dans toutes les opérations depuis la préparation de la matière première jusqu'au stockage au magasin produits finis.

Une réorganisation du processus de fabrication est imposée par d'autres facteurs il s'agit de l'augmentation annuelle des quantités produites d'une part et comme réponse à des recommandations par des spécialistes dans le domaine des colliers de serrage d'autre part.

Donc dans cet esprit là on doit creuser pour la recherche de solutions à notre problématique. Et pourquoi ne pas révolutionner l'entreprise pour passer d'un producteur occasionnel des colliers de serrage vers un autre professionnel et plus compétitif sur le plan quantitatif et qualitatif.

### 3. Etude de la formulation des mélanges de polymères

Parmi les matériaux proposés à la fabrication des colliers est le mélange « Alliage » de deux polymères le 1<sup>er</sup> est technique par contre le 2<sup>ème</sup> est de grande diffusion ou de commodité. Il s'agit du polyamide et du polypropylène. (Figure 26)

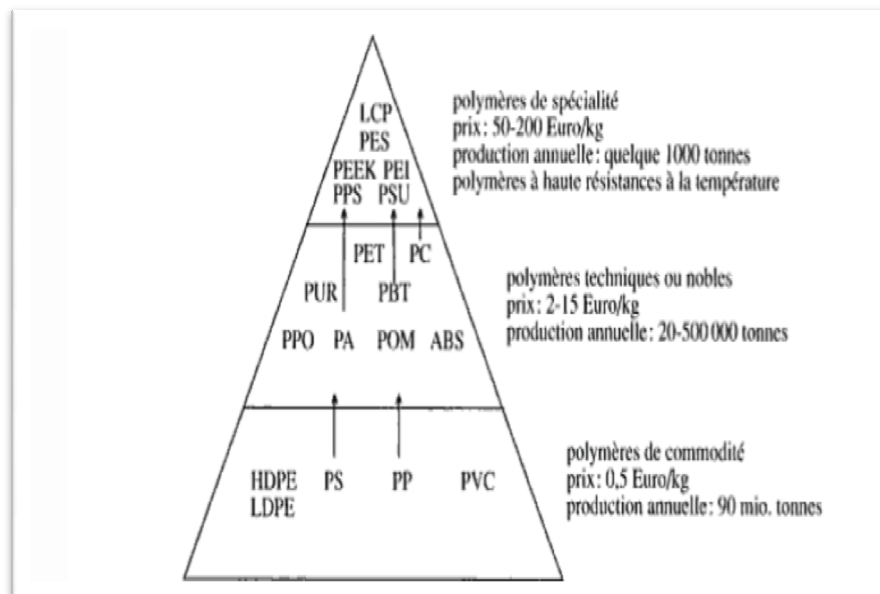


Figure 26 : Position du PA et du PP dans la classification industrielle des matériaux polymères [11]

Depuis les années 80 on s'est rendu compte de la difficulté à réaliser d'autres nouveaux polymères. Les travaux de recherches se sont orientés vers les alliages de polymères existants afin de répondre aux exigences de performance avec des prix abordables.

D'autre part, le phénomène de mélange de polymères est apparu avec le développement du recyclage des matières plastiques issues des déchets collectés.

#### 3.1. Finalités des mélanges de polymères

A l'issu de nouvelles exigences aussi bien législatives que technologiques, l'industrie de plasturgie se doit d'offrir des matériaux, toujours, plus performants et qui s'adaptent à des cahiers des charges de plus en plus exigeants. Les recherches scientifiques dans le domaine de la plasturgie se sont multipliées pour la recherche des matériaux plus performants. Le mélange de polymères représente la solution la moins coûteuse par rapport à la création d'un nouveau polymère. Cette technique a

permis d'obtenir des formulations plus performantes à l'issue de la complémentarité des 2 polymères de bases.

Le mélange de polymères est une science difficile à maîtriser. En effet, pour avoir un mélange avec les propriétés requises il faudrait que les composants de celui-ci soit miscibles entre eux. Certes, à quelques exceptions près, les polymères ne sont pas miscibles à l'échelle moléculaire et leurs mélanges entraînent une macro séparation de phases (Démixion) et présente alors des propriétés finales très médiocres.

### 3.2. Paramètres thermodynamiques

Les interactions de type Van der Waals ou encore les interactions dipôle-dipôle défavorisent la miscibilité entre polymères. En effet, à forte dominance de ce type d'interactions, l'attraction entre deux entités similaires est plus élevée que l'attraction entre deux entités différentes. De plus, et d'après le modèle Flory Huggins, l'entropie du mélange ( $\Delta S$ ) est d'autant plus faible que les masses moléculaires des composants sont grandes. Il en résulte une séparation de phases et donc un matériau dont les propriétés sont plus mauvaises que celles de chaque polymère pris séparément. [12]

D'un point de vue théorique, quand l'énergie libre du mélange est supérieure à 0 :  $\Delta G > 0$ , les polymères ne sont pas miscibles. On parle, alors, d'un comportement en température de type UCST (Upper Critical Solution Temperature). En d'autres termes, la miscibilité augmente avec la température manifestant l'augmentation de l'entropie du système. Ce comportement est observé à l'aide des diagrammes de phase du mélange, mais en pratique la UCST est peu observée car elle concerne les hautes températures pour les mélanges à haut poids moléculaire. Ce système caractérise la plupart des polymères. [12]

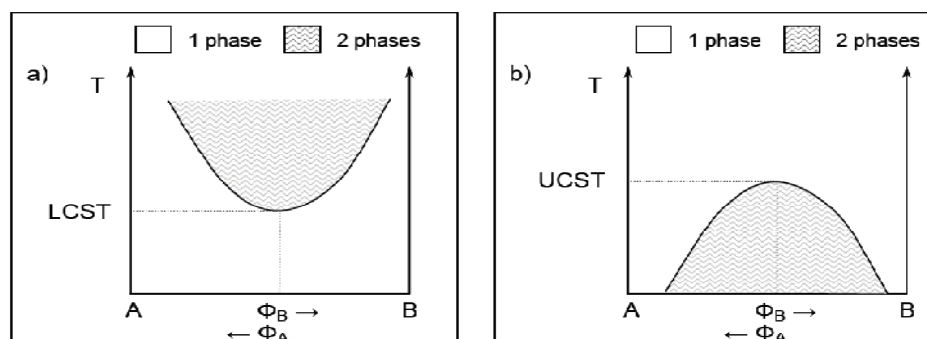


Figure 27: Diagramme de type UCST et LCST pour un mélange de polymères A et B [12]

En revanche, quand  $\Delta G < 0$  le comportement est de type LCST (Lower Critical

Solution Temperature) c'est à dire que la miscibilité aura tendance à diminuer avec la température. Il est observé pour des systèmes où sont présentes des interactions préférentielles telles les liaisons hydrogènes qui permettent de stabiliser la dispersion. Ce système caractérise très peu de polymères. L'un des plus connus est le Noryl, nom commercial du mélange de polystyrène (PS) et de polyphénylèneoxyde (PPO). [12]

Flory et Huggins ont établi un modèle théorique permettant d'approcher cette notion de miscibilité entre polymères. Cependant, ce modèle présente quelques limitations qui ont été améliorées par d'autres théories dont celle de Patterson et celle de Sanchez par exemple.

Formule de Flory-Huggins :

$$\chi_{AB} = \frac{v_0}{kT} (\delta_A - \delta_B)^2$$

Où  $k$  : Constante de Boltzmann =  $1,3806503 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2} \text{ K}^{-1}$

$v_0$  : Volume des unités statistiques en  $\text{m}^3$

Le terme  $\chi_{AB}$  désigne le paramètre d'interaction de Flory qui est favorable au mélange quand il est négatif et défavorable dans le cas contraire. Il dépend fortement de la température mais aussi des paramètres de solubilité qui contribuent dans le choix de la formulation. [13]

### 3.3. Paramètres de solubilité :

Il a été démontré, par des équations thermodynamiques, que la solubilité des polymères permet de prévoir et d'évaluer le comportement des mélanges. A température et pression stables, le degré de miscibilité est d'autant plus important que les paramètres de solubilité des composants soient proches. Il existe de nombreuses méthodes expérimentales afin de quantifier ces paramètres telle la viscosimètre ou encore l'osmomètre, mais aussi des logiciels de plus en plus ingénieux (module Amorphes Cell ou PRISM d'Insight...). Dans le tableau suivant, sont indiqués quelques exemples de valeurs de  $\delta$ . [13]



Polymères	$\delta$ (MPa <sup>1/2</sup> )
Polypropylène	18.9 – 19.2
Polyéthylène	15.8 – 18
Polyamide 6.6	27.8
Polybutadiène	14.6 – 17.6

Tableau 12 : Paramètre de solubilité des polymères [13]

### 3.4. Compatibilisation :

Malgré toutes ces méthodes, la majorité des mélanges reste incompatible. C'est ainsi que l'industrie du plastique s'est tournée vers les compatibilisants autant que solution miracle. Il s'agit de forcer la miscibilité d'un mélange de composants A et B en y incorporant un tiers-corps C qui est compatible avec A et/ou B et dont le rôle serait de baisser la tension interfaciale afin de favoriser la dispersion, de renforcer l'adhésion des phases à l'état solide et de stabiliser cette structure. Ceci dépend, principalement, du degré d'interpénétration des chaînes lui même relié à l'épaisseur de l'interface. [28]

La compatibilisation peut être physique, le compatibilisant est dit alors non réactif et il s'agit principalement des copolymères à bloc ou greffés. Elle peut être chimique, on parle alors de fonctionnalisation par des monomères qui sont réactifs. Le plus utilisé est l'anhydride maléique mais on retrouve aussi l'acide (méth) acrylique, le méthacrylate de glycidyle... [13]

Prenons un exemple de mélange immiscible de PA6 et de PP qui va subir une compatibilisation réactive. Il est question de fonctionnaliser des chaînes de PP avec des groupements d'anhydride maléique. On obtient alors du PP-g-MA qu'on va faire réagir (de 1 à 5% en masse) à l'interface des deux polymères. [28]

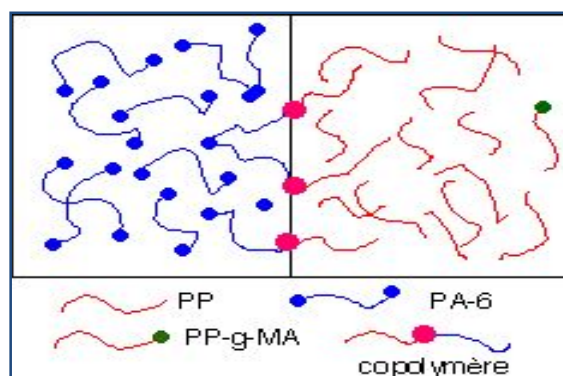


Figure 28 : Adhésion en PA6 et PP [28]

### 3.5. Etude de l'application du PA/PP

Rappelons que le matériau à choisir va constituer la phase dispersée et que le PA6.6 formera la matrice. L'idée principale étant de plastifier le PA6.6, les matériaux candidats qui paraissent évidents sont les polyoléfines avec le polyéthylène ou le polypropylène, et les élastomères avec le polybutadiène. Le tableau suivant permet de comparer les propriétés finales de certains exemples de ces mélanges.

Les deux combinaisons semblent satisfaire les exigences du cahier de charges. Le PA6.6/élastomère offre de meilleurs résultats, seulement le collier de serrage est considéré comme un produit de très grande diffusion et dont le coût de revient doit être réduit le plus possible. Alors, la recherche a été dirigée vers le mélange avec le polypropylène qui est moins coûteux que les élastomères et que le polyéthylène.

Propriétés		PA6.6 / PP	PA6.6 / élastomère
Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )		1.04	1.08
Absorption d'eau (%)	A 23°C et 100% HR après 24h	0.6	1.2
	A 23°C et 50% HR après 24h	0.5	0.9
Retrait après moulage		1.7	1.3
Contrainte au seuil (MPa)		50	Pas de seuil
Contrainte à la rupture (MPa)		50	63
Allongement à la rupture (%)		40	130
Module de flexion (GPa)		2.1	2
Résistance au choc Izod à 23°C (j/m)		90	850

Tableau 13 : Propriétés de mélanges PA66/PP et PA66/élastomère

#### Le mélange PP/PA

Le mélange PA/PP existe déjà dans l'industrie, les principaux avantages qui en découlent sont :

- Une diminution du temps de refroidissement et donc une augmentation de la cadence. Ce premier point est très important pour l'entreprise qui souhaite multiplier sa production de colliers en ayant investi dans de moules supplémentaires.

- Une diminution de l'absorption d'eau, cela permettra dans notre cas d'optimiser l'opération de reprise d'humidité, et donc réduire les coûts de stockage et avancer les dates de livraison.
- Une augmentation de la souplesse (plastification) et donc une amélioration de l'écoulement du matériau lors de sa mise en œuvre.
- Une très bonne stabilité dimensionnelle.

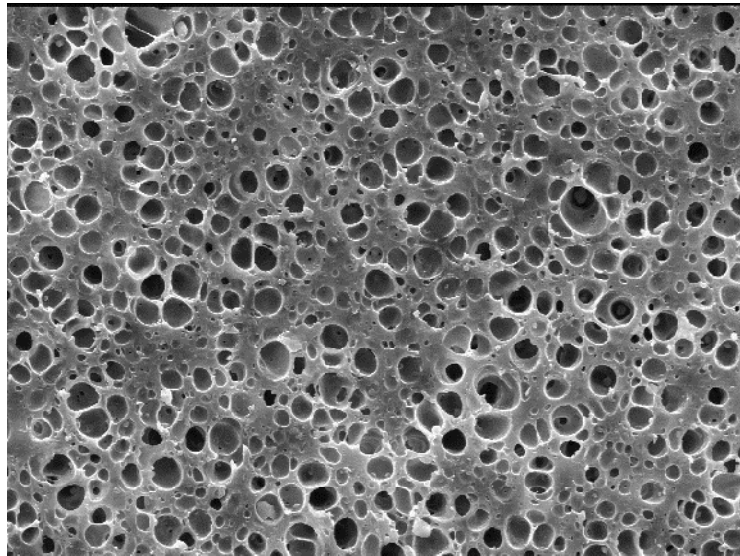


Figure 29: Cliché MEB d'un mélange de type Orgalloy (CERDATO-ARKEMA) [13]

- Ces résultats répondent aux besoins de l'étude, et donc le mélange sera constitué d'une matrice de PA66, de polypropylène et de chaînes de polypropylène fonctionnalisées avec de l'anhydride maléique qui vont compatibiliser le mélange. Ce cliché du microscope électronique à balayage d'un mélange PA6.6/PP avec du PP-g-MA montre que ce dernier a bien joué son rôle de compatibilisant, les inclusions de PP sont parfaitement intégrées dans la matrice de PA66.

Encore, faut-il utiliser des matériaux assez fluides pour remplir les empreintes sans forcer le réglage, opération qui engendre des défauts de moulage (brûlures, bavures...) et endommage les machines de production. Donc, il est nécessaire de maîtriser le rapport entre la viscosité de la matrice PA6.6 ( $\eta_m$ ) et la fluidité de la phase dispersée ( $\eta_d$ ) en vue d'une symbiose des propriétés finales du mélange.

En général, lorsque les valeurs de  $\eta_m$  et  $\eta_d$  sont très éloignées il en résulte soit une distribution irrégulière des inclusions de PP ou une coalescence de celles-ci. En revanche, quand  $\eta_m$  et  $\eta_d$  sont très proches les molécules de polypropylène

s'incorporent de manière régulière dans la matrice de polyamide. Dans notre cas, la fluidité des composants doit être au moins de 14 g/10min. De nombreux fournisseurs de matière produisent ce type de mélange, le tableau suivant en cite quelques uns.

Fournisseurs	Nom commercial du mélange
Arkema	Orgalloy
Sodilene	-
A.Schulman	Schulamid

Tableau14: Liste de quelques fournisseurs et produits

Un mélange préféré par ses propriétés rhéologiques et mécaniques, est l'Orgalloy de chez ARKEMA. En voici quelques propriétés : (Réf : RS 6600). (Tableau 15)

<b>Densité (g/cm<sup>3</sup>)</b>		<b>1.04</b>	<b>Module d'Young (MPa)</b>	<b>2600</b>
<b>Reprise d'humidité (%)</b>	<i>24 h H<sub>2</sub>O 23°C</i>	<b>0.7</b>	<b>Contrainte à la rupture (MPa)</b>	<b>50</b>
	<i>A l'équilibre H<sub>2</sub>O 23°C</i>	<b>2.9</b>		
	<i>A l'équilibre 50%HR 23°C</i>	<b>1.2</b>		
<b>Indice de fluidité (g/10min)</b>		<b>15</b>	<b>Allongement à la rupture</b>	<b>&gt;100</b>
<b>Point de fusion °C</b>		<b>255</b>	<b>Dureté Shore</b>	<b>17-20</b>
<b>Résistivité électrique (Ohm)</b>		<b>2.5 x10<sup>16</sup></b>	<b>Comportement au feu</b>	<b>HB</b>

Tableau 15: Caractéristiques du mélange "ORGALLOY"[14]

Une comparaison du module de flexibilité des alliages de PA ont révélé une stabilité remarquable en comparaison avec les matériaux de base (Figure 30) :

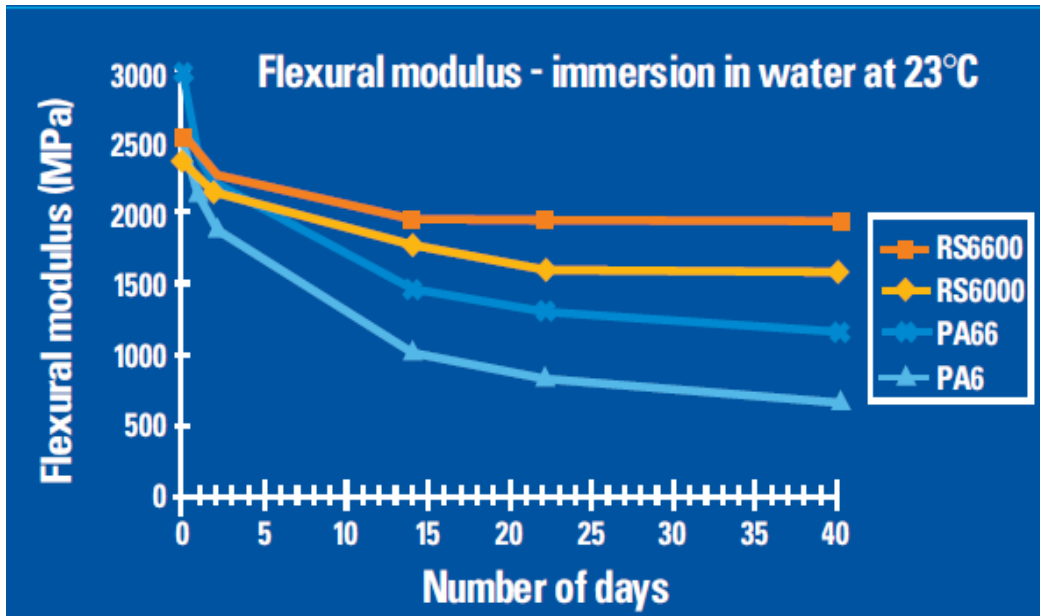


Figure 30 : Evolution du module de flexion en fonction de la prise d'humidité pour le PA6, le PA66 et leurs mélanges avec du PP [14]

### 3.6. Synthèse

D'après cette analyse du matériau ORGALLOY, nous relevons que ce dernier pourrait être la matière à essayer sur les colliers. C'est un polyamide dont les défauts sont améliorés.

Tous nos essais se porteront à l'utilisation de ce matériau ou un équivalent et à la détermination des paramètres de réglage optimum à la réalisation des colliers qui répondent pleinement au cahier des charges.

**CHAPITRE III :**  
**MISE EN ŒUVRE DE LA SOLUTION RETENUE ET**  
**REALISATION DE MOULE**

## II. AXES D'AMELIORATION

Après la description et l'analyse des causes responsables à la détérioration de la qualité et/ou la productivité des colliers suivant les cinq M. Dans ce chapitre on traitera les actions à mettre en œuvre afin d'améliorer le manque à gagner dans la fabrication des colliers.

### 1. Le moule

#### 1.1. Problèmes à résoudre

La fabrication des colliers est assurée par un nombre de moules. Ces derniers présentent des problèmes de :

- Equilibrage des empreintes
- Parcours long de la matière
- Carottes surdimensionnées.

Dans cette partie et afin d'éviter les problèmes précités nous allons étudier et réaliser d'un moule permettant de concrétiser les améliorations permettant une meilleure productivité en même temps une facilité de réglage.

#### 1.2. Choix de l'article

Notre choix se portera sur les colliers **9 x 355 ; 9 x 265 et 9 x 185** .Ces articles ont la même tête mais avec des longueurs différentes.(Figure 31)

#### Pourquoi ce choix ?



Figure 31:Photo d'un collier de serrage de type 9 x 265

Ce choix a été porté sur cet article pour les raisons suivantes :

1. Force d'arrachement est la plus élevée (53 daN)
2. L'article en question est compliqué en comparaison avec les colliers standards. (Voir détails de la tête en double encliquetages)

3. Insensibilité aux intempéries et vieillissement. (UV, soleil, pluie, froid, brouillard salin)
4. Cinq fois moins d'absorption d'humidité que les autres PA.
5. Excellente résistance à l'allongement.
6. Forte tenue aux chocs à basses températures.
7. Résistance au feu.
8. Résistance en milieu agressif.

### 1.3. Conditions à assurer dans la conception du nouveau moule

La conception du moule influence de manière décisive la qualité et l'économie de la pièce injectée. L'aspect de la pièce, sa résistance mécanique, sa ténacité, ses cotes, sa forme et son coût dépendent de la qualité du moule.

Un certain nombre de problèmes doit être résolu sur le nouveau moule :

- Maintenabilité du moule.
- Equilibrage du moule.
- Facilite de réglage du moule.
- Moule moins sensible à la fluctuation de la fluidité.
- Moule moins encombrant passant sur des machines existantes.
- Regroupement des trois articles dans un même moule en procédant à l'interchangeabilité des empreintes.
- Colliers regroupés par la carotte et non dispersés afin d'éviter le désordre et faciliter le comptage au conditionnement.

### 1.4. Conception des empreintes

Détermination des dimensions d'une empreinte dépendent de :

- La matière utilisée : **PA/PP** est constituée de : **70%** de **PA66** et **environ 30%** de **PP**
- Retrait: **0.5%** parallèle dans sens d'injection ; **0.8** dans le sens perpendiculaire d'injection
- Dépouille : **1%** il permet un démoulage facile des pièces injectées.
- Stabilité dimensionnelle en prise d'humidité : **6 fois plus stable que le PA66** (selon le catalogue d'ARKEMA). (Figure 32)



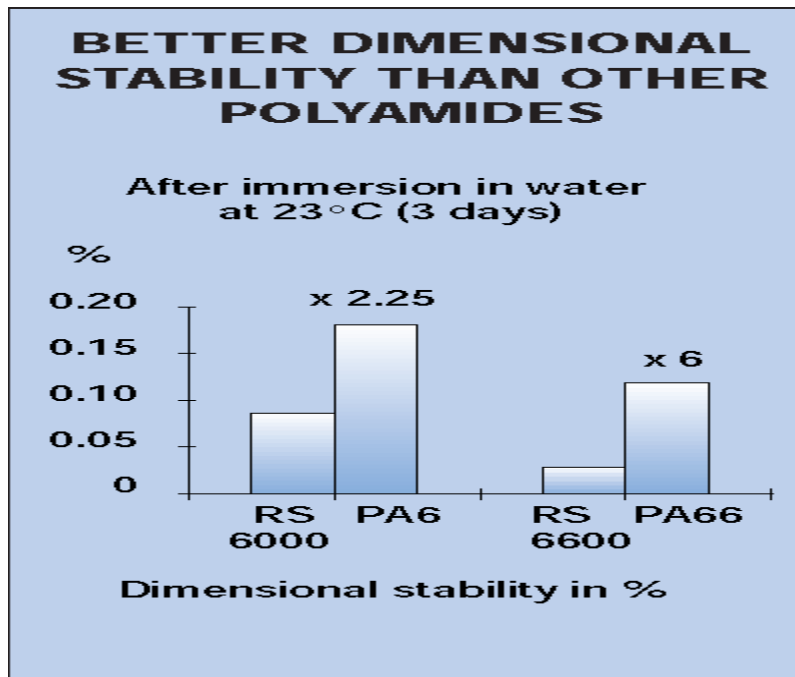
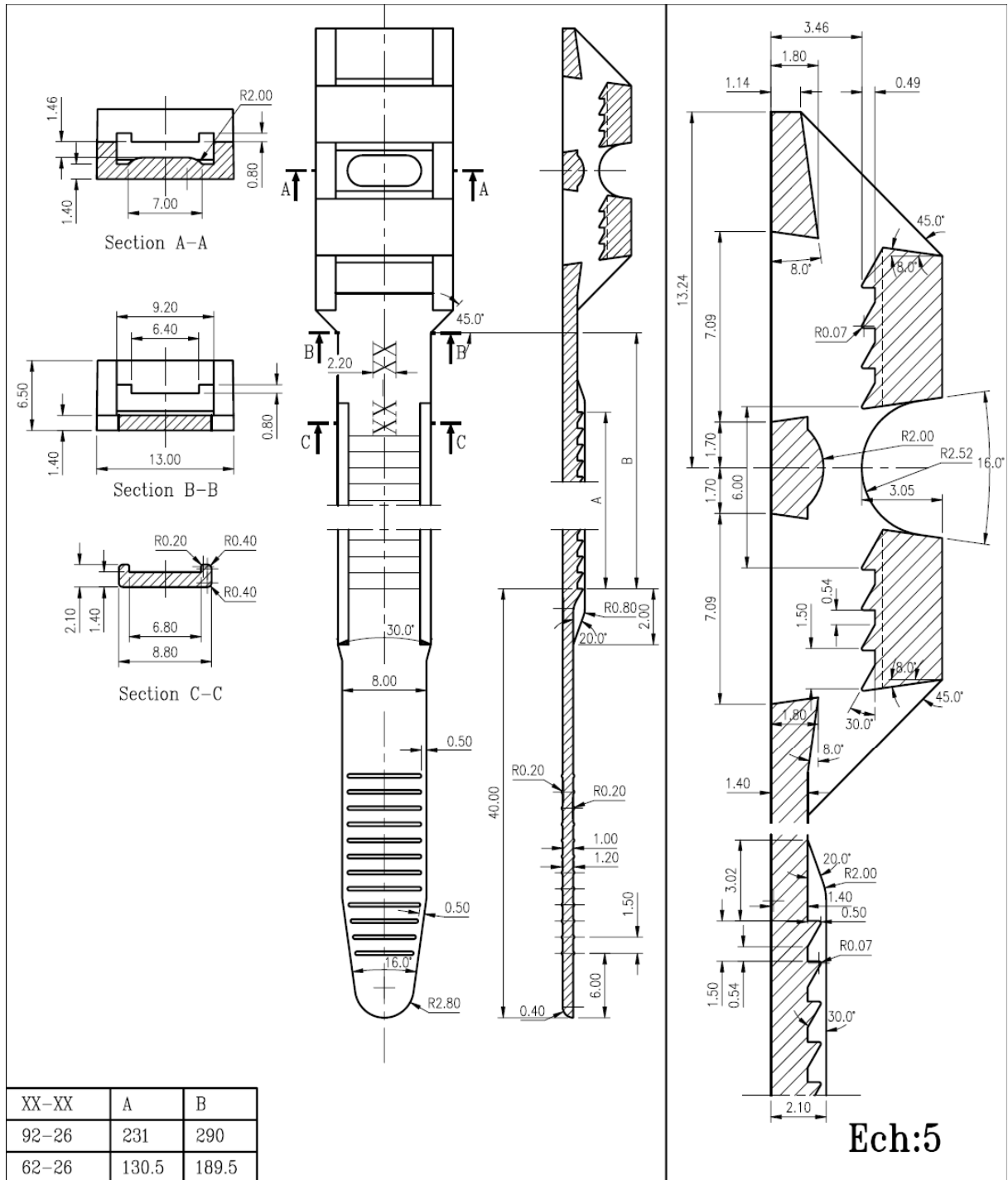


Figure 32: Stabilité dimensionnelle du PA66/PP [RS6600] [14]

### 1.5. Dessin d'un collier de serrage :

La figure 33 présente le dessin de définition du collier de serrage 9xL



XX-XX	A	B
92-26	231	290
62-26	130.5	189.5



						<b>Désignation</b> <b>Colliers 62-26</b> <b>92-26</b>			<b>N°: S5 95 04 11 01</b> <b>Ref: 02160062</b> <b>02160092</b>	
						Par	Date	Visa	<b>Ech: 2/1</b> 	
									<b>N° de Stockage:</b> <b>S5 95 04 11 01</b>	
						<b>Matière:</b> <b>PA66</b>		<b>Nombre:</b>		
						<b>Code moule ou outil:</b> <b>5094</b>		<b>Traitement:</b>		
<b>00</b>	-	-	-	-	-				 <b>CASABLANCA MAROC</b> <b>Tel: 35 02 11/40 16 48</b>	
<b>Ind</b>	<b>Date</b>	<b>Objet</b>	<b>Dessin</b>	<b>Visa</b>	<b>Verif</b>	<b>Visa</b>				
Modifications & Mises a jour										

Figure 33 : dessin de définition d'un collier de serrage de type 9xL

Remarque importante :

Le fait que le moule est conçu à la fabrication de 3 articles. Les empreintes ont été divisées en bloc afin de basculer d'un article à un autre.

### 1.6. Définition du nombre d'empreintes optimales

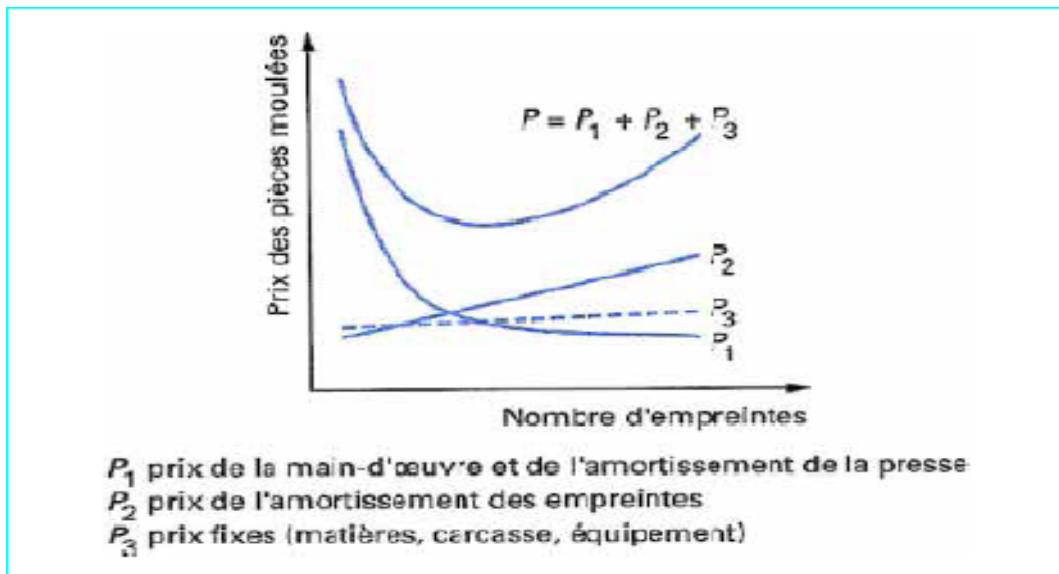


Figure 34: Calcul du prix de revient en fonction du nombre d'empreintes [15]

Comme indiqué sur la courbe figure 34, le nombre d'empreintes économique dépend des facteurs  $P_1$ ,  $P_2$  et  $P_3$ . La résultante de ces trois prix permet de dégager un nombre d'empreintes optimum " $n_{opt}$ ". Un très grand nombre d'empreintes n'est pas toujours synonyme de gain.

Calculons le nombre d'empreintes selon les prévisions de production pour la fabrication des 3 articles de colliers:

Articles	Prévision annuelle
9 x 185	1 020 000
9 x 265	1 060 000
9 x 355	950 000
<b>TOTAL</b>	<b>3 030 000</b>

Tableau 16: Les prévisions annuelles en production des colliers de serrage 9xL

- Nombre de jours ouvrables réservés à ce genre d'article par mois : **10 jours ( $N_{ouv}$ )**  
(Ce nombre est déduit à partir de la fréquence constatée de production de ces articles par mois)
- Nombre de mois ouvrables par an : **10**

- Temps de cycle : **20 s** ( $t_c$ )
- Le nombre d'empreintes nécessaire à la réalisation des prévisions : ( $n_p$ )

Le nombre d'empreintes nécessaires :

$$n_p = (\text{Quantité prévisionnelle} \times t_c) / (10 \times N_{\text{ouv}} \times 24 \times 3600)$$

$$n_p = (3\,030\,000 \times 20) / (10 \times 24 \times 24 \times 3600)$$

$$n_p = 7.01 \text{ empreintes}$$

Soit un nombre entier d'empreintes de : **8**

La disposition des empreintes avec leurs carottes sera comme indique sur le schéma ci-dessous :

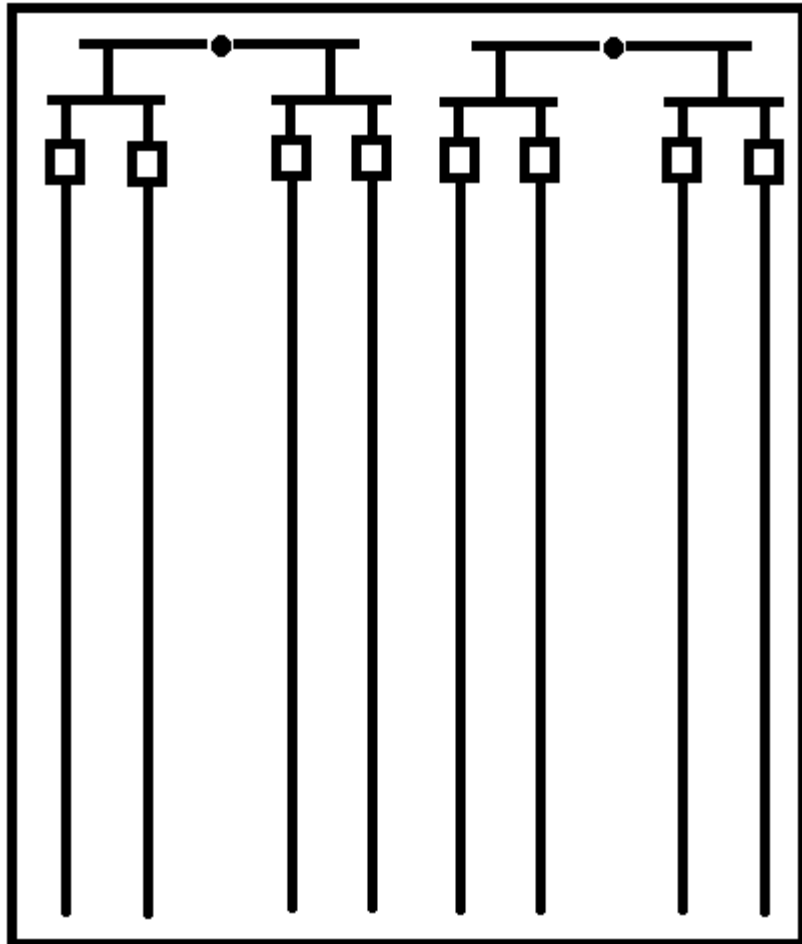


Figure 35: Schématisation de la position des empreintes sur le moule

La position des nappes et les canaux d'alimentation sont représentés sur la figure 36.

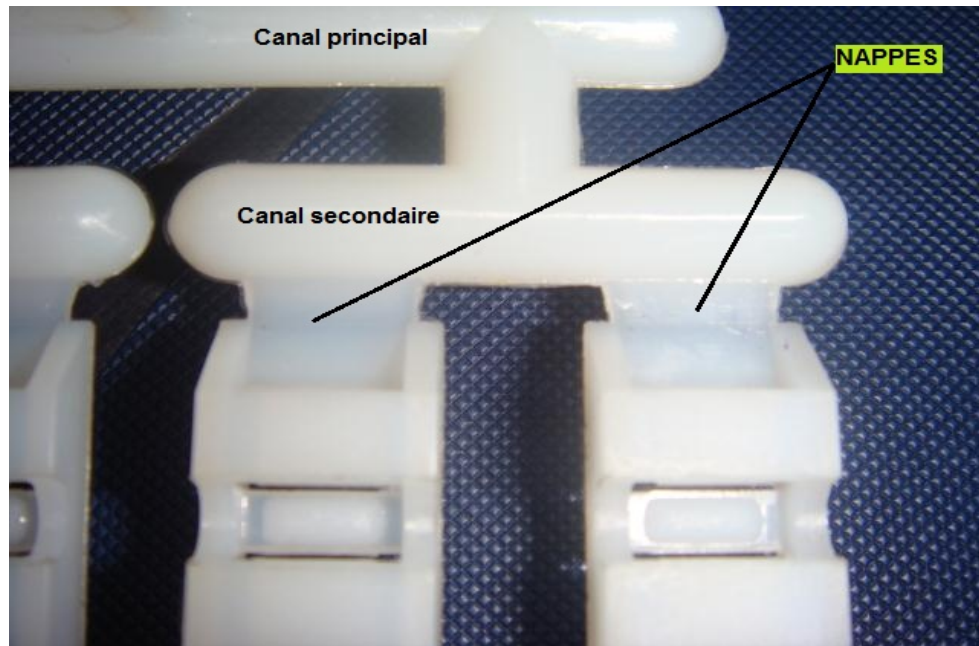


Figure 36 : Gros plan sur les nappes et les canaux d'alimentation

Le dessin détaillé du moule est visible dans l'annexe de cette étude.

## 1.7. Simulations MOLDFLOW

### 1.7.1. Temps de remplissage

Ce paramètre est d'une importance monumentale il nous permet de savoir le temps de remplissage de toutes les pièces. Plus le temps est court plus le remplissage est aisé. Le temps global de remplissage est estimé à 2,583 s ce qui reste acceptable.(Figure 36a)

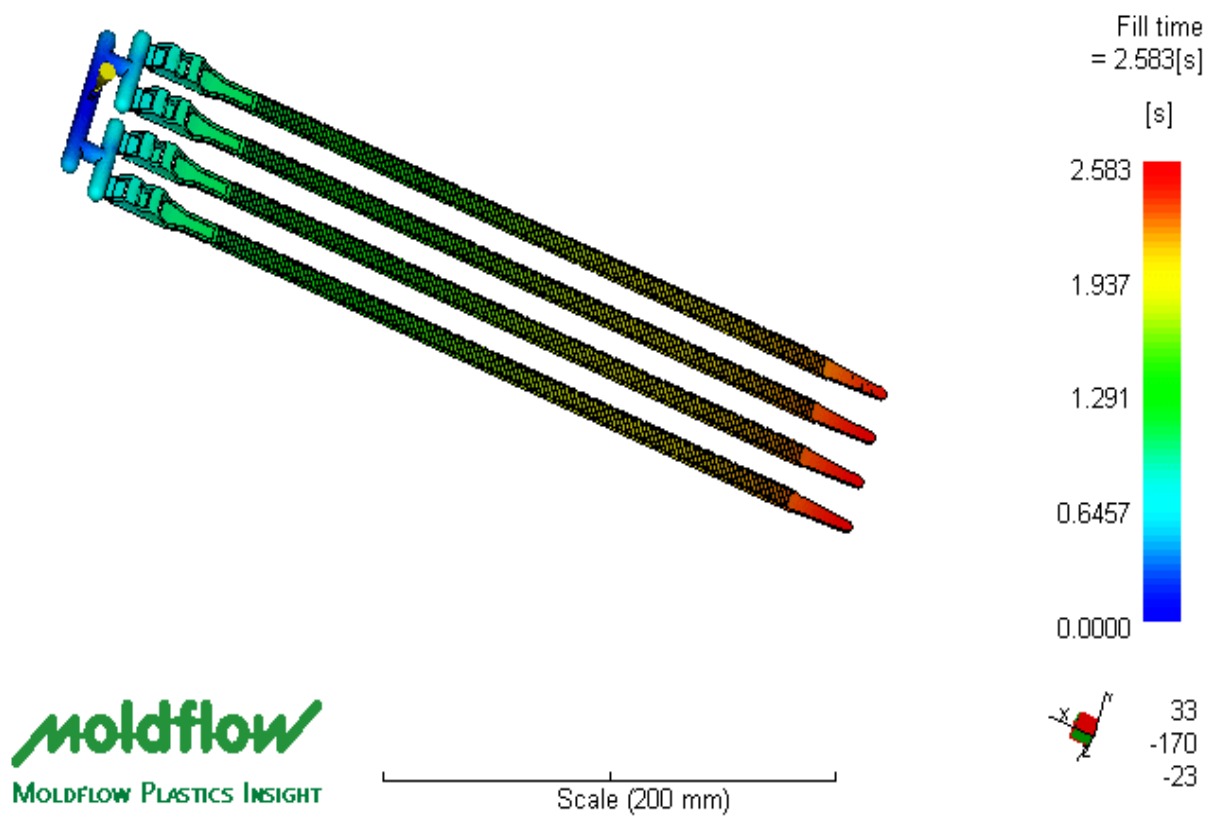


Figure 36a : Simulation du temps de remplissage des colliers de serrage

### 1.7.2. Temps de refroidissement

Ce paramètre nous renseigne sur le temps nécessaire pour le refroidissement des pièces. On remarque que le corps des colliers de serrage refroidit plus vite que la carotte.(Figure 36b)

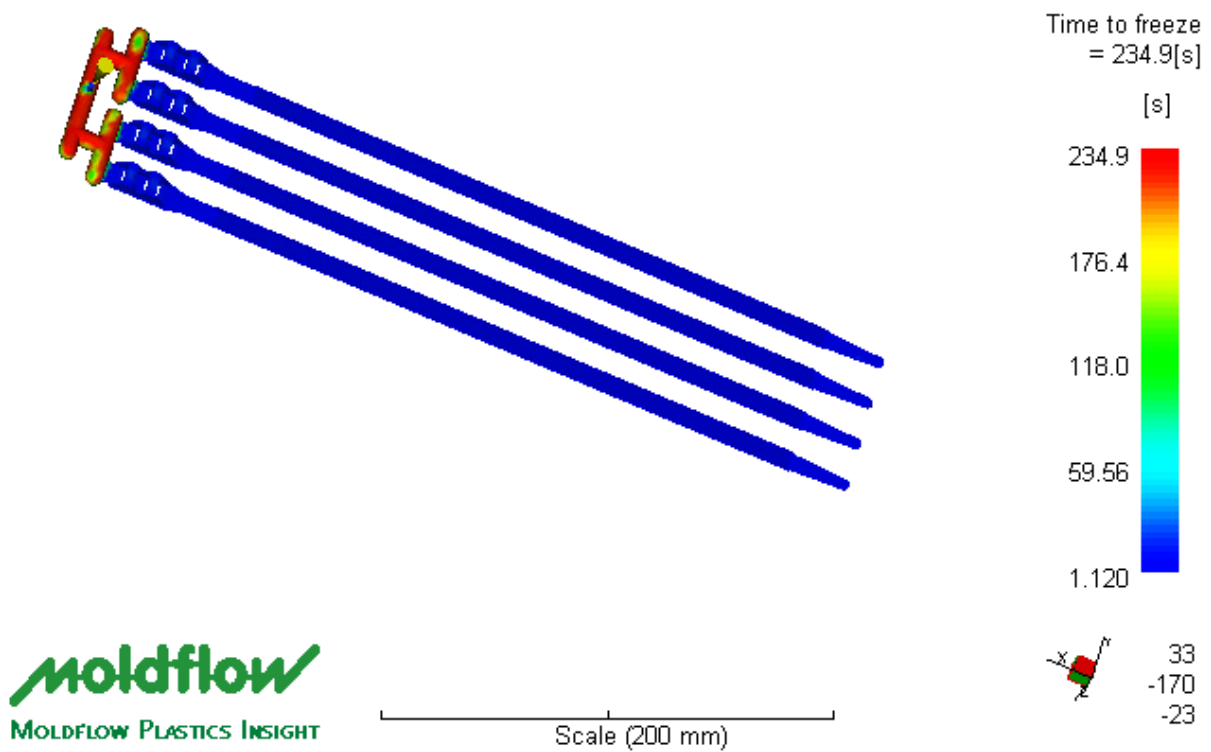


Figure 36b : Simulation du temps de refroidissement des colliers de serrage

### 1.7.3. Pression d'injection

Cette courbe nous permet de visionner l'évolution de la pression d'injection en fonction temps. Il nous permet aussi de positionner le point de commutation lors du remplissage des empreintes (Figure 36c)

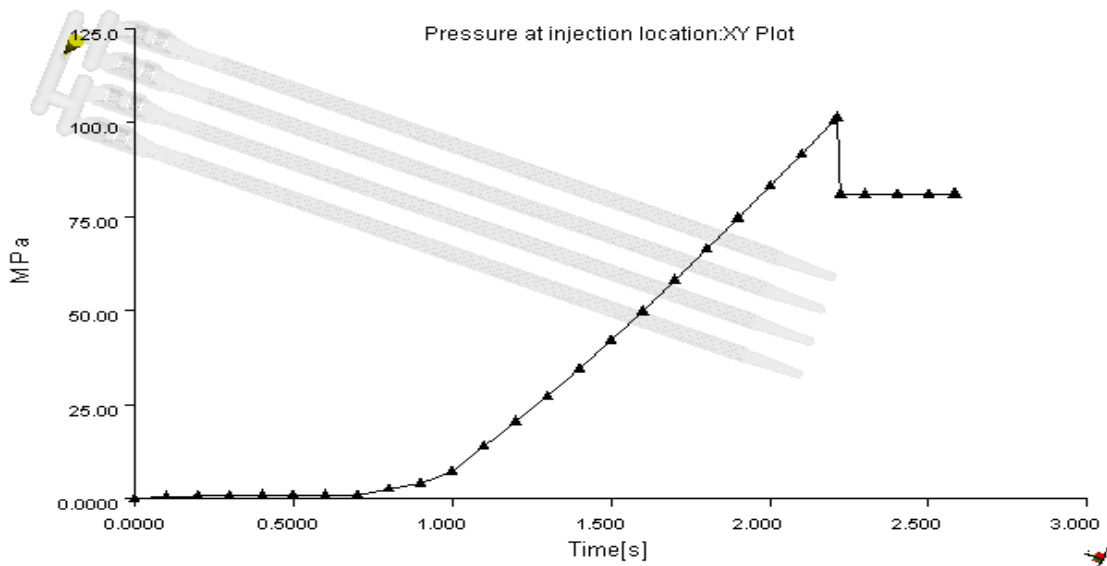


Figure 36c : Simulation de l'évolution de la pression d'injection dans le moule des colliers de serrage

#### 1.7.4. Température de front de la matière

Cette figure nous permet de visionner la température de front de la matière. Les extrémités des colliers de serrage sont caractérisées par une baisse de température.(Figure 36d)

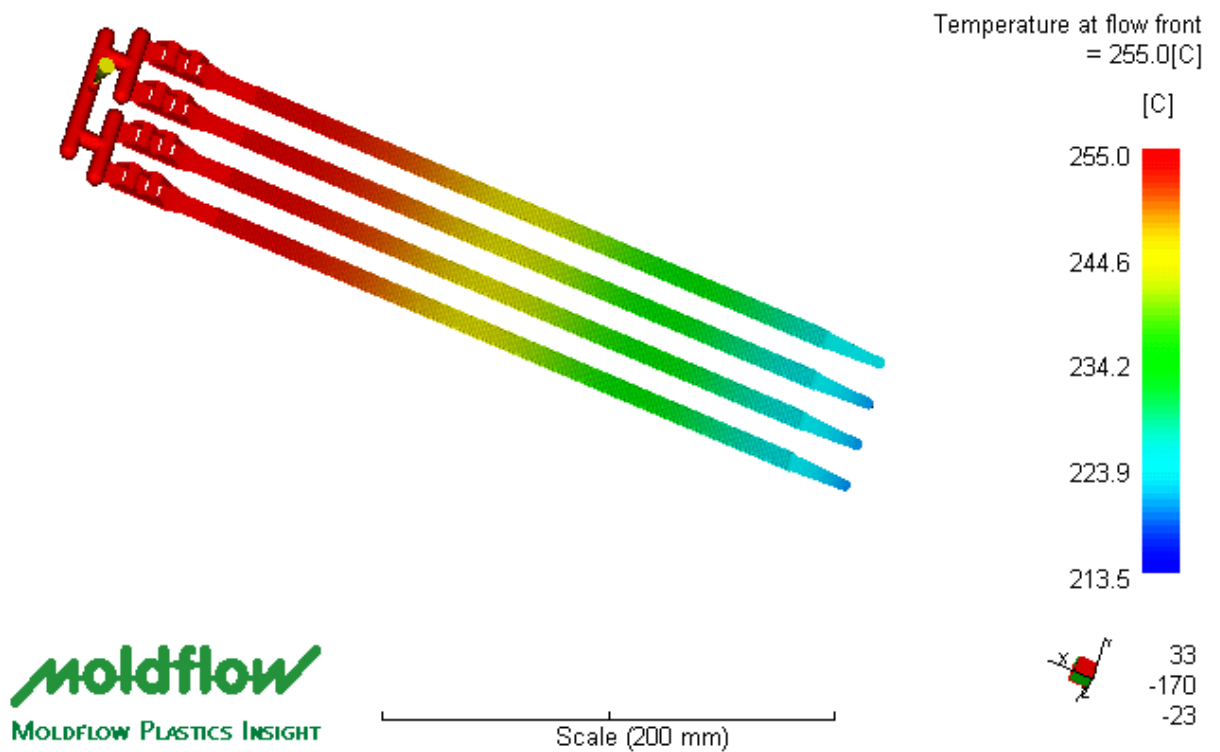


Figure 36d : Simulation de l'évolution de la température de front de la matière dans le moule des colliers de serrage

#### 1.7.5. Bulles d'air

On remarque que les colliers de serrage ne présentent pas de gros problèmes de bulles d'air mais la réalisation des événements reste une nécessité pour chasser l'air en dehors des empreintes.(Figure 36e)



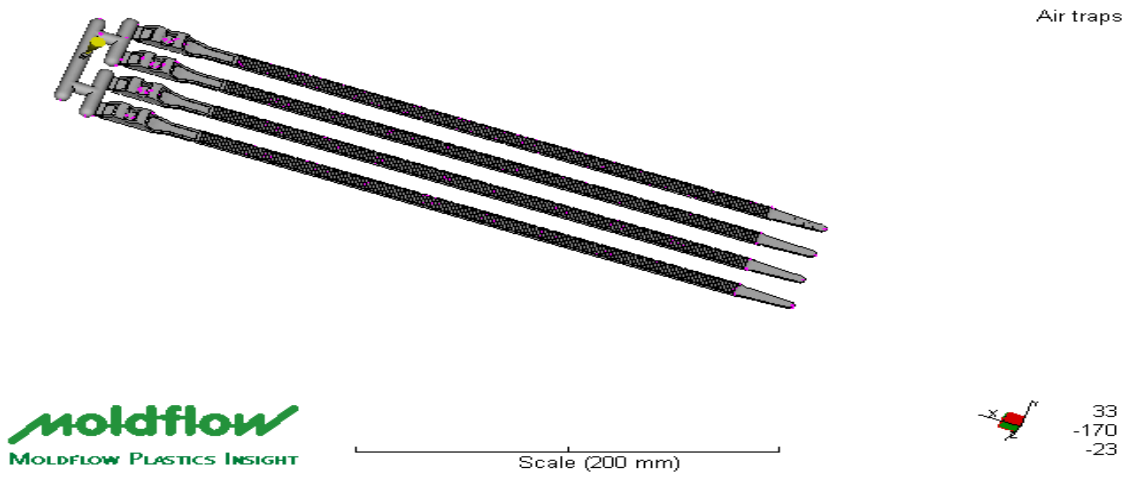


Figure 36e : Simulation des lieux de présence des bulles d'air dans colliers de serrage

### 1.7.6. Lignes de soudure

Le choix de la nappe pour l'injection nous a permis de réduire les lignes de soudure. (Figure 36f)

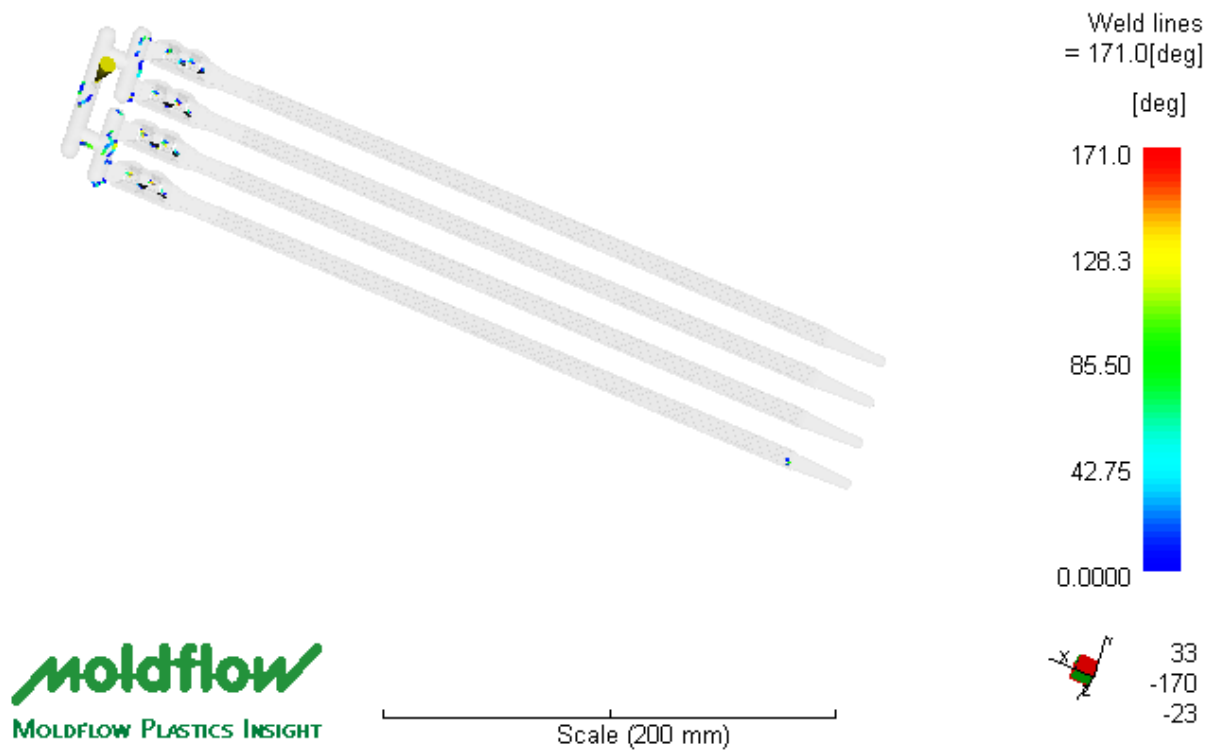


Figure 36f : Simulation des lieux de présence des lignes de soudure dans colliers de serrage

### 1.7.7. Remplissage par fraction de poids de la moulée en fonction du temps

Cette courbe nous renseigne sur le remplissage des pièces(%) en fonction du temps. On remarque qu'il y a une constance dans le remplissage suivie par un ralentissement dans la phase finale.(Figure 36g)

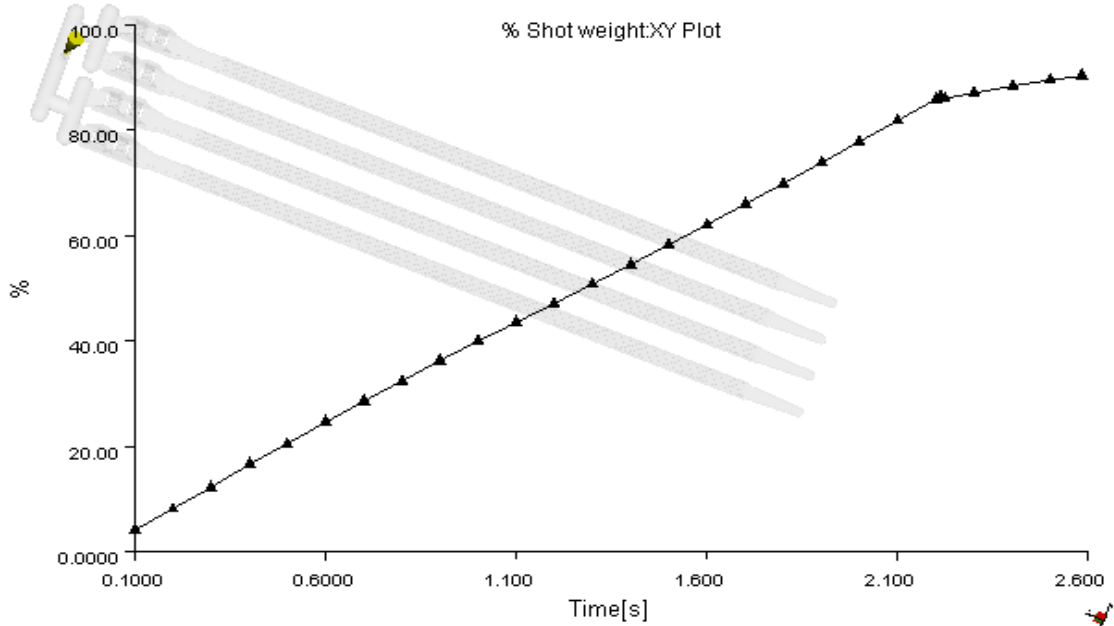


Figure 36g : Simulation de l'évolution de remplissage en % dans colliers de serrage

### 1.7.8. Profil de la vitesse recommandée d'injection

Cette courbe nous recommande le profil adéquat pour la vitesse d'injection. Une vitesse rapide au début de remplissage puis une autre pour nourrir les extrémités des colliers.(Figure 36h)

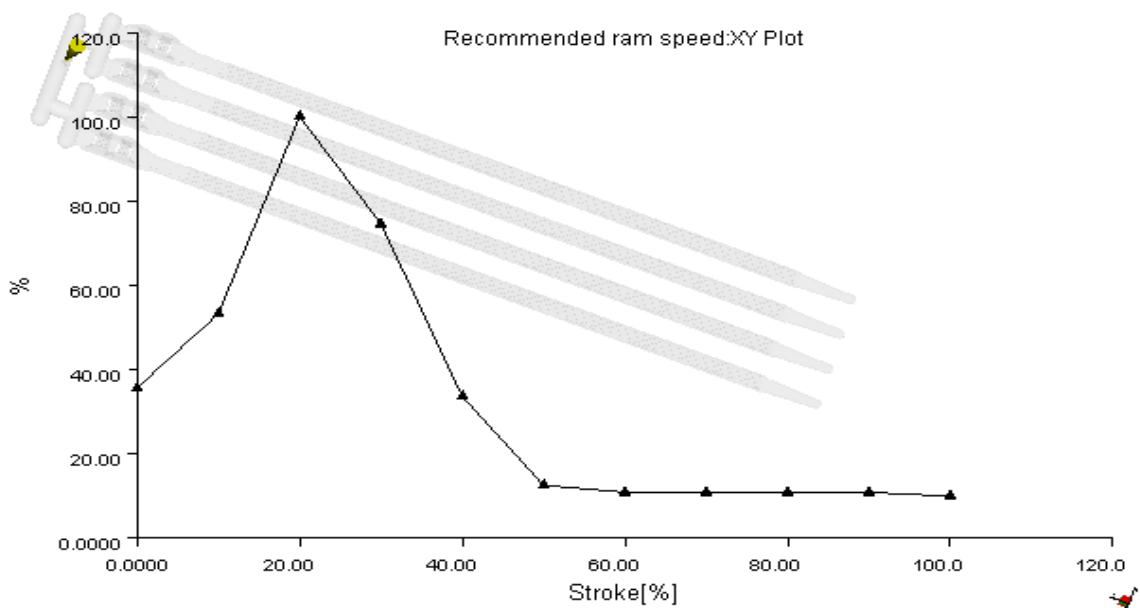


Figure 36h : Simulation de la vitesse recommandée d'injection

## 1.8. Refroidissement du moule

### 1.8.1. Généralités

La précision avec laquelle la régulation thermique doit être assurée est non seulement fonction de la nature du polymère mais aussi de la destination des pièces injectées. Pour cela on distingue trois cas :

**Cas n°1 : La production de pièces de précision**, par exemple, ou d'objets pour lesquels des contraintes d'ordre esthétique sont imposées, une régulation rigoureuse de la température du moule est exigée, accompagnée par un refroidissement lent.

**Cas n°2 : Pour la production d'articles de grande consommation**, au contraire, les contraintes économiques prévalent et justifient souvent un refroidissement rapide. Dans tous les cas, le mouleur doit être en mesure d'assurer le réglage de la température des différents points du moule.

**Cas n°3 : Un refroidissement lent et contrôlé** contribue à la diminution des contraintes internes et augmente la cristallinité en même temps que la stabilité et les propriétés mécaniques **des polymères cristallins**.

Dans le cas des colliers, cet article est de grande consommation mais il a des propriétés mécaniques à assurer via l'encliquetage. Par conséquent, il est essentiel de chercher un compromis pour concevoir un circuit de refroidissement qui garantit un refroidissement rapide ; uniforme et sans contrainte mais en même temps favorisant des propriétés mécaniques maximales.

### 1.8.2. Bilan thermique du moulage

Le bilan thermique dans le moule est donné par l'équation ci-dessous :

$$\Sigma Q = Q_M + Q_e + Q_R + Q_P = 0$$

Avec :

$Q_M$  : Quantité de chaleur fournie à l'empreinte de la matière première

$Q_e$  : Quantité de chaleur évacuée par les empreintes.

$Q_R$  : Quantité de chaleur transmise au circuit de refroidissement.

$Q_P$  : Quantité de chaleur échangée avec le milieu environnant le moule ou apportée par le liquide refroidissant. [15]

- Détermination de  $Q_M$  :

$$Q_M = P (H_1 - H_2)$$

Avec :

$Q_M$  : (Joule) quantité de chaleur fournie à l'empreinte ;

$P$  : (g) poids de la pièce ;

$H_2$  : (J/g) enthalpie correspondant à la température de moulage ;

$H_1$  : (J/g) enthalpie correspondant à la température de démoulage.

$Q_M$  : Ce paramètre est directement lié à la nature du polymère injecté. Il est plus important pour les polymères semi-cristallins que les polymères amorphes. [15]

(Voir figure 37)

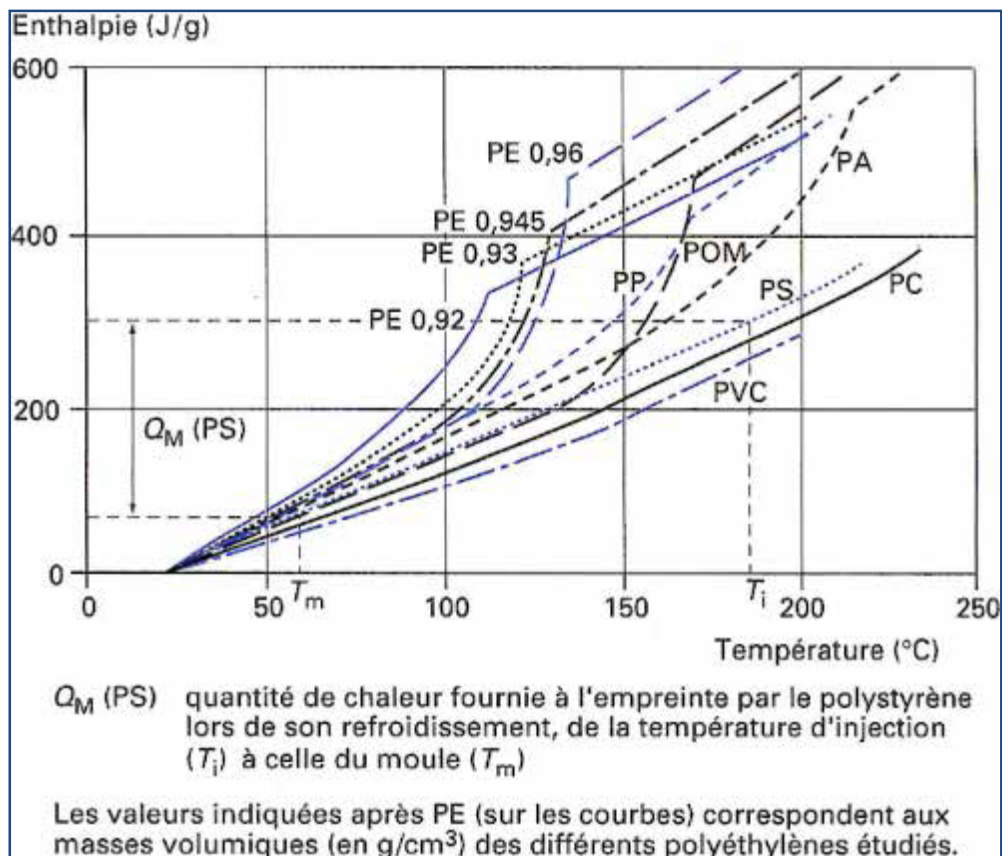


Figure 37 : Courbes enthalpiques de différents polymères [15]

- Détermination de  $Q_R$  :

$$Q_R = (\lambda / L) S (T_p - T_c)$$

Avec :

- $\lambda$  conductivité thermique du métal du moule,  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
- $T_p$  température de surface de l'empreinte, °K
- $T_c$  température de la paroi du canal, °K
- $L$  distance entre l'empreinte et l'axe du canal, m
- $S$  superficie des parois de ce dernier.  $m^2$

$Q_R$  : Ce paramètre est lié à la nature du matériau constituant l'empreinte. Il est plus intéressant pour l'alliage Be - Cu que l'acier faiblement allié. L'efficacité de ce paramètre est traduite par le gradient de température mesurée entre la surface de l'empreinte et le liquide réfrigérant. (Figure 38). Notons aussi que la turbulence du liquide réfrigérant favorise le dégagement des calories en minimisant le gradient. [15]

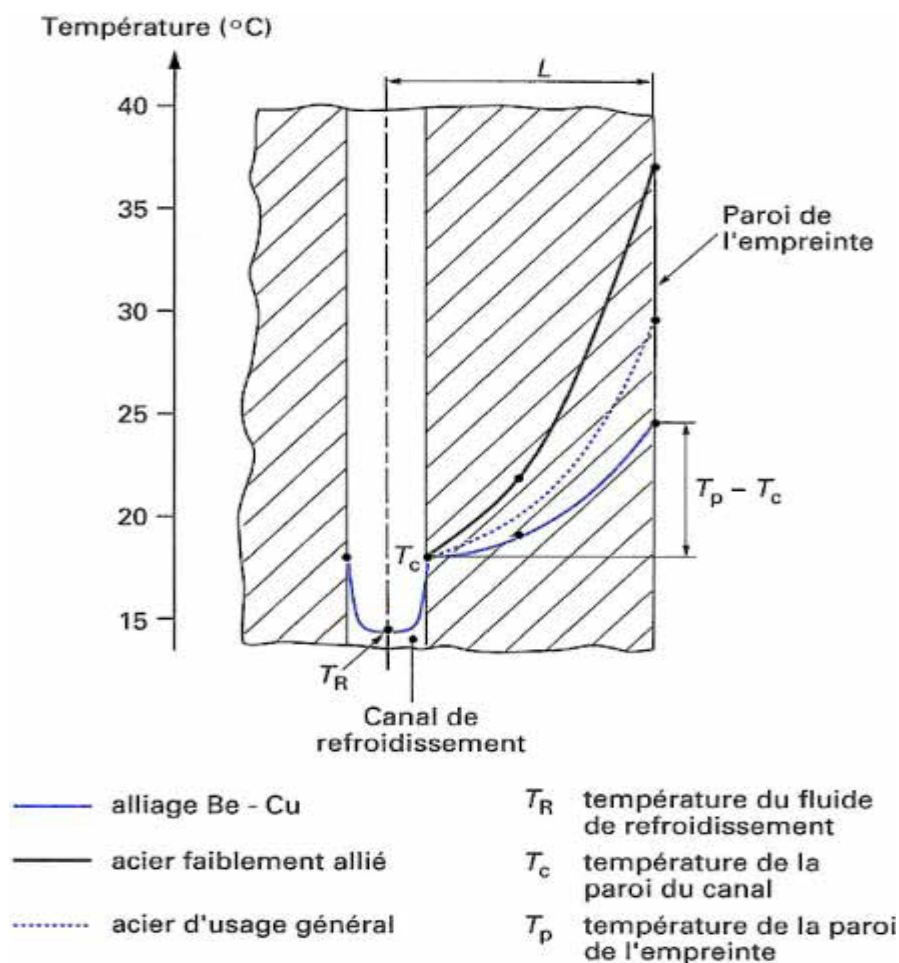


Figure 38 : Gradient de température dans les canaux de refroidissement et dans l'épaisseur du moule, pour différents métaux constitutifs [15]

NB :

Les deux quantités de chaleur  $Q_R$  et  $Q_M$  peuvent s'exprimer en fonction des flux thermiques traversant la surface du moule pendant le temps  $t$  :

$$\Phi_R = Q_R/t \text{ et } \Phi_M = Q_M/t \quad [15]$$

- **Détermination de  $Q_e$  :**

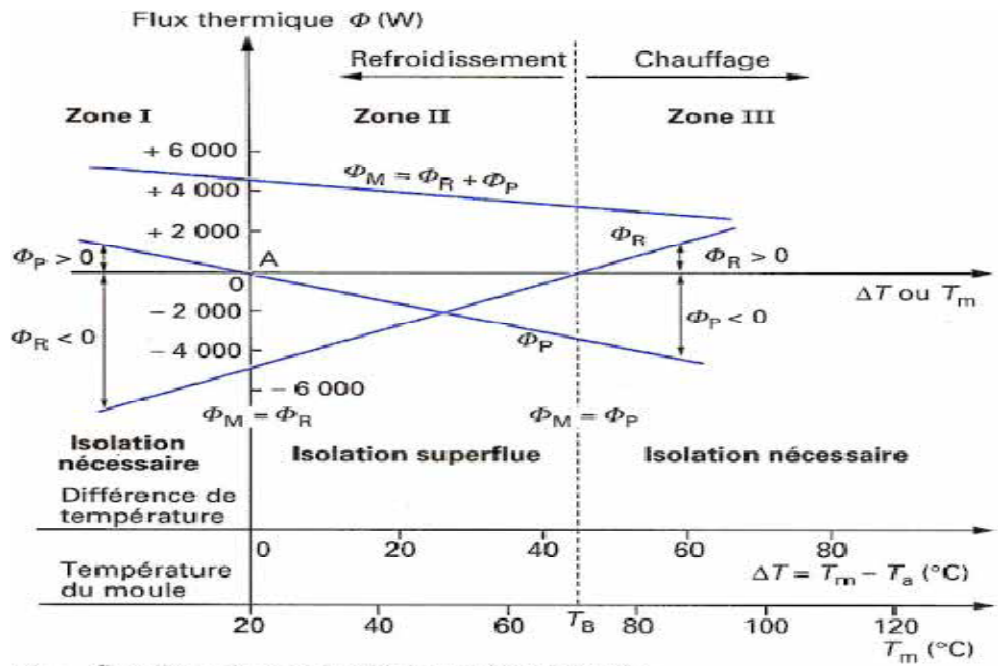
$Q_e$  est relativement petit, compte tenu de la faible capacité thermique des plastiques.

- **Détermination de  $Q_p$**

$$Q_p = Q_{pn} + Q_{pc} + Q_{pr} \quad [15]$$

Ces trois termes correspondant respectivement aux pertes par conduction, par convection et par rayonnement. Celles-ci sont relativement élevées, surtout dans le cas d'un moule chauffé à plus de 70°C (Comme dans notre cas). La partie la plus importante de ces pertes se fait par conduction thermique à travers les surfaces de contact du moule avec les plateaux de la presse. Il est de ce fait recommandé d'isoler le moule à l'aide de plaques de ciment chargé, résistant à la chaleur et à la compression et bien plane afin d'assurer une pression constante sur toute la surface du moule.

L'état des surfaces extérieures du moule peut aussi favoriser les pertes par rayonnement. Des moules en acier inoxydable polis extérieurement ont des pertes radiatives réduites au tiers de celles d'un outillage mal entretenu et rouillé. [15]



$\Phi_M$  flux thermique relatif à la matière injectée  
 $\Phi_R$  flux de chaleur relatif au liquide de refroidissement ou de chauffage  
 $\Phi_P$  flux de chaleur dû aux pertes  
 $T_a$  température de l'environnement du moule

Figure 39 : Abaque relatif aux échanges thermiques dans le moule [15]

Dans notre cas le moule doit être isolé thermiquement puisque la température  $T_m$  du moule doit être comprise entre 80°C et 90°C. (Voir Figures : 39 et 40) :

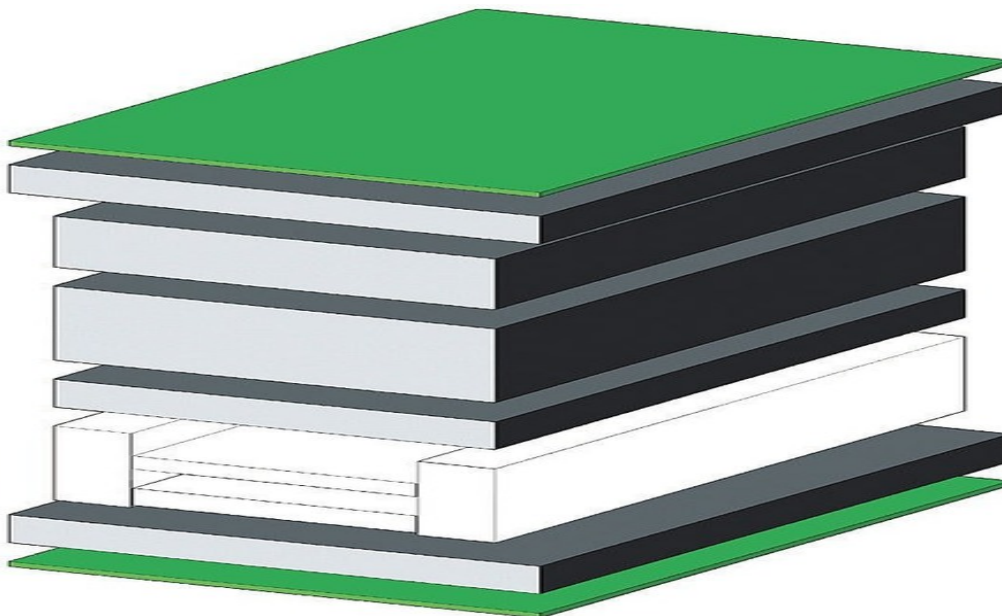


Figure 40: Un moule isolé thermiquement [29]

### 1.8.3. Conception du circuit de refroidissement

L'article collier est caractérisé par son épaisseur relativement faible ( $\approx 2\text{mm}$ ) et par sa longueur importante pouvant atteindre 370 mm.

Dans ce cas d'injection où les pièces sont minces et longues, le refroidissement doit être différent entre le haut des colliers et les extrémités. Cet écart entre les 2 zones de températures est important. Il permet de remplir les extrémités des colliers les plus lointaines des points d'injection. Ce défaut est le plus courant. Cette contrainte de remplissage des extrémités des colliers nous incite à prévoir un autre circuit permettant d'augmenter la température du moule afin de faciliter l'écoulement dans les extrémités.

Le diamètre des canaux est fonction de l'épaisseur des pièces à mouler. Dans notre cas le diamètre choisi est 10 mm. (Tableau 17)

épaisseur mm	diamètre mm
≲ 2	8 à 10
2 à 4	10 à 12
4 à 6	12 à 15

Tableau 17: Diamètre du canal de refroidissement en fonction de l'épaisseur de la pièce à injecter [15]

Un autre paramètre est nécessaire pour les canaux est leurs positions par rapport aux empreintes. Ce paramètre a une influence majeure sur la régulation de la température du moule.(Figure 41)

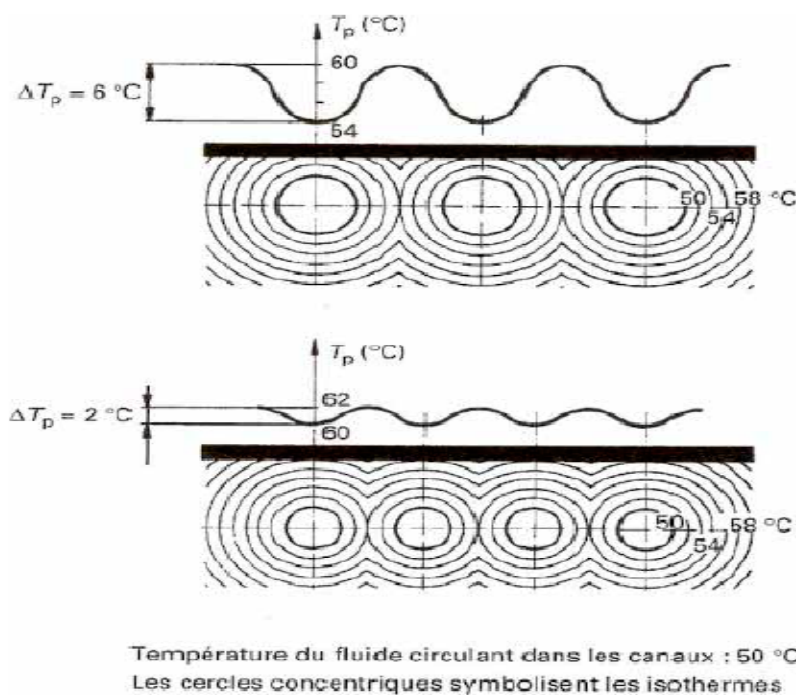


Figure 41: Influence de la position des canaux par rapport à la surface de l'empreinte sur la température  $T_p$  [15]



La réalisation des perçages sur le bloc de moule est souvent compliquée par la présence d'éjecteurs ou poinçons. Les canaux peuvent communiquer par l'intersection de deux perçages mais, dans les cas difficiles, on peut faire un pontage à l'extérieur à l'aide de tuyaux souples isolés. Malgré que cette solution comporte des risques de détérioration pendant les manutentions.

En conclusion un circuit de refroidissement réussi permet d'optimiser le temps de refroidissement et sous entendu le cycle global de fabrication.

## 1.9. Système à canaux chauds

### 1.9.1. Généralités

L'alimentation des empreintes dans un système à canaux chauds consiste à répartir la matière plastique, à l'aide d'un bloc de distribution, jusqu' à chaque point d'injection dans l'empreinte du moule. Le bloc distributeur est chauffé de façon à obtenir un **profil de température uniforme** le long des canaux. Pour cette raison, il est isolé du reste du moule par des isolants ou des poches d'air afin de minimiser les pertes de chaleur. Le polymère se rend ainsi aux points d'injection, **sans perte de pression** due à des baisses de température et à des pertes de chaleur.

L'injection à canaux chauds présente des avantages techniques et économiques importants :

- suppression ou réduction de la carotte (voir FIG.42);
- Diminution du cycle d'injection (en particulier pour les petites pièces)
- « augmentation, qui dépasse souvent 30 %, du rendement de la presse »

[15]

- amélioration de la qualité des pièces injectées, diminution des rebuts.

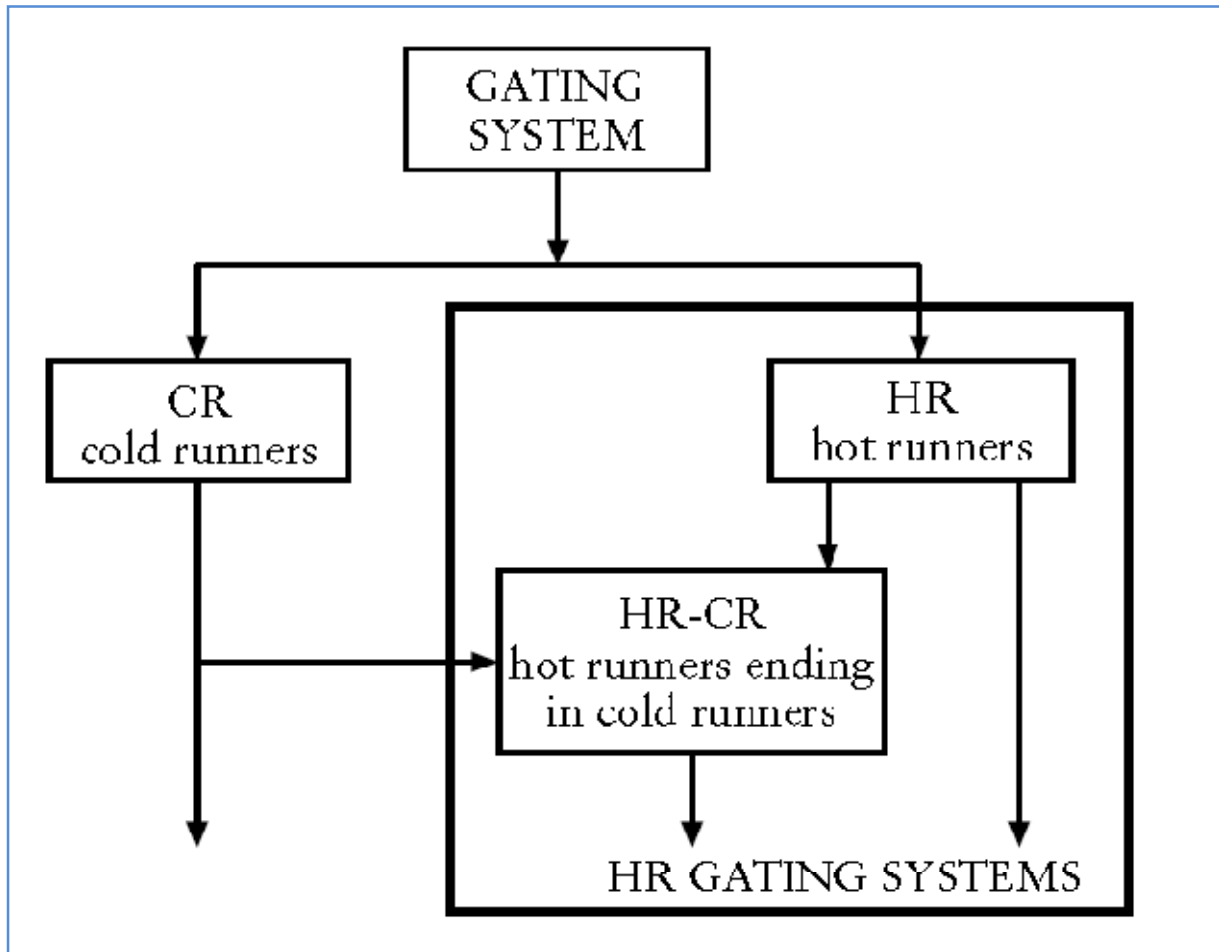


Figure 42: Différents système d'injection des matières thermoplastiques [16]

Le système à canaux chauds se compose d'un bloc chaud qui achemine la matière liquide vers les busettes chauffantes (Voir Figure 43).

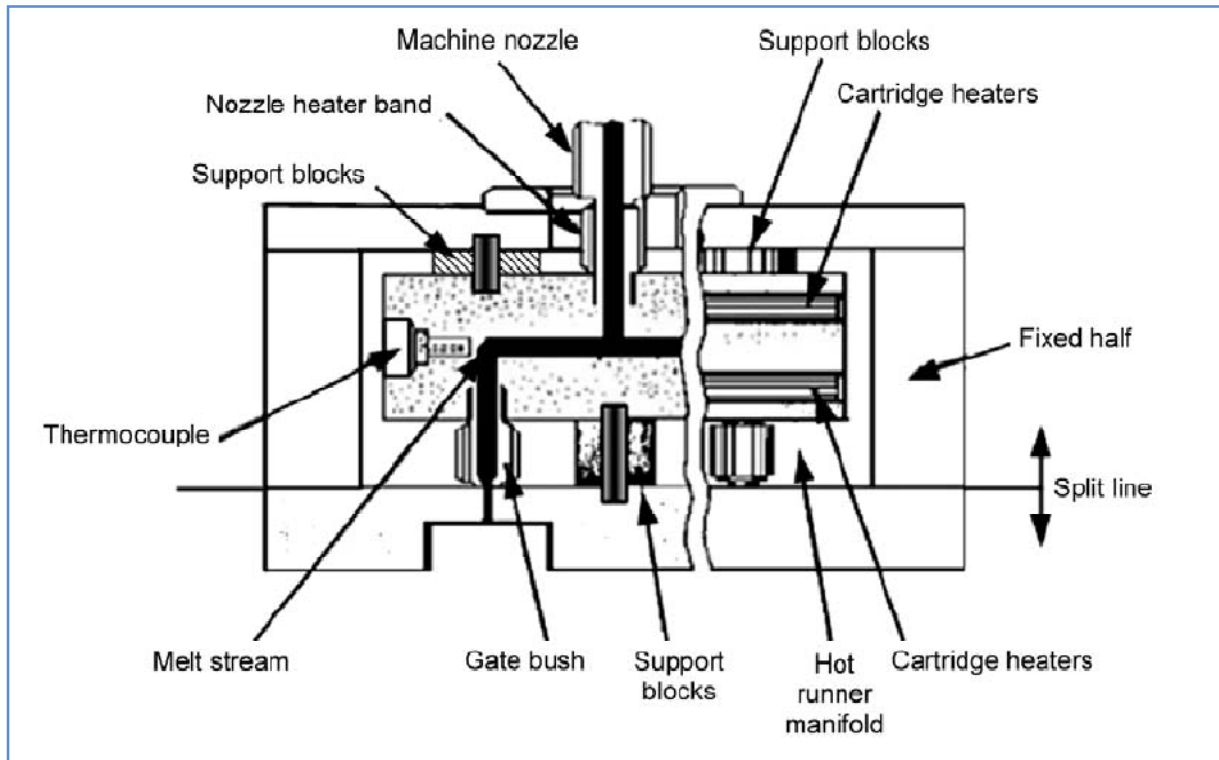


Figure 43 : Principe d'un système à canaux chauds similaire à celui choisi dans notre application [17]

La température d'injection est conservée jusqu'à la sortie des busettes ce qui facilite le remplissage des moules (voir Figure 44)

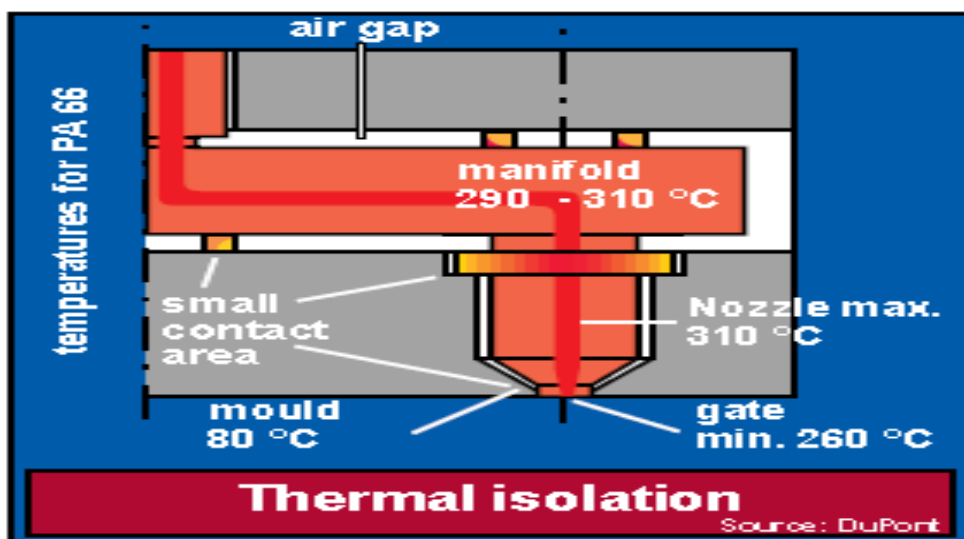


Figure 44 : Détail d'un système à canaux chauds pour PA66 avec les températures adéquates [18]

### 1.9.2. Choix technique des composants du système à canaux chauds :

Le choix des canaux dépend de la matière première à acheminer et de la quantité de la matière à fournir.

- **Matériau** : Alliage de PA/PP suivant le catalogue d'ARKEMA
- **Quantité de la matière à fournir** : 50 grammes (besoin du moule est

40g uniquement)

- **Température max d'utilisation** : 360°C

**Le choix de la busette** : (Voir Annexe n° :4)

La busette choisie pour notre application est la suivante : (Z103GT 45x 88/3)  
(Voir Annexe 4)

### Le choix du bloc de distribution

Le bloc de distribution est choisi avec la collaboration de HASCO.il sous forme de T.

Entraxe busettes=106 mm

Voir figure ci-dessous :

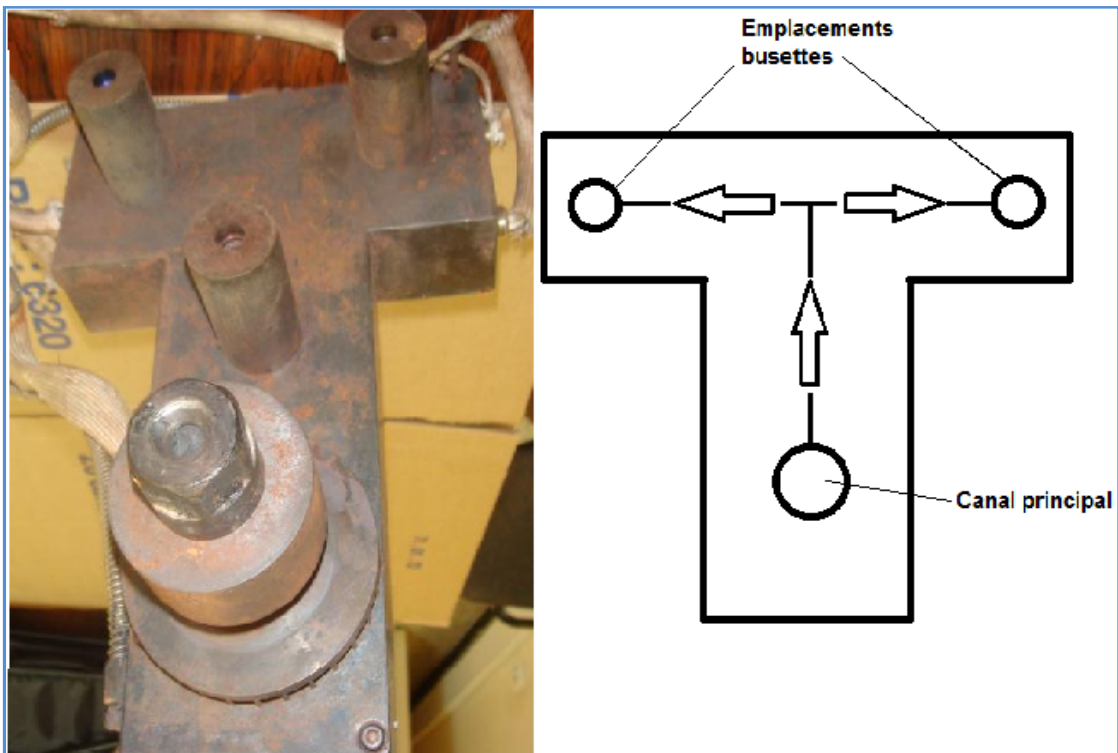


Figure 46: Bloc de distribution avec un schéma du flux de la matière (Source : Photo INGELEC)

## Collier chauffant :

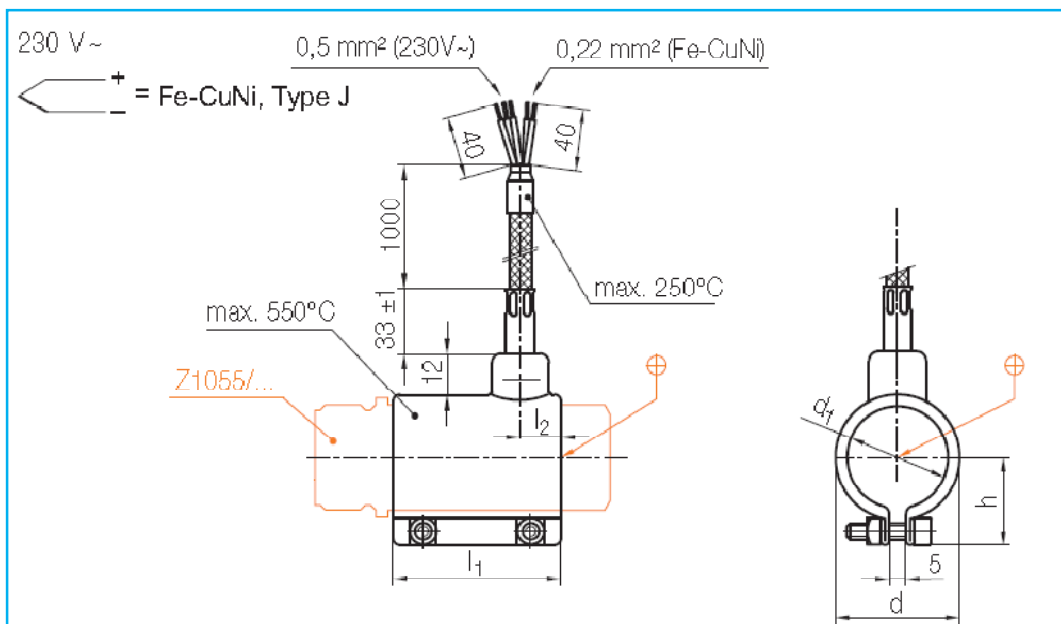


Figure 47 : Collier chauffant [19]

## 1.10. Système d'éjection

### 1.10.1. Généralités

Les pièces injectées sont retenues dans le moule par l'effet de contraction et par l'effet de contre-dépouille. Pour assurer l'évacuation des pièces plusieurs solutions sont possibles et qui dépendent de la complexité des pièces.

### 1.10.2. Conception des éjecteurs

Dans notre cas les éjecteurs sont placés à proximité des formes complexes dans le collier et le long de sa longueur. Les diamètres des éjecteurs sont choisis selon les contraintes rencontrées (Forme de la pièce ; circuit de refroidissement ; parties fonctionnelles de la pièce...etc.)

Voir photo d'un collier avec l'emplacement des éjecteurs (Figure 48)

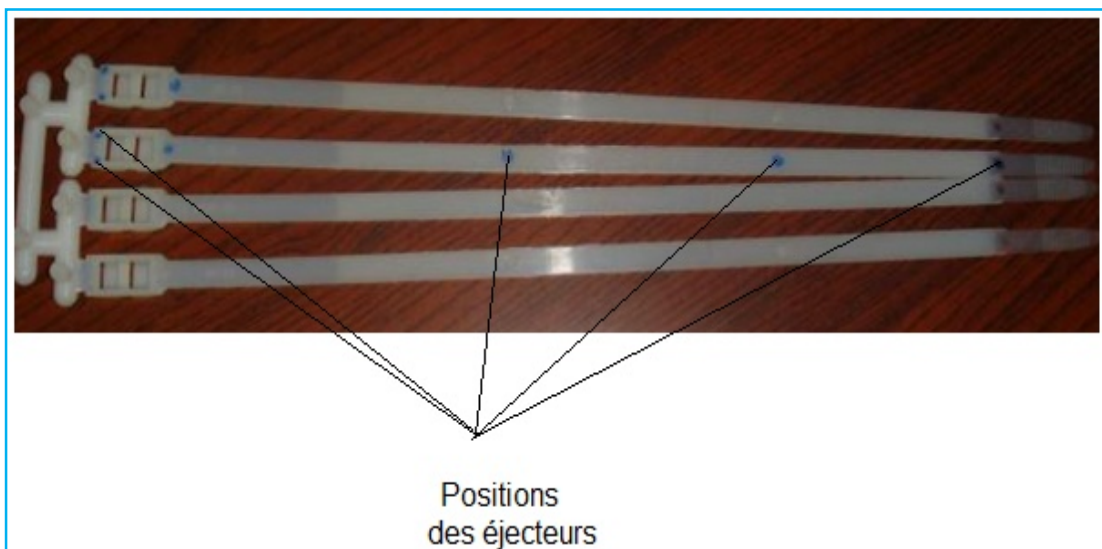


Figure 48 : Colliers 9x355 avec positions des éjecteurs sur une des pièces (Source : Photo INGELEC)

Ejecteurs sur la tête des colliers :

- Nombre : 2
- Diamètre : 3 mm

Ejecteurs sur la longueur (370 mm) :

- Nombre : 4
- Diamètre : 4 mm

### **1.10.3. Guidage des 2 parties du moule**

Afin d'assurer un bon centrage entre les 2 parties du moule. Il est nécessaire de concevoir des plots de centrage. Ils sont constitués de pièces d'usure en laiton qu'il faut changer systématiquement afin de garder le centrage.

Il faut rappeler que le décentrage cause un problème fonctionnel par le non montage des colliers. Pour minimiser l'usure une action de graissage est essentielle.

### **1.11. Encombrement du moule**

Ce paramètre constitue un élément essentiel pour le choix de la machine :

- Longueur : 546 mm
- Largeur : 376 mm
- Epaisseur : 430 mm
- Figure : Voir annexes 1; 2 et 3

## **2. Machines et dessiccateurs**

### **2.1. Caractéristiques de la machine**

#### **2.1.1. Calcul de la force de verrouillage nécessaire :**

Calcul de la force de fermeture :

$$F = P \times S \times 1.3$$

Avec :

**P** : Pression interne du moule PA : 350 kg/ cm<sup>2</sup>

**S** : Surface projetée à injecter : 295.5 cm<sup>2</sup>

**Effort calculé est :**

**134.5 Tonnes**

NB :

Cette valeur constitue une force de verrouillage approximative. Elle peut être ajustée selon les données réelles concernant :

- l'efficacité de la conception du moule « nappes et canaux d'injection »
- Le grade de la matière
- Les pertes de charge dans le parcours de la matière dans le moule.
- L'utilisation des canaux chauds.

Des tests sur le moule ont été concluants sur des machines de 130 tonnes. Ces essais confirment clairement la réussite dans le choix des éléments pour avoir un bon moulage (**Moule / Machine / Matière**).

### **2.1.2. Adéquation des paramètres de la machine avec le moule**

- Le diamètre de la vis : **50 mm**
- Le volume total à remplir (empreintes+ canaux) : **66.67 cm<sup>3</sup>**
- La capacité d'injection de la machine : **353 cm<sup>3</sup>**
- Epaisseur du moule/Epaisseur minimale sur la machine : **430 mm /275 mm**
- Ouverture machine : **575 mm**
- Passage entre colonnes : **470 mm**
- Course d'éjecteur max. de la machine /Course d'éjecteur moule : **175 mm / 27 mm**

Le temps de séjour de la matière dans le fourreau :

- Temps de cycle estimé : **20 s**
- Volume max injectable : **353 cm<sup>3</sup>**
- Volume total à remplir à chaud : **83.34 cm<sup>3</sup>**  
«  $66.67 \times 1.25 = 83.34 \text{ cm}^3$  »
- Matelas pour vis diamètre 50 mm : **8 mm**

Le temps de séjour par définition :

T (séjour)= temps de cycle x (Volume max injectable/Volume nécessaire total)

A.N :

$$T (\text{séjour})= \text{temps de cycle} \times \frac{\text{Volume max injectable}}{\text{Volume nécessaire total}}$$

**T (séjour)= 1.41 minutes**

Ce temps ne dépasse pas le temps max de dégradation de la matière qui est de **5 minutes** et par conséquent on n'a pas besoin de machine à vis spéciale.

## 2.2. Caractéristiques de dessiccateur

### 2.2.1. Définition :

Le dessiccateur est un appareil qui permet d'éliminer l'humidité dans les matières hygroscopiques. La qualité des produits finis sera, notamment, conditionnée par les conditions et les performances techniques du dessiccateur utilisé.

### Principe

Il fonctionne en circuit fermé, le processus utilisé par le dessiccateur consiste à éliminer successivement l'humidité contenue dans l'air puis dans la matière.

Le principe est simple, il consiste à déshumidifier l'air en le faisant passer à travers un tamis moléculaire. L'air une fois déshumidifié est porté à la température demandée de séchage de la matière, puis propulsé dans la matière qu'il sèche en la traversant.

Le dessiccateur fonctionne en boucle fermée en renouvelant ce processus jusqu'à l'obtention du séchage total de la matière. Le tamis moléculaire après plusieurs cycles de fonctionnements sera saturé et doit être changé.

### 2.2.2. Paramètres de séchage

Les paramètres de séchage dépendent de la nature de la matière plastique à étuver.

Matières // Paramètres	Température °C	Durée (h)
Polyamide 6	70-90	2-4
Polyamide 6.6	70-90	2-4
PA/PP (Orgalloy)	70-90	2-4

Tableau 17a : Paramètres de séchage des 3 matières.

Capacité de dessiccation et consommation :

Le rôle des dessiccateurs est de sécher la matière à injecter à la température



de 80°C par exemple. Le dessiccateur de 60 litres peut contenir 50 kg de la matière première. Sa capacité est donc 50kg/4heures soit 12.5Kg/h.

D'autre part le moule consomme une quantité horaire de : 3600/Cycle x poids de la grappe (moulée +carotte)

$$x = \frac{3600 \times \text{Poids de la grappe}}{1000 \times \text{Cycle}}$$

*Avec Poids de la grappe en (grammes) : Carotte + pièces*

*Cycle en (secondes)*

3 cas se présentent :

- Si  $x \gg 12.5 \text{ Kg/h}$  ,la matière est considérée non suffisamment séchée pour le moulage.
- Si  $x \ll 12.5 \text{ Kg/h}$  ,la matière est considérée comme trop séchée voir début de jaunissement.
- Si  $x \approx 12.5 \text{ Kg/h}$  ,La matière est correctement séchée

Malheureusement le 2<sup>eme</sup> cas se présente souvent ce qui constitue un handicap dans la maîtrise de la qualité des colliers de serrage.

Dans ce cas 2 solutions sont envisageables :

- Capacité du dessiccateur doit être sensiblement égale à la consommation des moules en production.
- Réduire le volume du dessiccateur (utilisation des détecteurs de niveau) pour qu'il soit équivalent à la consommation réelle du moule.

### **3. Méthodes de travail**

#### **3.1. Avant démarrage de la machine**

Le procédé d'injection est caractérisé par des paramètres de réglage. Ils sont directement liés aux propriétés des pièces injectées. Avant le démarrage de la machine il est nécessaire de procéder à la vérification de :

- La fiche technique de la matière et le certificat d'analyse.
- La préparation de la matière avec ou sans broyés.
- La compatibilité du dessiccateur avec le moule (déjà traité 3.2.2 paramètres de séchage).
- Les moyens de mesures de la température du moule et de la matière fondue (vérification manuelle)

- Le bon état du clapet (Fluidité du PA l'oblige et toute fuite peut altérer au remplissage et au compactage des pièces) → Cela peut être visible par la constance ou non du matelas lors de la mise en œuvre.
- La conformité de la buse de la machine avec la cheminée du moule d'un part et compatible avec le PA qui est une matière thermosensible de l'autre part. (Figures 49-50).
- Le branchement correct du circuit de refroidissement (respecter les entrées et les sorties).
- Préparation des documents de contrôle qualité.

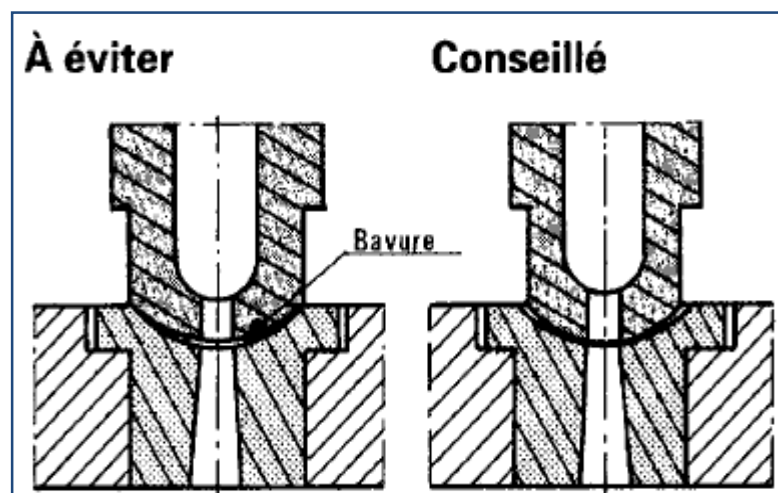


Figure 49 : Contact buse de la machine et cheminé moule [20]

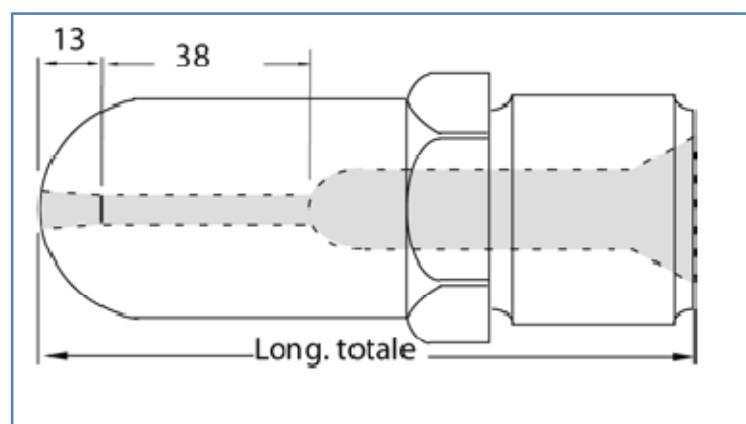


Figure 50 : Type de buse spéciale pour les polyamides [30]

### 3.2. Au cours de démarrage de la machine

Le démarrage de l'opération d'injection est constitué par les étapes ci-dessous :

- Vérification de la température du dessiccateur ainsi que la température de

matière en dessiccation.

- Vérification de la température réelle de la matière (Purger ; introduire le thermocouple puis mesurer la température réelle).
- Vérification de la température réelle du moule
- Préparation des paramètres du système de dosage.
- Réglage des paramètres : vitesse et pression d'injection ; vitesse de rotation de la vis et la force de verrouillage nécessaire.
- Faire des injections partielles puis ajuster la vitesse de remplissage.
- Déterminer le temps de maintien en procédant aux mesures par le poids des pièces.
- Vérification de la conformité des pièces par rapport aux documents de contrôle-qualité.

### **3.3. En cours de fabrication**

Quand la machine fonctionne dans son régime normal. L'opérateur doit :

- Vérifier la qualité des produits issus de cette machine.
- Etre prudent lors d'un changement de lot de matière.
- Respecter les procédures de rangement de la production et de l'aménagement de son poste de travail.
- Purger la matière quand la machine est arrêtée plus de 5 minutes

### **3.4. Fin de la fabrication**

Quand la quantité à fabriquer est achevée l'opérateur doit :

- Arrêter la machine et purger la vis de la matière.
- Détacher le système d'alimentation (trémie).
- Débrancher le système de refroidissement puis nettoyer le circuit du moule par l'air comprimé.
- Débrider puis démonter le moule.
- Garder 3 dernières moulées pour les services : Production ; atelier mécanique et contrôle qualité.

## **4. Main d'œuvre**

### **4.1. Définition**

La main d'œuvre est l'élément moteur dans tous les cinq M. Elle est à la base de la réussite ou l'échec du projet. Dans cette partie on ne va pas se focaliser uniquement sur le personnel exécutant l'opération de moulage mais on va la

généraliser sur l'ensemble des acteurs depuis l'étape de la conception jusqu'à la fabrication et le stockage.

#### **4.2. Conception / Industrialisation**

La phase de conception est une étape qui permet de concevoir les articles en tenant compte des cahiers des charges qui a été transmis par le service marketing ou commercial. Où on y trouve la définition du produit à réaliser ainsi que les prévisions annuelles estimées.

Dans le cas de la conception des colliers et la réalisation des moules. Cette activité a été confiée au mouliste lui même.

En conclusion les moules des colliers ont été réalisés avec des conditions spéciales par le mouliste. On peut distinguer facilement les anomalies lies aux moules :

- Maintenabilité des moules difficile voire impossible (Denture des colliers taillées dans la masse et non rapportée par exemple.)
- Moules non équilibrés.
- Moules conçus pour une matière avec des caractéristiques spéciales produit avec un fournisseur unique (RADICCI de l'Italie)
- Moules conçus pour des machines non standards (200 T à 400T avec une vis de 35 ou 36 de diamètre)
- Difficulté d'automatisation de la production

#### **4.3. Mise en production**

Le lancement du processus de fabrication des colliers a révélé plusieurs anomalies :

- Haute sensibilité des moules au changement de lots de matière.
- Impossibilité d'intégrer de la matière recyclée.
- Désordre des colliers lors de l'éjection (Tâches sans valeurs ajoutées pour les colliers)

#### **4.4. Achat de la matière équivalente**

Dans le cadre de la stratégie de l'entreprise de réduire les coûts qui sont liés à la matière première et dans l'espoir à la recherche d'autres fournisseurs et en collaboration avec le service contrôle qualité. Le problème se complique d'avantage. Le résultat final est résumé dans le tableau ci-dessous: (Tableau 18)

Référence Produit	Référence Article	Désignation	Matière	Fournisseur
1637/03	P2301022	<b>Collier 4,7 x 370</b>	<b>PA 6.6</b>	Poliblend /Rhodia
1620/01	P2301222	<b>Collier 2,5 x 200</b>		Poliblend/Rhodia
1630/02	P2301122	<b>Collier 3,6 x 300</b>		Poliblend /Rhodia
1610/01	P2302222	<b>Collier 2,5 x 96</b>		Poliblend/Rhodia
1625/03	P2300922	<b>Collier 4,7 x 250</b>		Poliblend/Rhodia
1614/02	P2300822	<b>Collier 3,6 x 140</b>		Poliblend/Rhodia
1626/04	P2302714	<b>Collier 7,6 x 265</b>	<b>PA 6</b>	DSM
1634/04	P2300714	<b>Collier 7,6 x 340</b>	<b>PA 6</b>	DSM
1618/04	P2302614	<b>Collier 7,6 x 185</b>	<b>PA 6</b>	DSM
1618/05	P2300414	<b>Collier 9 x 185</b>	<b>PA 6</b>	Dinalon/DSM
1626/05	P2300514	<b>Collier 9 x 265</b>	<b>PA 6</b>	Dinalon/DSM
1635/05	P2300614	<b>Collier 9 x 355</b>	<b>PA 6</b>	Dinalon/DSM

Tableau 18 : Correspondance des colliers et leurs matières premières et fournisseurs  
(Source : Nomenclature INGELEC)

Jusqu'à aujourd'hui les essais sur de nouvelles matières sont fréquents afin de trouver le meilleur rapport qualité prix mais en vain.

2 matières et 4 fournisseurs ont remplacé le PA66 de RADICCI ce qui a accentué le nombre de non-conformités et la non-stabilité du processus d'injection.

#### 4.5. Axes d'amélioration :

Comme nous avons vu auparavant la main d'œuvre a un rôle très important dans l'amélioration de la qualité des colliers. Des activités doivent être préparées avant le lancement de projet. On doit tout d'abord :

- Récolter toutes les informations nécessaires pour le projet.
- Favoriser la communication et le feed-back entre les différents services.
- Concevoir un moule dans le remplissage et relativement facile
- Prévoir l'emballage du produit aux pieds des machines lors de la conception du moule
- Prévoir l'entretien facile des moules.
- Prévoir l'utilisation des machines existantes ou des machines standards.
- Prévoir la formation de tous les intervenants dans le processus de fabrication.
- Concevoir l'emballage adéquat (étanche afin d'épargner l'influence de

l'humidité et la température sur la qualité des colliers).

- Concevoir des plans de contrôle qualité de réception de la matière première en vérifiant l'aisance de transformation en cours de moulage au même degré que les des essais normatifs.

**CHAPITRE IV:  
CARACTERISATION  
DES PRODUITS FABRIQUES**

## I. PROCEDURES ET ESSAIS EXPERIMENTAUX

### 1. Objectif des essais

Sur un moule équilibré menu d'un système à canaux chauds. L'objectif est de faire des essais puis établir une comparaison entre cinq types de matières PA6 ; PA66 et trois formulations PA/PP et savoir les limitations de chacune sur le collier 9x355. Le choix de ce dernier n'est pas arbitraire mais parce qu'il est :

- Le plus exigeant à l'essai de traction 53 daN (on l'appelle aussi essai de la boucle ou l'essai d'arrachement)
- Dispose de la plus grande longueur d'écoulement 355 mm.

### 2. Principaux essais de sanction

#### 2.1. Mode opératoire des essais

##### 2.1.1. Impact de l'humidité

Comme l'impact de l'humidité est remarquable sur les polyamides. Les essais sur des colliers vont obéir à cette notion. Le cycle des essais commence par faire subir les pièces progressivement des taux d'humidité progressives dans un bain d'eau chauffée à 90°C à des périodes différentes allant de 2 à 20 minutes. Les pièces sont récupérées par la suite pour les refroidir à 20°C. [9] et [10] (Figure 51)

Après cette épreuve de prise d'humidité, les colliers vont être testés par la machine de traction afin de voir l'impact réel sur les 3 types de matières PA6 ; PA66 et PA66/PP.



Figure 51: Enceinte remplie d'eau chauffée à 90°C (Source : Laboratoire INGELEC)

##### 2.1.2. Essai au choc



Comme les polyamides sont rigides. La norme internationale a prévu des essais de choc sur les colliers pour qu'ils fonctionnent sans dysfonctionnement dû à la casse par choc.

Un appareil est conçu suivant les directives de la norme permet de tester les colliers à cette épreuve. [9] et [10]

### **2.1.3. Essai de la flamme**

Cet essai permet de vérifier le comportement des colliers dans le cas d'un incendie. L'essai consiste à appliquer une flamme dont la longueur est préalablement réglée à 10mm. Le temps d'application est de 20 s. Le résultat est considéré concluant lorsque le collier ne se rompt pas suite à cette épreuve. [9] et [10] (Figure 52)



Figure 52 : Application de la flamme à un échantillon de collier de serrage (Source : Laboratoire qualité INGELEC)

## **3. Essais sur cinq matériaux proposés.**

### **3.1. Préparation des matériaux à injecter**

#### **3.1.1. L'agent de couplage**

L'anhydride maléique est l'élément essentiel dans le mélange .C'est un produit chimique carboxylique très réactif. Il joue le rôle d'un de couplage entre le polypropylène et le polyamide. Il est caractérisé par sa faible viscosité et par conséquent un bon mélangeage entre le PP. Le produit obtenu est du PP fonctionnalisé prêt à être injecté avec un autre produit tel que par exemple le polyamide 66.(Figures 53 et 54)

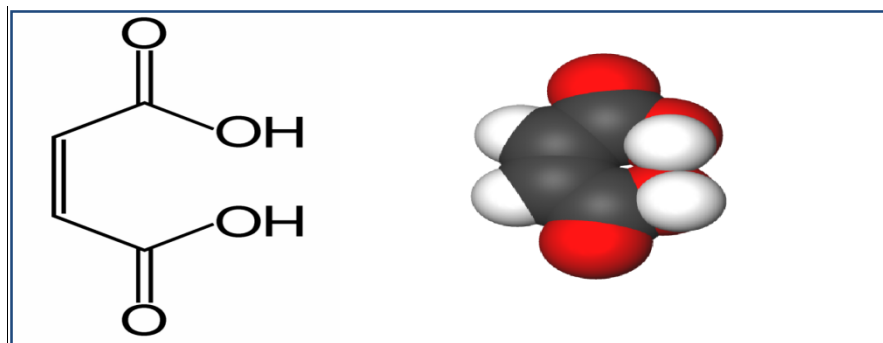


Figure 53: Symbole chimique d'une molécule de l'anhydride maléique [32]



Figure 54 : Echantillon de l'anhydride maléique utilisé dans les essais  
(Source : INGELEC)

Les caractéristiques de l'anhydride maléique sont :

<b>Appearance</b>	yellowish
<b>Form supplied</b>	granules and fine grain
<b>Softening Point</b>	approx. 156 °C
<b>Acid value</b>	approx. 41 mg KOH/g
<b>Density</b>	approx. 0.91 g/cm <sup>3</sup>
<b>Viscosity at 170 °C</b>	approx. 800 mPas

Caractéristiques de l'anhydride maléique utilisé [2]

Afin d'assurer le maximum de rendement de l'anhydride maléique le taux choisi est de 2,5% par rapport au mélange PA/PP (Voir Figure 55)

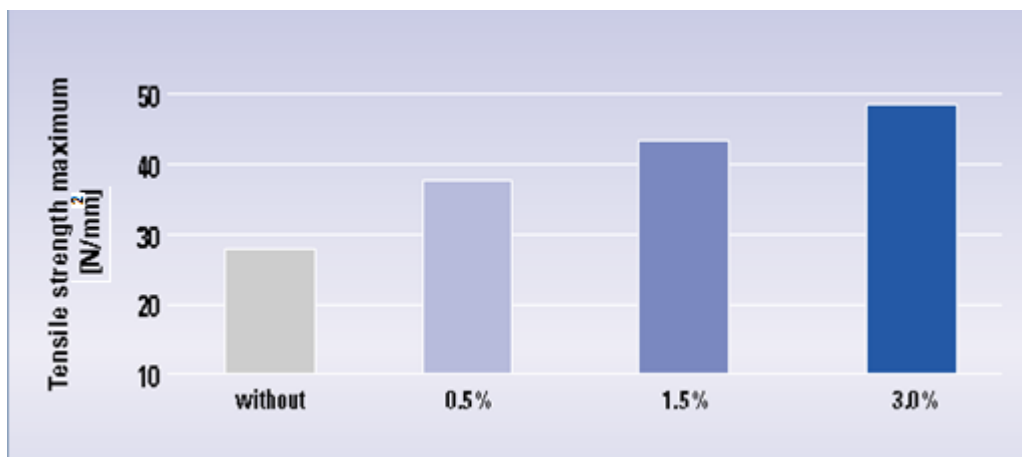


Figure 55 : L'amélioration de la force de traction en fonction du taux utilisé de L'A.M. dans un mélange [23]

### 3.1.2. Préparation des mélanges

Afin d'obtenir la bonne composition des trois éléments PA ; PP et le PP fonctionnalisé. Trois formulations ont été préparées. (Tableau 19)

Formulations	PA66	PP	PP mg (PP+AM)
F1	70%	25%	5%
F2	80%	15%	5%
F3	90%	5%	5%

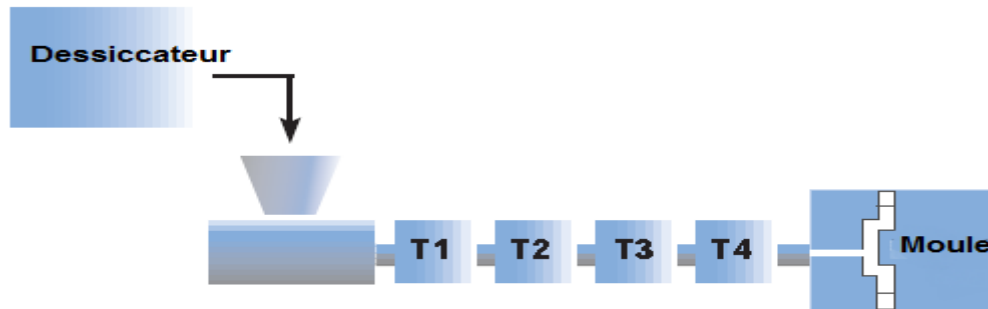
Tableau 19 : Formulations préparées

### 3.1.3. Paramètres de la mise en œuvre

Paramètres	PA6	PA66	F1	F2	F3
Vitesse d'injection	180	200	200	200	250
Pression d'injection (bar)	64	64	66	73	80
Pression de maintien(s)	20	20	20	20	20
Temps de maintien(s)	1	1	1	1	1
Temps de refroidissement(s)	15	15	15	15	15
Vitesse de dosage	60%	60%	60%	60%	60%
Contre pression (bar)	16	16	30	30	30
Point de commutation	12	12,3	11,5	11,5	11,5

Tableau 20 : Paramètres de réglage pour chaque matériau utilisés dans l'expérience

En ce qui concerne les températures elles sont résumées dans le tableau ci-dessous : (Tableau 21)



Mat.	Dessiccateur (°C / 4 heures)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	T4 (°C)	Moule (°C)
PA6	80	230	240	250	275	80-90
PA66		250	270	290	285	
F1		250	265	280	285	
F2		250	265	280	285	
F3		250	265	280	285	

Tableau 21 : Les températures utilisées au dessiccateur; au machine et au moule

### 3.2. Résultats des essais de l'impact de l'humidité sur la force d'arrachement.

#### 3.2.1. Procédure des essais

La force d'arrachement est considérée comme l'élément clé pour la détermination de la conformité des colliers. Une série d'essais a été effectuée à plusieurs taux d'humidité afin de visualiser et mesurer l'impact de l'humidité sur les 5 matériaux à l'étude. Pour cela les colliers issus des différents matériaux sont immergés dans un bain d'eau gardé à une température constante de 90°C. Des prélèvements sont effectués à des durées espacées de 5 minutes (5 ; 10..... 30, minutes). Les colliers sont ensuite testés sur une machine de traction réglée à 25mm/min (vitesse normalisée pour les colliers). [9] et [10] (Figure 56).

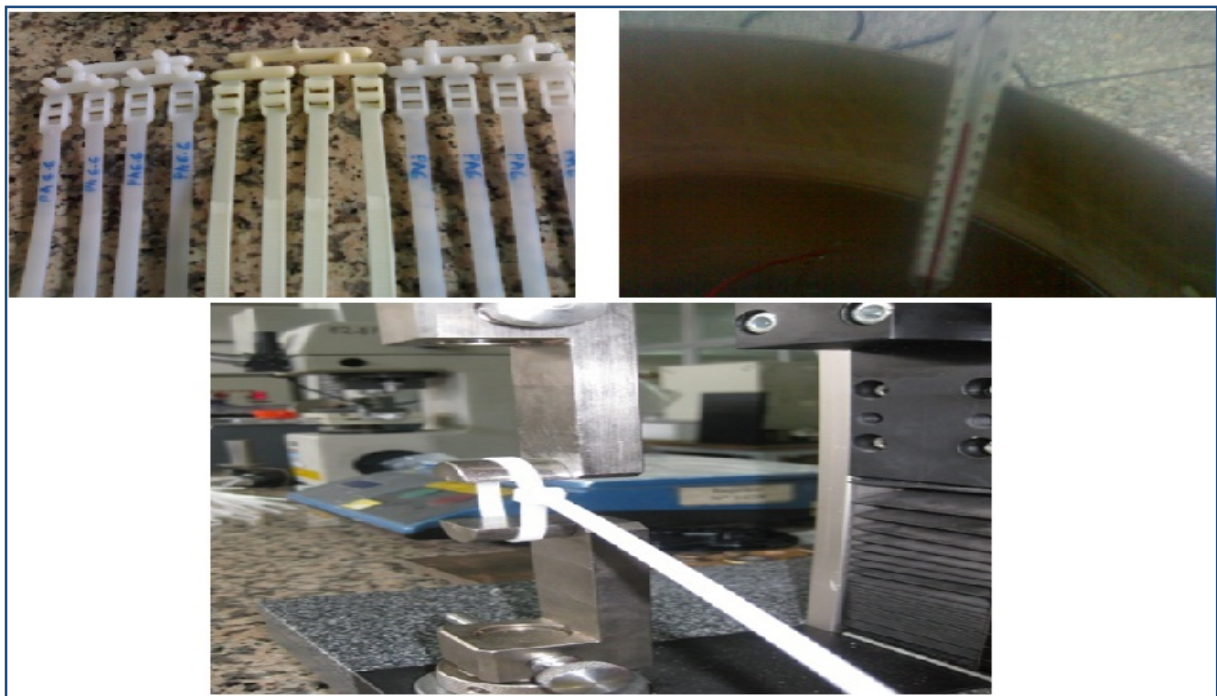


Figure 56: Les étapes de préparation des échantillons de 3 matières PA6 ; PA66 et PA66/PP pour la prise d'humidité puis l'essai de traction

### 3.2.2. Relevés des essais et courbes représentatives

Chaque valeur est la moyenne de 4 colliers testés. Les résultats obtenus sont enregistrés sur le tableau ci-dessous: (Tableau 22) (Figure 27)

Durée d'immersion (min)	Norme	F1	F2	F3	PA66	PA6
5	53	61,19	89,77	91	104	94,1
10	53	55,2	83,47	92,5	95	85,6
15	53	58,8	87,4	87,1	83,8	84
20	53	56,3	79,7	91,8	75,9	78
25	53	60,35	80,75	84,5	77,85	45,45
30	53		87,6	82		35,3

Tableau 22 : Relevé des essais de traction pour les différents matériaux à différentes durées d'immersion dans l'eau.

Le tableau 22 est converti sous forme de courbes (Voir figure 57)

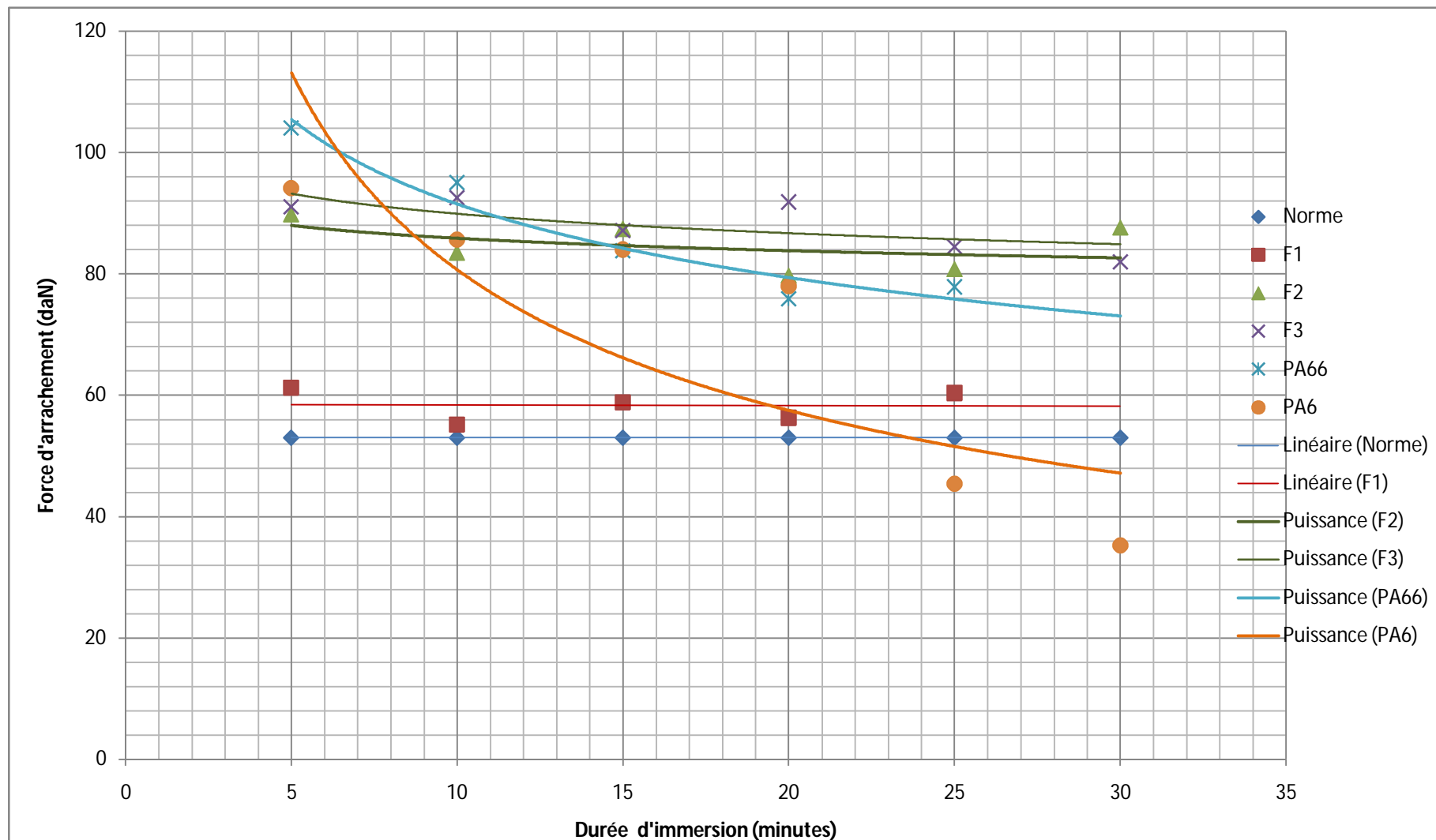


Figure 57 : Courbe de comparaison entre les 3 matériaux avec les mêmes conditions d'humidité.

Source : Essais au laboratoire INGELEC

CHAPITRE V :  
RESULTATS ET DISCUSSION

## I. INTERPRETATION DES RESULTATS

Après ces essais nous avons noté que les cinq matériaux se comportent différemment vis-à-vis de l'humidité.

Pour le polyamide PA6, on note qu'à partir de 20 minutes la force d'arrachement devient au dessous du seuil de la norme 53 daN. Cela est confirmé par son taux d'humidité qui peut atteindre 10% « voir fiche technique DSM A250-D en annexe »

Le polyamide PA66 se comporte d'une façon meilleure en comparaison avec le PA6 mais on remarque qu'il y a une forte chute à cause de sa dépendance du taux d'humidité dont il est exposé. « Voir fiche technique Technyl A205F en annexe »

Les trois formulations du mélange PA66/PP se comporte d'une façon plus stable vis-à-vis de l'humidité. Cela constitue une propriété intéressante et recherchée pour les colliers. Plus le pourcentage du PA66 augmente plus la force d'arrachement augmente. La figure ci-dessous détermine le taux de chute de la force d'arrachement des colliers par rapport aux taux d'humidité dont ils sont exposés.

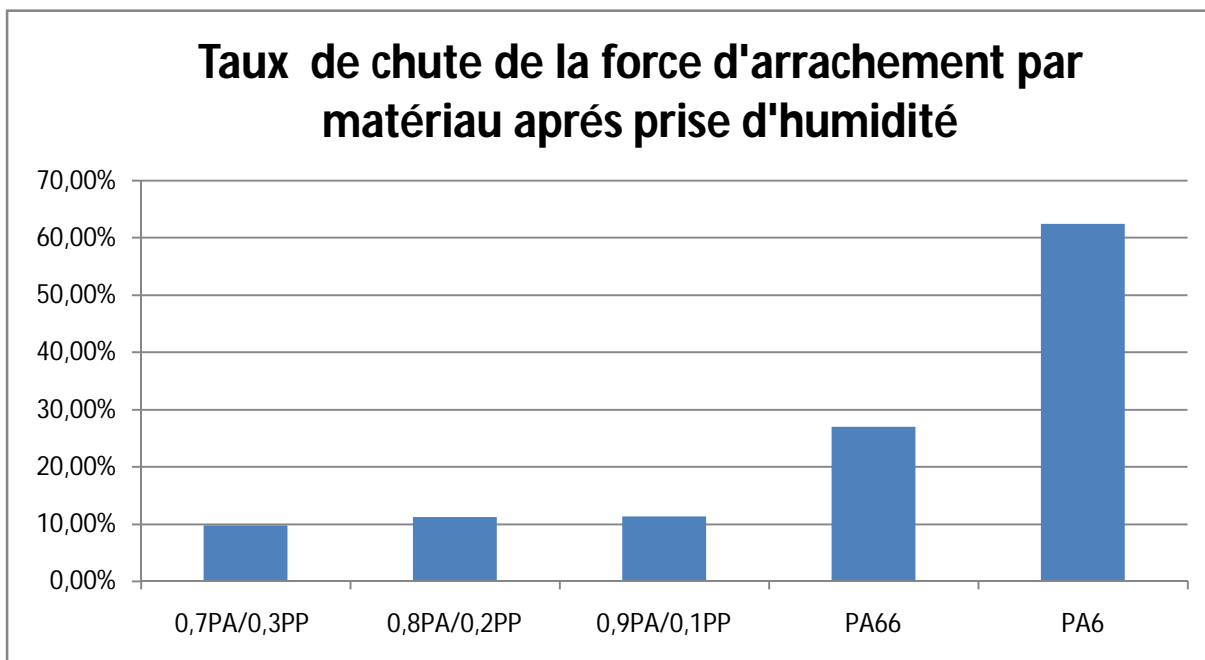


Figure 58 : Histogrammes montrant le comportement de chaque matériau par rapport aux temps d'immersion

En comparant les cinq matériaux on remarque que la formulation "F2"



présente des avantages économiques au delà de sa haute force d'arrachement.(Tableau 23)

Critères	F 1	F2	F3	PA66	PA6
Coefficient de sécurité de la valeur minimale de la force par rapport à la norme	1,04	1,5	1,54	1,43	0,66
Moyenne total de la force d'arrachement (daN)	58,37	84,78	88,15	87,31	70,41
Taux de chute de la force à cause de l'humidité (%)	9,79%	11,22%	11,35%	27,02%	62,49%
Densité	1.01	1,05	1,09	1,14	1,13

Tableau 23: comparaison des 5 matériaux en compétition

## II. SYNTHÈSE APRES LES ESSAIS

Rappelons que la formulation **F2** est constituée de 80% de polyamide 66 qui est une matière technique ; 17,5% du polypropylène qui est une matière de grande diffusion et 2,5% de l'anhydride maléique.

### Moulabilité

Lors de la mise en œuvre des 3 matériaux à base du mélange PA/PP. Nous avons noté que le matériau en PA/PP présente :

- une facilité de moulage : cela se traduit par la réduction des valeurs des paramètres d'injection (vitesse et pression d'injection)
- Réduction de la densité de la matière (réduction du poids des colliers)
- Pas d'accrochage de colliers dans le moule.
- Absence de bavures dans les colliers (Figure 59)

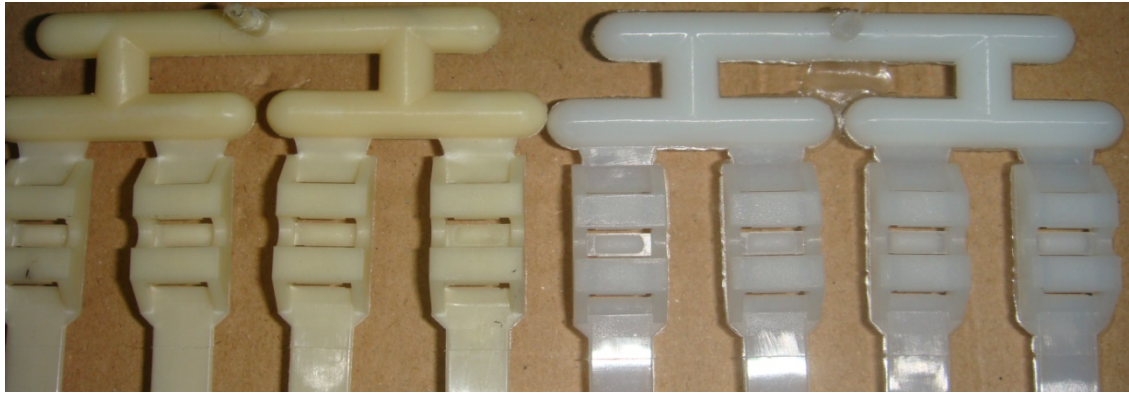


Figure 59: Comparaison entre 2 moulées à gauche PA/PP et à droite en PA66

En contre partie une augmentation de la contre pression est nécessaire pour favoriser un mélange plus homogène du matériau PA/PP.

### **Essai de la flamme**

Pour l'essai de la flamme les formulations à bases du mélange PA/PP se comportent favorablement comme le montre la figure ci-dessous : (Figure 60)

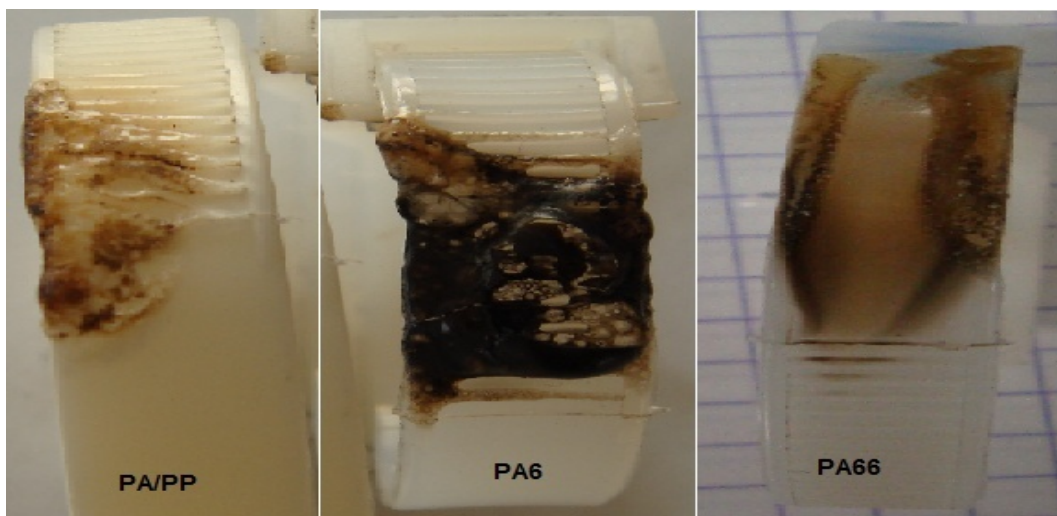


Figure 60: Comportement des 3 matières à l'essai de la flamme

### **Essai au choc**

Cette épreuve a pour rôle de déterminer si les colliers puissent résister aux chocs pendant leurs fonctions. Le mélange PA/PP se comporte bien en faveur de l'essai au choc puisque le polypropylène en forme de nodules constitue un amortisseur de choc dans un milieu rigide. En plus l'humidité ne peut qu'améliorer le degré de résilience des colliers. L'accouplage physique de la phase dispersée (PP) dans le milieu continu (PA66) confère aux produits obtenus une résistance au choc meilleure à celui du PA66 pur. Une image approximative de la cohésion des nodules

de PP dans une matrice du PA est donnée par la figure ci-dessous :

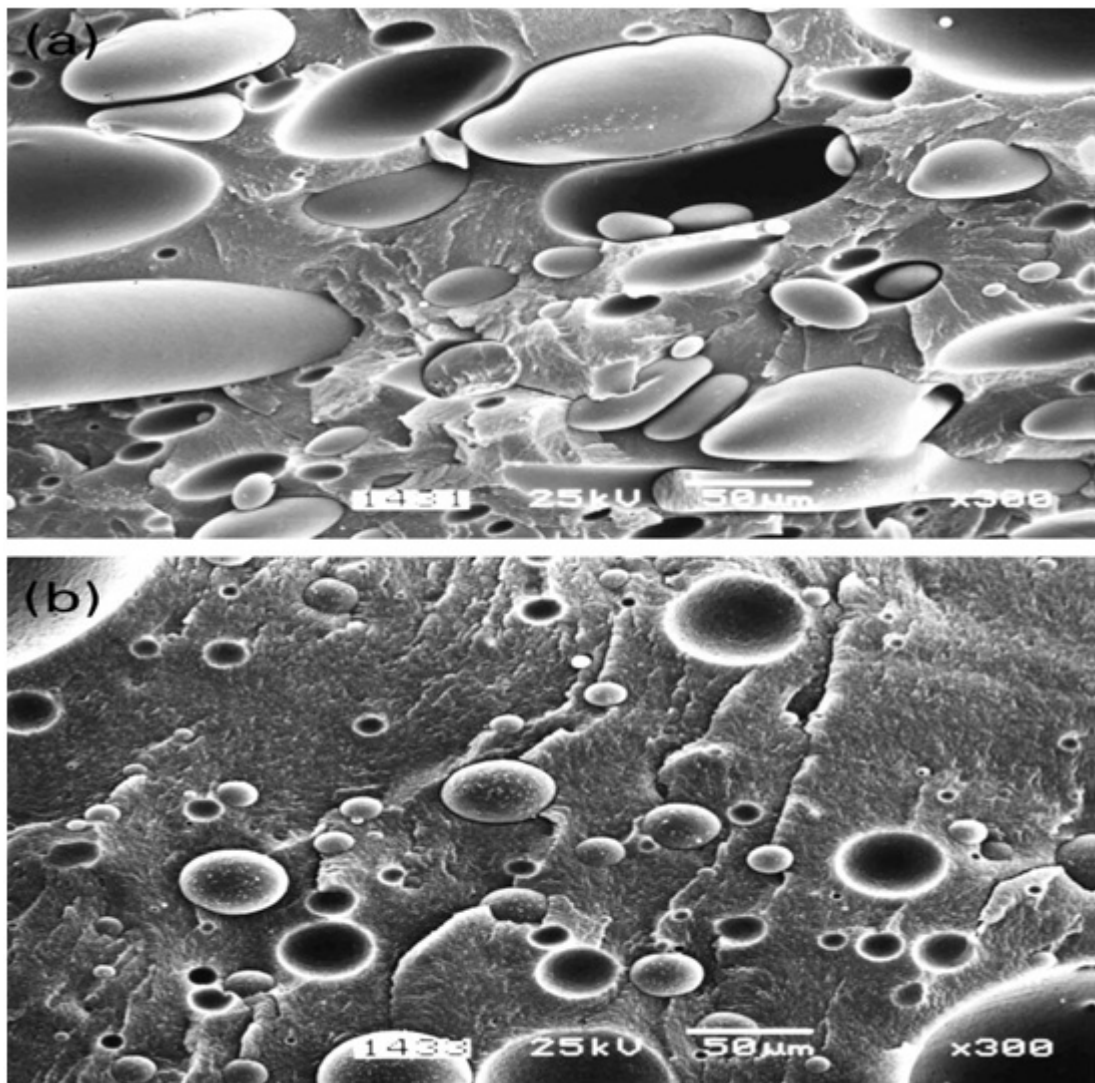


Figure 61: SEM micrographs of PA/PP blends: (a) unmodified 70/30 blends; (b) Modified blends PA/PP/PA-TMA10-C8 glycidyl ether (1/1/1). [21]

On remarque qu'on a réussi à développer un matériau qui rivalise le polyamide PA12 dans ses caractéristiques mais avec des matériaux plus connus dans l'entreprise. Le PP est un matériau de grande diffusion. Les colliers similaires sont fabriqués dans l'industrie en PA12.

A INGELEC les colliers étudiés sont fabriqués en PA6. Notre étude a montré, que ce dernier n'est pas convenable du fait qu'il perde sa résistance à la traction plus rapidement avec un taux de 62%. Autrement dit sa durée de vie est courte et en plus elle peut être consommée dans le magasin de stockage ou chez les grossistes.

Nous notons aussi que l'emballage n'est pas adéquat avec la nature des

polyamides et sa dépendance de l'humidité. (Voir figure 62)



Figure 62: Emballage non adéquat avec la nature de la matière des colliers [31]

**CHAPITRE VI:  
ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE**

L'entreprise INGELEC a tracé de grandes lignes à l'horizon pour faire face à la concurrence acharnée des producteurs d'appareillages électriques. Des formations sur le contrôle de gestion ; la budgétisation des services ainsi que le développement de l'esprit des investissements rentables, sont actuellement lancées afin sensibiliser l'ensemble à :

- Réduire les pertes.
- Améliorer l'existant
- Augmenter la productivité
- Aller de l'efficacité à l'efficience.

## 1. Etude comparative

### 2.1. Prix de la matière et poids des colliers 9x355 :

Tout d'abord notons le prix de chaque matière :

PA6----- 28.8 DH/kg (2,4 euro/kg)

PA66----- 35.28 DH/kg (2,94 euro/kg)

ORGALLOY----- 65 DH/kg (5,4 euro/kg)

PA12----- 72 DH/kg (6 euro/kg)

Et la formulation développée:

F2 (0,7PA66 +0,175PP+0,025AM): 30,27DH/kg soit :2,52 euro/kg

Le tableau des poids des colliers de serrage 9x355 par matériau utilisé :

- **Nouveau moule** (Tableau 24)

Matériaux	Poids net(g)	Poids brut(g)
PA6	6,04	8,40
PA66	6,1	8,48
F2	5,6	7,81
ORGALLOY	5,56	7,73
PA12	5,4	7,51

Tableau 24 : Poids des colliers de serrage en fonction des matériaux utilisés pour le nouveau moule

- Ancien moule (Tableau 25)

Matériaux	Poids net(g)	Poids brut(g)
PA6	5,54	5,95
PA66	5,6	6,00
F2	5,15	5,57
ORGALLOY	5,11	5,47
PA12	4,96	5,31

Tableau 25 : Poids des colliers de serrage en fonction des matériaux utilisés pour l'ancien moule

En réalité les colliers de serrage de type 9xL sont fabriqués en PA12 et non par le polyamide 6. (Voir figure 63 et 64 en annexe)

Le vrai gain donc est cette création d'une formulation qui(0,8PA+0,175PP+0,025AM) qui rivalise le PA12.

Le coût de la matière du collier en PA12 (densité 1,01 selon la fiche technique de Rilsan « Voir annexe sur la matière première ») est mentionné dans le tableau 26 :

Matériaux	Poids net(g)	Poids brut(g)	Prix (DH/Kg)	densité	Prix /pièce " broyage intégré"	Prix /pièce "broyage non intégré"
PA6	6,04	8,4	28,8	1,13	0,17	0,24
PA66	6,1	8,48	35,28	1,14	0,22	0,30
F2	5,6	7,81	30,27	1,05	0,17	0,24
Orgalloy	5,56	7,73	69	1,04	0,38	0,53
PA12	5,4	5,51	72	1,01	0,39	0,40

Tableau 26 : Comparaison des matériaux en (prix /poids) pour les colliers de serrage.

Dans le tableau ci-dessus, j'ai regroupé toutes les possibilités et les cas de figures, avec l'utilisation de la matière première dans le nouveau moule équilibré.

La comparaison donc se limite entre les 2 matériaux F2 et PA12, le gain est donc de :  $0,39 - 0,17 = 0,22$  DH / pièce. Soit un taux de gain de : **129,4%**

La non utilisation des broyés dans l'ensemble de la production des colliers de serrage permet de créer un stock dormant de broyé estimé à : **17,06 tonnes** soit l'équivalent de : **558 454 DH (46 538 euro)**

## 2.2. Productivité :

La méthode améliorée utilisée pour la fabrication des colliers est donnée par la figure 65 :

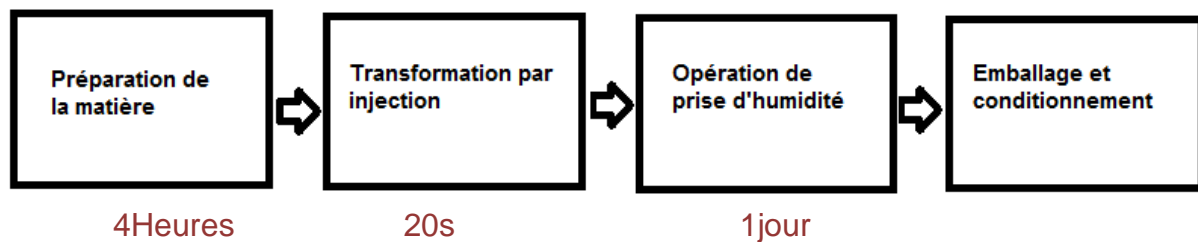


Figure 65 : Processus amélioré de fabrication des colliers de serrage

La méthode existante actuellement pour la fabrication des colliers est donnée par la figure 66



Figure 66 : Processus actuel de fabrication des colliers de serrage

On remarque une nette différence entre les deux processus de fabrication, La prise d'humidité est un handicap que la méthode améliorée a développé mais cela nécessite un système de prise d'humidité en ligne afin de gagner le temps au niveau des mouvements et dans la manutention des produits.

## 2.3. Qualité de la production

Suite à l'apparition des non-conformités détectées au cours de la production ou évoquées par des réclamations clients, un groupe de travail a été formé afin de trouver les causes et par la suite les solutions adéquates. Les pertes dans toutes les étapes des fabrications ont été estimées à 20%.

Le travail en ligne y compris les propositions d'amélioration dans les moules ; matière première...etc., permet de cerner les produit non-conformes en le détectant juste après son injection.



L'ancienne méthode ne permet de détecter le problème qu'après une heure ou dans le cas échéant jusqu'au poste de tri créée à ce propos.

Le volet qualité était l'étincelle qui a déclenché la remise en cause de la production des colliers de serrage, une perte annuelle d'au moins **24 tonnes** de PA6 et de PA66, soit une somme de : **115 273,60 DH. (9606 Euro)**

## 2. Synthèse

Ce projet a mis en évidence qu'il y a un manque à gagner. Pour cela nous devons :

- Réduire le taux de non-conforme
- Augmenter la productivité (cycle de production)
- Consommer le broyé d'une façon automatique
- Faciliter le réglage

Mais cela ne peut être atteint sans :

- L'équilibrage des moules
- L'utilisation du mélange PA/PP
- L'instauration de la production en chaîne (injection → prise d'humidité → emballage).

## CONCLUSION

Les colliers de serrage sont utilisés dans plusieurs domaines industriels. Ils existent sous plusieurs formes avec différents matériaux. Ils permettent d'assurer la fonction de fixation et d'assemblage des éléments tels que les câbles. Ce sont des produits de grande consommation. Cette étude a pour objectif de résoudre le problème de qualité et de productivité des colliers de serrage et en même temps d'élargir les horizons de choix des matériaux pour tous nos produits. Le climat concurrentiel que connaît le secteur d'appareillage électrique sur le plan national et international nous oblige à mieux faire avec le coût minimum.

Nous avons mené, des analyses approfondies des causes des problèmes de qualité sur nos colliers. Le choix de la solution n'était pas facile vu la complexité du problème et le nombre d'acteurs concernés par ce problème, à savoir les services: R&D, Méthodes et industrialisations, Production, Contrôle qualité, Achats, commercial...etc. La recherche de la solution est basée sur les cinq axes d'amélioration : moyen ; milieu ; méthode ; matière et main d'œuvre.

La réalisation d'un moule prototype équilibré en remplissage était essentiel pour déterminer l'efficacité de la matière première testée. Plusieurs matériaux étaient en compétition. Des critères de sélection ont été utilisés pour déterminer la meilleure formulation adéquate en terme de rapport : qualité/prix.

Des essais ont été pratiqués sur les matériaux pour évaluer leurs aptitudes au moulage sur de longueurs importantes, suivi par des essais de caractérisation au laboratoire sur des pièces fabriquées. Nous avons développé une formulation à partir du mélange PA66/PP.

Sur le plan personnel, ce projet m'a permis de développer de nouvelles compétences et d'acquérir la capacité d'expertise, et ce, grâce à ma formation reçue au CNAM.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

[1] Nomenclature, classification et formules chimiques des polymères

[A 3 035]

Techniques de l'Ingénieur

Cécile-Anne NAUDIN, Edition 1995

[2] Les polyamides

PRECIS MATIERES PLASTQUES structure - Propriétés, Mise en œuvre, Normalisation

Par J.-P. Trotignon, J.Verdu, A.Dobraczynski et M.Piperaud

Editions Nathan, 75014 Paris, 1996 pour la première édition

ISBN Nathan: 2.09176572-4

[3] STRUCTURE MOLÉCULAIRE ET MORPHOLOGIE DES POLYMÈRES

[A 3 042]

Techniques de l'ingénieur

Michel FONTANILLE & Yves GNANOU, Edition 1994

[4] LES POLYAMIDES

[A3360]

Techniques de l'ingénieur

Bernard GUÉRIN, Edition 1994

[5] Nylon 66 Polymer for Industrial, Textile, and Furnishing Applications

Product Properties and Applications Guide

DUPONT, 12/1996 printed in USA

[6] Polyamides As Engineering Thermoplastic Materials

I.B Page, Volume 11 number 1, 2000 RAPRA REVIEW REPORTS

ISSN: 0889-3144

[7] PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX UTILISÉS POUR COLLIERS DE CABLE

Fiche technique de Württembergische Allplastik GmbH,

[8] LES DIX ASPECTS ESSENTIELS DE LA CONCEPTION

Par Jürgen Hasenauer, Dieter Küper, Jost E. Laumeyer et Anne-Line Citerne

DUPONT Copyright © 2009

[9] La norme européenne NF EN 62275 : Colliers pour installations électriques ;

Novembre 2009 indice de classement : C 68-146.

[10] La norme européenne NF EN 50146 ; Colliers pour installations électriques Juin

2000 indice de classement : C 68-146.

[11] Matériaux polymères propriétés mécaniques et physiques : Principes et mise en œuvre  
Hans-Henning Kausch; Christopher John Plummer; Nicole Heymans; Pierre Decroly  
ISBN: 2-88074-415-6 ©2001, Presses polytechniques et universitaires romandes  
CH-1015 Lausanne; Introduction.

[12] Membrane composite polymère fluore/polyelectrolyte pour pile à combustible :  
structure- propriétés  
Thèse de doctorat de l'université PARIS VI  
Cécile Gibon ,2006.

[13] Matériaux polymères structures: Mélange alliage, copolymères à bloc par Michel  
Cloitre  
Du Laboratoire Matière Molle et Chimie- UMR61

[14]Catalogue d'ARKEMA pour la gamme "ORGALLOY"  
DIREP - 3218/FED/09.2000/20 - dpt – ATOFINA

[15] Injection des thermoplastiques : Les moules  
[A3680]  
Techniques de l'ingénieur  
Michel CHATAIN & Alexandre DOBRACZYNSKI, Edition 1995

[16] Hot Runners in Injection Moulds  
Daniel Frenkler and Henryk Zawistoski edited by PARA TECHNOLOGY LIMITED,  
2001  
ISBN: 1-85957-208-1

[17] The Mould Design Guide  
Peter Jones edited by: Smithers Rapra Technology Limited in 2008. Soft-backed  
ISBN: 978-1-84735-088-6 and Hard-backed ISBN: 978-1-84735-087-9

[18] "The top ten moulding Problems"  
By E.A. Poppe,Carle Leiding,Karl Schirmer,R.Wilkinson  
Dupont, Copyright © 2008 DuPont

[19] Hot runner Technology  
Catalogue HASCO-2010

[20] Alimentation des moules : Les buses de presses  
MEMOTECH MATIERES PLASTIQUES ; Matériaux, Outillage de mise en forme.  
Claude CORBET  
Edition CASTEILLA – année 2001  
ISBN 2.7135-2288-9

[21] "Crystallization in modified blends of polyamide and polypropylene"  
by J.Pigłowski ,I.Gancarz,M.Wlzlak,H.-W.Kammer from institute of Organic and  
Polymer Technology, Wrocław University of Technology, Wybrzez'e Wyspian'skiego

27, 50-370 Wrocław, Poland School of Chemical Sciences, University Sains  
Malaysia, 11 800 Penang, Malaysia  
Received 16 September 1999; accepted 7 December 1999 published at  
[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

[22] Licomont AR 504  
By Division Pigments & Additives  
From CLARIANT GmbH ,2006

[23] « Solutions étanches électricien du bâtiment »:  
Catalogue SAREL par Schneider Electric  
Edition 2009-2010

## **SITES WEB :**

[24] <http://www.collierserrage.net/> Consulté le 9/09/10

[25] <http://www.takween.com/> consulté le 5/10/10

[26] <http://www.scribd.com/doc/36462531/Caracteristiques-materiaux> Consulté le 10/10/10

[27] <http://www.gi-plastics.nl> Consulté le 15/10/10

[28] <http://www.espci.fr/usr/creton/Fr/PP-PA6.html> Consulté le 17/10/10

[29] [www.directindustry.fr](http://www.directindustry.fr) Consulté le 30/11/10

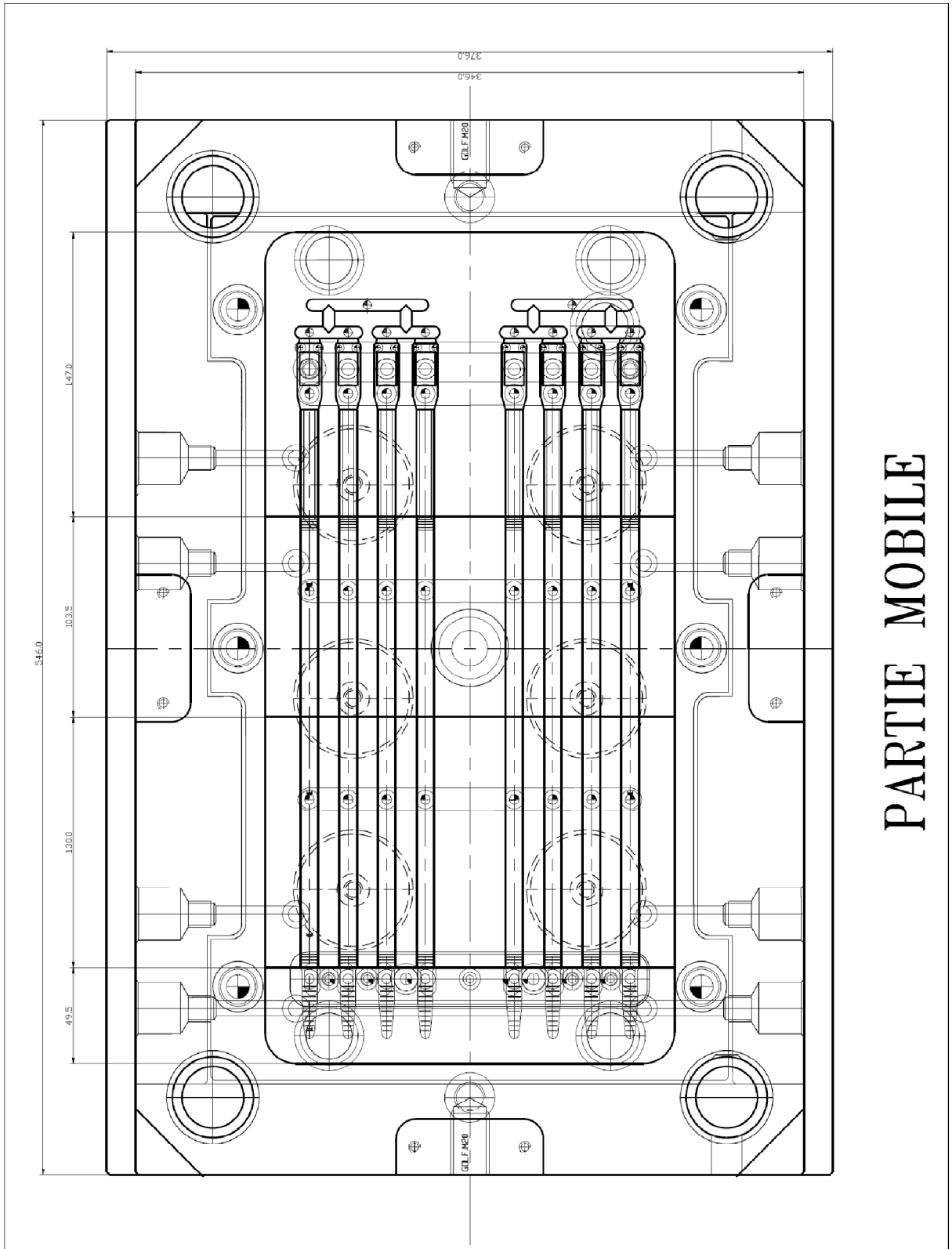
[30] Source : [www.bmsfrance.eu](http://www.bmsfrance.eu) Consulté le 11/10/10

[31] [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com) Consulté le 13/11/10

[32] [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com) Consulté le 14/10/10

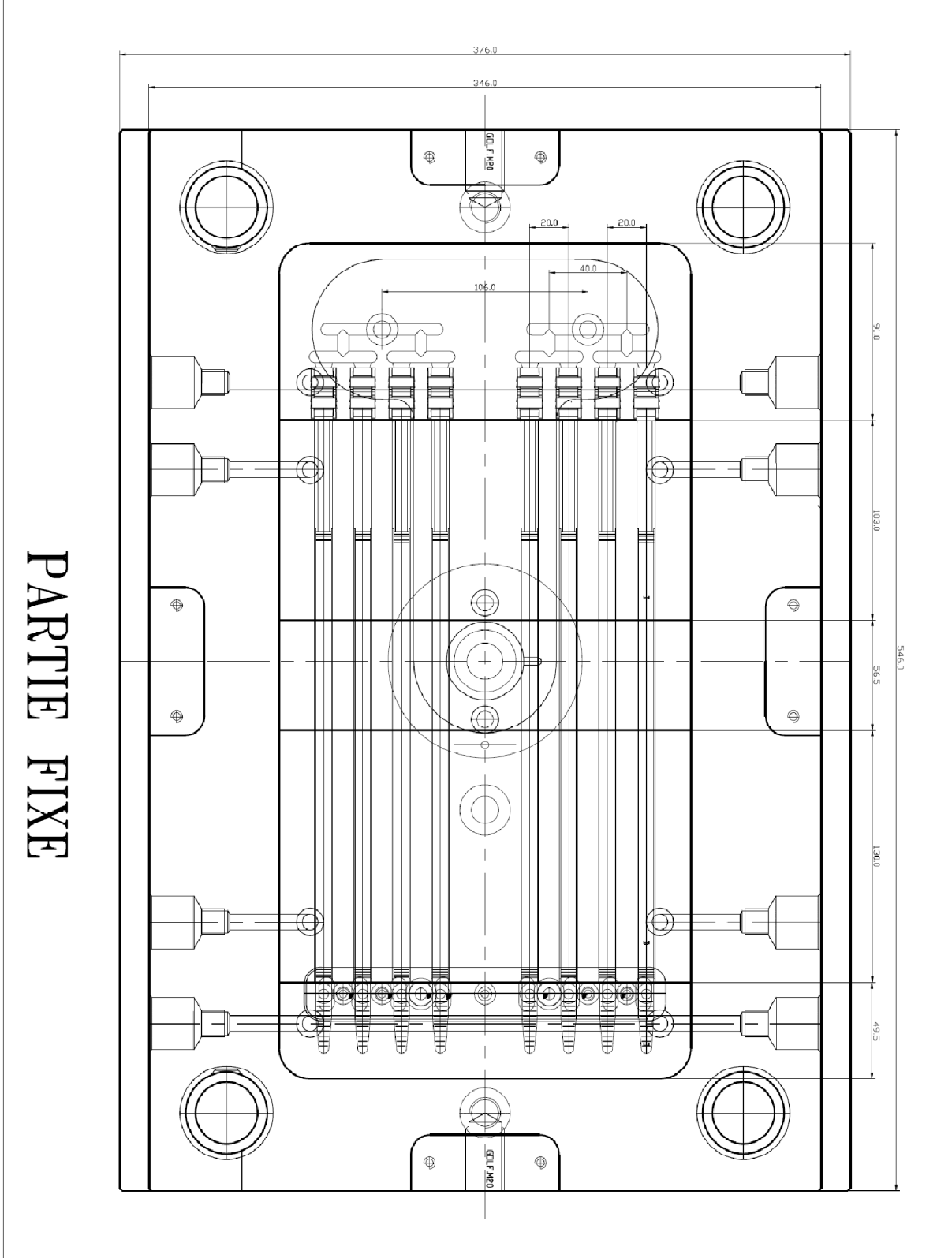
## **ANNEXES**

# Annexe 1

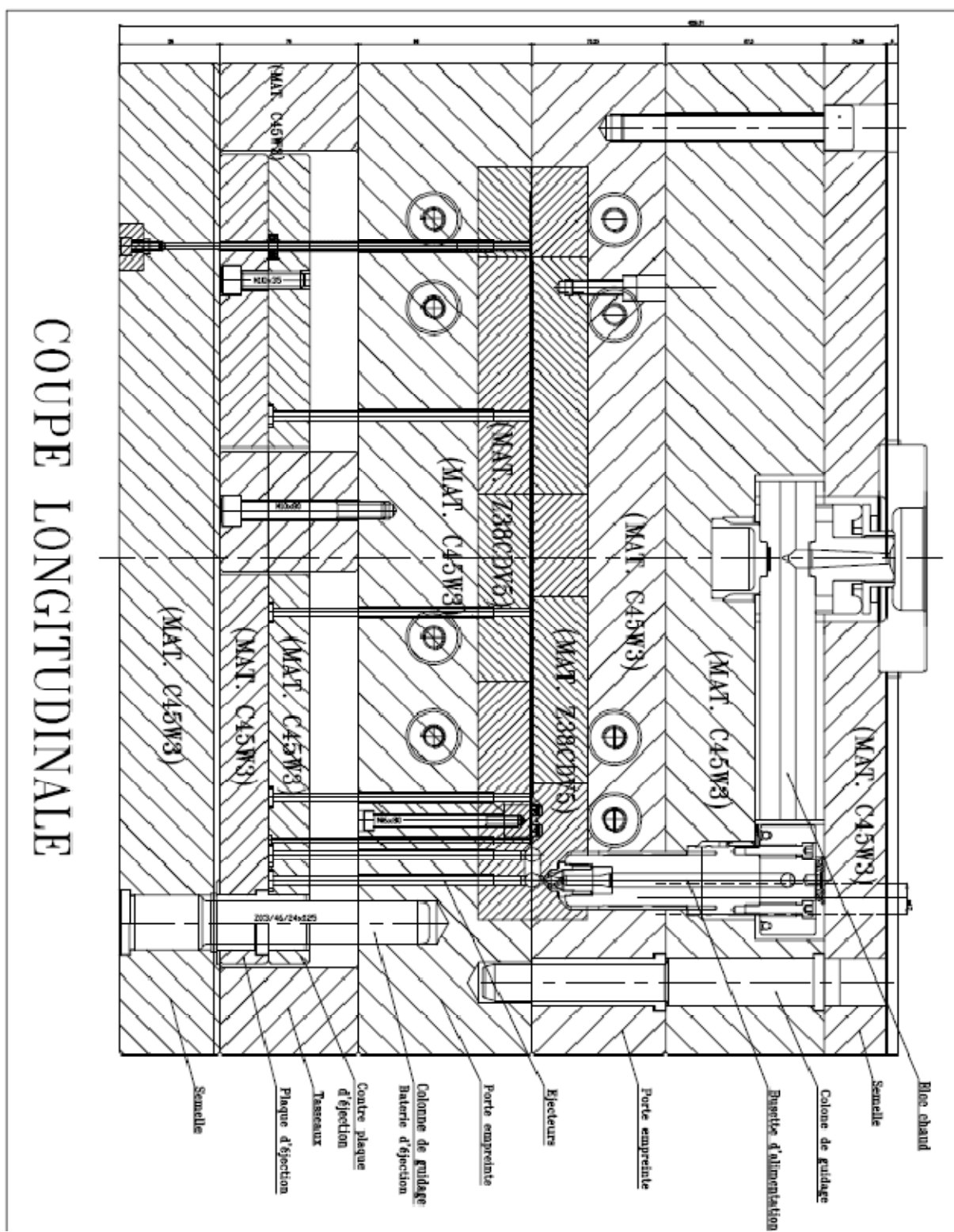




Annexe 2



### Annexe 3



# Annexe 4

HASCO®

Z103T/...

**Standard Shot**

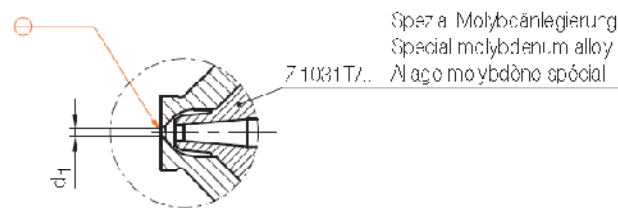
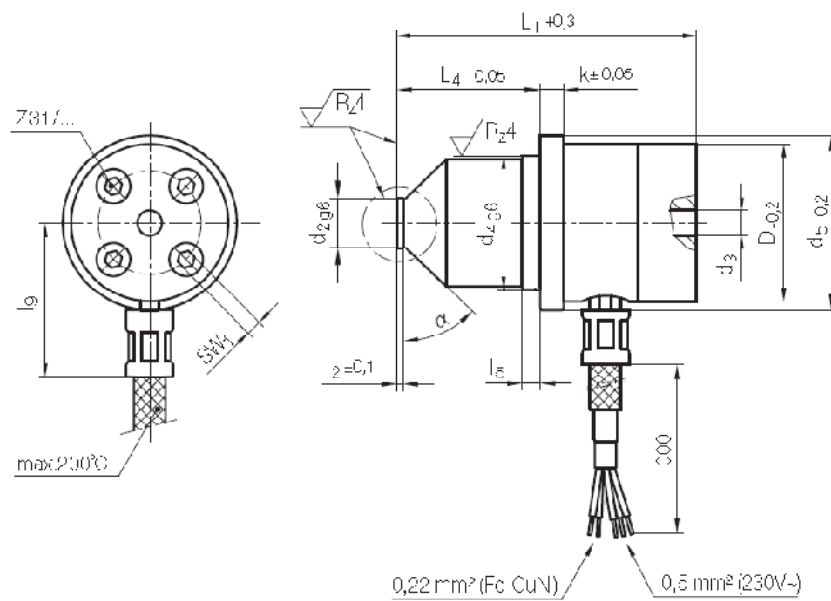
Heißkanaldüse  
Hot runner nozzle  
Buse à canal chaud

230 V ~

⚡ = Fe-CuNi, Type J

max °C = 280


CE



SW	$\alpha$	Watt	k	d <sub>6</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>3</sub>	e <sub>2</sub>	l <sub>6</sub>	z	l <sub>6</sub>	L <sub>4</sub>	Typ	D	L <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	Nr./No.	EDV-Nr.
2,5	51°	315	4	38	25	3,5	10	40	2,5	4	32	32...	32	61	1,5	Z103T/32x 61/1.5	19836
4	50°	400	5	44	23	5	12	41			41	38...	38	75	2	38x 75/2	273970
E			6	52	35	6	14	49	3		50	45...	45	88	3	45x 88/3	273938
F			8	62	42	7	16	51	3,5	5	37	56...	56	81	1,5	56x 81/1.5	273936
															2,5	56x 81/2.5	274003
											63			112	3,5	56x112/3.5	274011

## Annexe 5


### Colliers PA12 Rilsan®



Colliers (par boîte de 100)

référence	désignation EDF	largeur (mm)	longueur (mm)	Ø de serrage (mm)		résistance kg
				max.	min.	
47922	-	9	132	22	8	36
47942	LSB	9	194	42	1L	36
47962	CSL (260)	9	273	52	26	53
47992	CSL (350)	9	370	92	56	53

Figure 63 : Colliers de serrage (SAREL) du type 9xL sont en PA12 [23]



Paok	Cat. Nos.	Colson cable ties				
		Ultra-violet (U.V.) resistant cable ties External teeth Black polyamide 12				
		width (mm)	Flat length (mm)	Max. Ø grip capacity (mm)	Min. Ø grip capacity (mm)	Weight (g)
100/1000	03 19 13	9	185	42	10	3.2
100/1000	03 19 16	9	265	62	26	4.7
100/1000	03 19 19	9	355	92	26	6.9
100/500	03 19 20	9	500	140	74	12.7
100	03 19 21	9	750	220	74	16.9
100	03 19 22	6	119	25	4	1.6
100/1000	03 19 25	6	180	45	10	2.0

0319 16

Figure 64 : Colliers de serrage (Legrand) du type 9xL sont en PA12 [23]

## Annexe 6

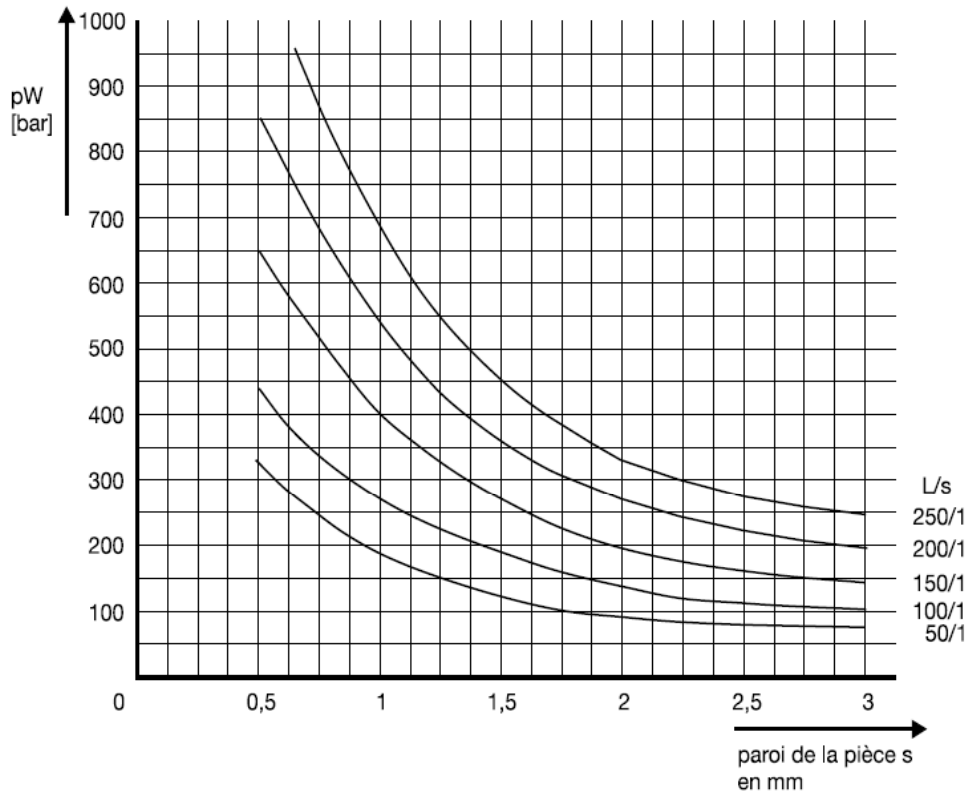
### Programmes de verrouillage



#### Forces de fermetures pour des pièces aux parois fines

Forces de fermeture (de verrouillage) nécessaires lors du remplissage du moule, pour des pièces aux parois fines.

L'illustration 2 indique les pressions internes du moule pour pièces aux parois fines, et longues courses de remplissage du moule, avec des matières de faible ou de moyenne viscosité.



illus. 2

Rapport course de remplissage / paroi de la pièce =  
longueur de la course L = L  
paroi de la pièce S = S



#### REMARQUE

La pression interne du moule augmente quand vous injectez des matières de viscosité élevée.  
En cas d'injection de matière de viscosité élevée, le rapport L/s (rapport de la course de remplissage/paroi de la pièce) ne doit pas être supérieur à 250/1. Sélectionnez donc éventuellement plusieurs injections.

# Annexe 7

## Calculution du volume de dosage



## 4 L'unité d'injection

### 4.1 Calculution du volume de dosage

#### Le volume de dosage

Le volume de dosage comprend:

- ◆ le volume d'injection et
- ◆ le matelas de matière

Le volume d'injection = 1,25 x le volume de la pièce

$$\text{Le volume de la pièce} = \frac{\text{poids injecté (g)}}{\text{poids spécifique (g / cm}^3\text{)}}$$

Au départ (pour le premier cycle), travaillez avec seulement 85 % du volume calculé de la pièce.

$$\text{Volume de la pièce (pour le premier cycle)} = 0,85 \times \text{volume de la pièce}$$

Valeurs recommandées pour le matelas de matière										
diamètre de la vis en mm	15 18	20 22	25	30	35	40	45	50	55	60
matelas de matière en ccm de à	0,5 0,8	1,0 1,5	1,5 2,5	2,5 3,5	3,5 5,0	4,5 6,5	5,5 8,0	6,5 10	7,5 12,5	9,0 15,0